



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК

C23C 14/06 (2022.08); C23C 14/28 (2022.08); B22D 15/04 (2022.08)

(21)(22) Заявка: 2022117824, 30.06.2022

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
30.06.2022Дата регистрации:
01.12.2022

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 30.06.2022

(45) Опубликовано: 01.12.2022 Бюл. № 34

Адрес для переписки:

420111, г. Казань, ул. К. Маркса, 10, ФГБОУ
ВО "КНИТУ-КАИ", Лустина Александра
Алексеевна

(72) Автор(ы):

Гавариев Ренат Вильсорович (RU),
Савин Игорь Алексеевич (RU),
Файрузова Зульфия Равилевна (RU)

(73) Патентообладатель(и):

федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
образования "Казанский национальный
исследовательский технический университет
им. А.Н.Туполева-КАИ" (RU)

(56) Список документов, цитированных в отчете

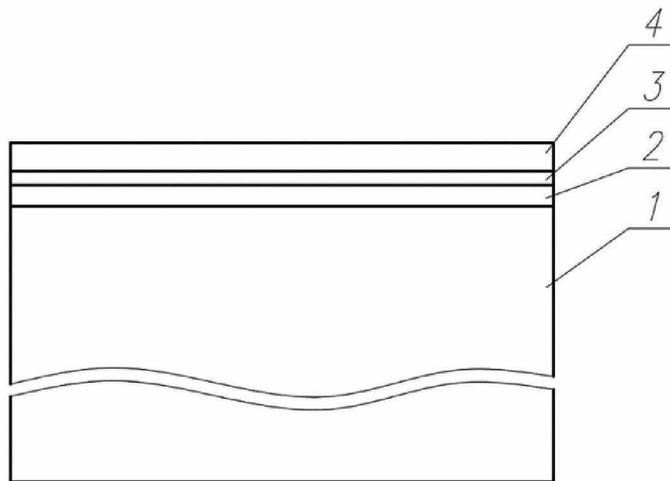
о поиске: RU 2767970 C1, 22.03.2022. RU
2569870 C1, 27.11.2015. CN 103343326 B,
01.04.2015. EP 1916707 A2, 30.04.2008. RU
2561578 C1, 27.08.2015. EP 1400609 A1,
24.03.2004.

(54) Способ нанесения защитного покрытия на металлическую форму для литья алюминиевых сплавов

(57) Реферат:

Изобретение относится к литейному производству. Способ нанесения защитного покрытия на металлическую форму для литья алюминиевых сплавов включает нанесение на ее поверхность упрочняющих слоев методом катодно-ионной бомбардировки в вакуумной камере. Покрываемую формообразующую поверхность металлической формы располагают на вращающейся основе, рядом с которой в одной горизонтальной плоскости напротив друг друга установлены катоды, испарение которых осуществляют с помощью электрической дуги в испарителе с одновременным действием ионного излучателя в среде реакционного газа. Формообразующую поверхность предварительно

нагревают, очищают и наносят слой толщиной 1,0 мкм твердостью 50-53 HRC из нитрида молибдена для адгезионной связи покрытия с поверхностью металлической формы. Поверх нижнего слоя наносят промежуточный слой толщиной 2,0 мкм твердостью 58-60 HRC из нитрида металлов титана и молибдена для обеспечения высокой твердости всего покрытия, далее наносят верхний слой толщиной 2,5 мкм твердостью 52-55 HRC из нитрида молибдена. Обеспечивается повышение эксплуатационного ресурса металлической формы для литья алюминиевых сплавов за счет повышения стойкости покрытия. 2 ил.



Фиг. 1

RU 2784931 C1

RU 2784931 C1



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(51) Int. Cl.

C23C 14/06 (2006.01)*C23C 14/28* (2006.01)*B22D 15/04* (2006.01)**(12) ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC

C23C 14/06 (2022.08); C23C 14/28 (2022.08); B22D 15/04 (2022.08)(21)(22) Application: **2022117824, 30.06.2022**(24) Effective date for property rights:
30.06.2022Registration date:
01.12.2022

Priority:

(22) Date of filing: **30.06.2022**(45) Date of publication: **01.12.2022** Bull. № 34

Mail address:

**420111, g. Kazan, ul. K. Marksa, 10, FGBOU VO
"KNITU-KAI", Lustina Aleksandra Alekseevna**

(72) Inventor(s):

**Gavariev Renat Vilsorovich (RU),
Savin Igor Alekseevich (RU),
Fairuzova Zulfia Ravilevna (RU)**

(73) Proprietor(s):

**federalnoe gosudarstvennoe biudzhethnoe
obrazovatelnoe uchrezhdenie vysshego
obrazovaniia "Kazanskii natsionalnyi
issledovatel'skii tekhnicheskii universitet im.
A.N.Tupoleva-KAI" (RU)****(54) METHOD FOR APPLYING A PROTECTIVE COATING TO A METAL MOLD FOR CASTING ALUMINUM ALLOYS**

(57) Abstract:

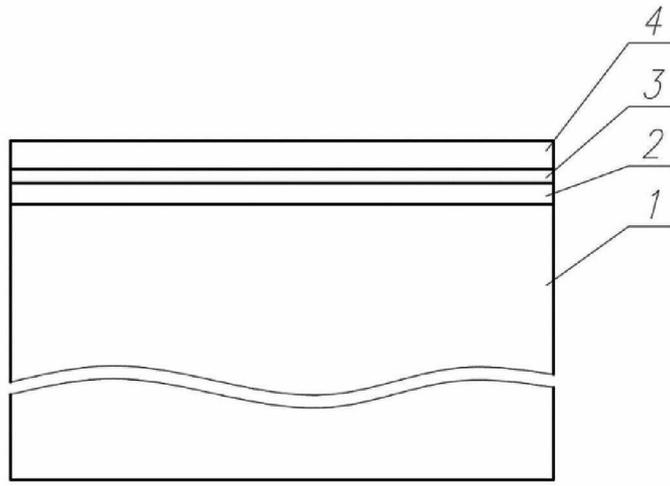
FIELD: foundry production.

SUBSTANCE: invention relates to foundry production. A method for applying a protective coating to a metal mold for casting aluminum alloys includes applying hardening layers to its surface by cathode-ion bombardment in a vacuum chamber. Coated shaping surface of a metal mold is placed on a rotating base, next to which cathodes are installed opposite each other in one horizontal plane, the evaporation of which is carried out using an electric arc in an evaporator with simultaneous action of an ion emitter in a reaction gas medium. The shaping surface is preliminarily heated, cleaned and a 1.0 mcm thick layer with a hardness of

50-53 HRC is applied from molybdenum nitride for adhesive bonding of the coating with the surface of the metal mold. An intermediate layer of 2.0 mcm thick with a hardness of 58-60 HRC of titanium and molybdenum metal nitride is applied over the lower layer to ensure high hardness of the entire coating, then an upper layer of 2.5 mcm thick with a hardness of 52-55 HRC of molybdenum nitride is applied.

EFFECT: increased service life of a metal mold for casting aluminum alloys by increasing the durability of the coating.

1 cl, 2 dwg



Фиг. 1

RU 2784931 C1

RU 2784931 C1

Изобретение относится к литейному производству и может быть применено для повышения стойкости металлической формы для литья алюминиевых сплавов.

Известен «Способ получения теплозащитного покрытия на металлической форме для отливки деталей из алюминиевых сплавов» (патент РФ № 1678508, В22С23/02, опубл. 1991.23.09). В предлагаемом способе формообразующая поверхность металлической формы для отливки деталей из алюминиевых сплавов в вакуумной камере подвергается нагреву и очистке от следов масел и окислов, методом катодно-ионной бомбардировки (КИБ). После нагрева и очистки поверхности металлической формы на нее напыляют сначала металлический подслоя, температура плавления которого выше температуры плавления формы, а затем на металлический подслоя наносят защитный слой керамики, нейтральной к металлу отливаемых деталей. Подслоя напыляют из металла, имеющего коэффициент линейного расширения, меньший, чем у материала формы, но больший, чем у керамического покрытия.

К недостаткам данного способа можно отнести:

- повышенную трудоемкость и сложность, связанные с тем, что все слои покрытия наносятся различными методами;
- повышенная хрупкость поверхностного керамического слоя покрытия;
- малая адгезия с материалом пресс-формы ввиду разнородности наносимых слоев покрытия.

Наиболее близким техническим решением, принятым за прототип, является «Способ нанесения защитного покрытия на металлический кокиль для литья медных сплавов» (патент РФ № 2767970, С23С 14/06, С23С 14/28, С23С 14/50 опубл. 22.03.2022). В предлагаемом способе проводят предварительный нагрев и очистку формообразующей поверхности металлической пресс-формы методом катодно-ионной бомбардировки. На предварительно очищенную формообразующую поверхность металлического кокиля методом катодно-ионной бомбардировки наносят слой из нитрида титана толщиной 1,5 мкм и твердостью 52-55 HRC для адгезионной связи покрытия с формообразующей поверхностью металлического кокиля. Затем поверх нижнего слоя наносят промежуточный слой толщиной 1 мкм твердостью 61-63 HRC из карбонитрида титана и молибдена. После чего наносят верхний слой из нитрида молибдена толщиной 2 мкм и твердостью 53-57 HRC. Нанесение всех указанных слоев осуществляют методом катодно-ионной бомбардировки в вакуумной камере. Обеспечивается повышение износостойкости и теплостойкости формообразующей поверхности кокиля, а также качество получаемых отливок за счет уменьшения коэффициента трения между формообразующей поверхностью и потоком расплавленного металла.

Можно выделить следующие недостатки описанной формы, влияющие на эксплуатационный ресурс:

- относительно малая общая толщина покрытия, которая уменьшает эксплуатационный ресурс;
- малая толщина наружного слоя, недостаточная для обеспечения защиты от негативных воздействий со стороны заливаемого расплава;
- относительно большая твердость промежуточного слоя, приводящая к появлению напряжений.

Предлагаемое изобретение направлено на устранение недостатков, присущих аналогам и прототипу.

Решаемой технической проблемой является создание металлической формы для литья алюминиевых сплавов с многослойным защитным покрытием, с улучшенными эксплуатационными свойствами.

Техническим результатом заявляемого изобретения является повышение эксплуатационного ресурса металлической формы для литья алюминиевых сплавов.

Технический результат достигается тем, что на предварительно очищенную формообразующую поверхность металлической формы методом катодно-ионной бомбардировки наносят слой толщиной 1,0 мкм твердостью 50-53 HRC из нитрида молибдена для адгезионной связи покрытия с поверхностью металлической формы, затем поверх нижнего слоя наносят промежуточный слой толщиной 2,0 мкм твердостью 58-60 HRC из нитрида металлов титана и молибдена для обеспечения высокой твердости всего покрытия, далее наносят верхний слой толщиной 2,5 мкм твердостью 52-55 HRC из нитрида молибдена, при чем нанесение всех слоев осуществляется методом катодно-ионной бомбардировки в вакуумной камере, при этом покрываемую формообразующую поверхность металлической формы располагают на вращающейся основе, рядом с которой в одной горизонтальной плоскости напротив друг друга установлены катоды, испарение которых осуществляют с помощью электрической дуги в испарителе с одновременным действием ионного излучателя в среде реакционного газа.

Новизной данного изобретения являются:

- использование метода катодно-ионной бомбардировки для нанесения всех слоев покрытия на формообразующую поверхность металлической формы для литья алюминиевых сплавов;
- состав покрытия для формообразующих поверхностей металлической формы для литья алюминиевых сплавов.

Техническая сущность способа.

При литье в кокиль формообразующие поверхности металлической формы 1 (фиг. 1) испытывают значительные воздействия со стороны заливаемого расплава, приводящие к дефектам различного рода на поверхности и в теле металлической формы. Среди них, наиболее распространенными являются трещины, возникающие в результате действия напряжений, а также при протекании различных физико-химических процессов. Поэтому при литье алюминиевых сплавов с высокой температурой плавления и значительным химическим воздействием, вопрос повышения износостойкости и стойкости к химическим воздействиям является актуальным. В указанных условиях многослойное защитное покрытие, состоящее из следующих слоев: нитрида молибдена 2, нитрида металлов титана и молибдена 3 и нитрида молибдена 4, должно обладать рядом преимуществ, выделяющих его на фоне других возможных решений. Данное покрытие обладает повышенной износостойкостью и прочностью, как и существующие аналоги. Стоит отметить, что высокая износостойкость и твердость, а также высокая прочность сцепления должна соответствовать всем слоям покрытия, помимо этого каждый слой должен выполнять определенные, соответствующие ему свойства. Согласно теоретических рекомендаций [Гавариев, Р.В. К вопросу определения свойств износостойких покрытий металлических форм / Р.В. Гавариев, И.А. Савин, Д.Л. Панкратов // Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева. - 2019. - Т. 75. - № 3. - С. 81-84.] положительные свойства слоев суммируются и образуют совокупность положительных свойств для всего покрытия, поэтому для процесса литья в кокиль должны быть обеспечены следующие условия: нижний слой должен обеспечивать максимальную прочность сцепления покрытия с материалом металлической формы, средний должен обладать необходимой микротвердостью, а верхний минимальным коэффициентом трения и защитными свойствами от химических воздействий. При этом, за счет подбора оптимального состава, а также величины твердости и толщины каждого слоя возможно обеспечение

высоких показателей по уровню трещиностойкости [Гавариев, Р.В. К вопросу проектирования кокилей / Р.В. Гавариев, Д.Л. Панкратов // Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева. - 2020. - Т. 76. - № 2. - С. 63-67].

5 Процесс нанесения покрытий на формообразующую поверхность металлической формы, расположенного на вращающемся основании 6 (фиг.2) производится методом катодно-ионной бомбардировки на установке типа «Булат» в вакуумной камере 5 с двумя катодами 7 из титана и молибдена горизонтально расположенными в испарителе 8 горизонтально в одной плоскости напротив друг друга. Перед нанесением слоев, покрываемую деталь пресс-формы бомбардируют ионами при помощи ионного излучателя 9 для очистки формообразующей поверхности от инородных частиц. Весь процесс нанесения покрытия происходит в среде реакционного газа 10.

Физическая сущность процесса заключается в адгезионной связи двух разнородных тел, при этом процесс проходит за две стадии: на первой происходит сближение 15 поверхностей, а затем образование химических связей на уровне атомов. Инертные в обычных условиях тела активируются каким-либо способом: термическим, механическим, радиационным, то есть подводом энергии. При этом разрушаются поверхностные пленки и электронные конфигурации. После чего происходит сближение двух фаз за счет сил Ван дер Вальса, это приводит к перекрытию электронных оболочек 20 поверхностных атомов. Высвобождающиеся при этом атомы участвуют в образовании новых конфигураций с уже различными кристаллами. Так происходит взаимопроникновение различных материалов на атомарном уровне, что обеспечивает повышенный уровень адгезии.

Процесс нанесения покрытия проходит при следующих рабочих параметрах: давление 25 в рабочей камере достигает $5,1 \cdot 10^{-3}$ Па, температура разогрева металлической формы - 315°C, ток соленоида 3,6А, напряжение на аноде 1150 В, ток анода 0,17А.

Сравнение показателей стойкости различных покрытий осуществлялось при помощи многофакторного эксперимента процесса литья в кокиль детали из сплава АК-7. Суть процесса литья в кокиль заключается в том, что в металлической форме имеется 30 формообразующая поверхность, в которую подается расплав. Застывая, наружная поверхность получаемой отливки принимает форму, соответствующую формообразующей поверхности. Для эксперимента была изготовлена металлическая форма с несколькими формообразующими поверхностями с использованием различных способов повышения стойкости изделий, таких как: азотирование, борирование, 35 описываемый в прототипе и предлагаемый в данной заявке способ, при котором на предварительно очищенную формообразующую поверхность металлической формы методом катодно-ионной бомбардировки наносят слой толщиной 1,0 мкм твердостью 50-53 HRC из нитрида молибдена для адгезионной связи покрытия с поверхностью металлической формы, затем поверх нижнего слоя наносят промежуточный слой 40 толщиной 2,0 мкм твердостью 58-60 HRC из нитрида металлов титана и молибдена для обеспечения высокой твердости всего покрытия, далее наносят верхний слой толщиной 2,5 мкм твердостью 52-55 HRC из нитрида молибдена. При этом, были получены следующие показатели стойкости: азотированная и цианированная формообразующие поверхности показали примерно одинаковые значения, равные примерно 12000 циклам 45 запрессовок, формообразующая поверхность, изготовленная по способу, описанному в прототипе показала значение стойкости в 18000 циклов, наибольший результат соответствовал формообразующей поверхности, с покрытием предлагаемом в данной заявке – 25000 циклов, что почти в 1,4 раза больше, чем у прототипа. Прочность

сцепления покрытия с материалом металлической формы определялась при помощи механического адгезиметра elcometer 506, при этом, согласно методике производственных испытаний на основе 5 измерений количественная величина составила 48 МПа, при этом образец с покрытием указанным в прототипе показал значение в 46 МПа. Измерение твердости покрытия осуществлялось с использованием алмазной пирамидки при помощи микротвердомера ПМТ-3, полученное значение твердости покрытия составило 58 HRC, что примерно соответствует показателям прототипа. Измерение коэффициента трения на формообразующей поверхности пресс-формы является весьма сложной задачей, как с практической, так и с теоретической точки зрения, поэтому оценку данного показателя производили на основе изучения косвенных признаков, таких как шероховатость формообразующей поверхности, качество поверхности получаемых отливок, наличие пористости в получаемых отливках. На основе измерений были получены следующие результаты: шероховатость формообразующей поверхности металлической формы после нанесения предлагаемого покрытия не изменилась и составила $Ra=0,2$ мкм, общий объем газовых пор в получаемых отливках не превышал 0,7% от общего объема, качество поверхности полученных отливок, удовлетворяло требованиям ГОСТ 26645-85, при этом параметры отливок полученных в металлической форме, изготовленной по способу предложенному в прототипе были хуже, так, шероховатость формообразующей поверхности составила $Ra=0,3$ мкм, общий объем газовых пор – 0,9 %. Указанные значения косвенных параметров указывают на то, что в потоке расплавленного металла по формообразующей поверхности с многослойным защитным покрытием, предложенном в данной заявке не возникало дополнительных завихрений, вызванных поверхностным слоем, таким образом можно сказать, что предлагаемое покрытие обладает низким коэффициентом трения, в том числе по сравнению с прототипом. Кроме этого на основе величины шероховатости оценивалось химическое воздействие на металлическую форму, так как в случае химических реакций на формообразующей поверхности формы возникают наросты различного рода, то они критически влияют на показатель шероховатости. Так как у предлагаемого покрытия показатели шероховатости наилучшие, следовательно, защита от химических воздействий также является наилучшей.

Преимущества предлагаемого способа по сравнению с известными аналогами.

Предлагаемый способ нанесения покрытия на металлическую форму для литья алюминиевых сплавов по сравнению с аналогами:

1. Повышает износостойкость формообразующих поверхностей металлической формы за счет нанесения многослойного покрытия, каждый слой которого выполняет определенную функцию.
2. Повышает стойкость формообразующей поверхности металлической формы от химических воздействий со стороны заливаемого расплава алюминия.
3. Повышает качество получаемых отливок за счет уменьшения коэффициента трения между формообразующей поверхностью и потоком расплавленного металла.
4. Использование преимуществ дорогостоящих материалов таких как: титан, молибден, при их малой массовой доли от массы всей металлической формы.
5. Нанесение всех слоев покрытий происходит за один установ.
6. Толщина наносимого покрытия составляет не более 5,5 мкм, что позволяет не вносить значительных поправок при проектировании металлической формы.

(57) Формула изобретения

Способ нанесения защитного покрытия на металлическую форму для литья алюминиевых сплавов, включающий предварительный нагрев и очистку формообразующей поверхности металлической формы методом катодно-ионной бомбардировки, отличающийся тем, что на предварительно очищенную

5 формообразующую поверхность металлической формы методом катодно-ионной бомбардировки наносят слой толщиной 1,0 мкм твердостью 50-53 HRC из нитрида молибдена для адгезионной связи покрытия с поверхностью металлической формы, затем поверх нижнего слоя наносят промежуточный слой толщиной 2,0 мкм твердостью 58-60 HRC из нитрида металлов титана и молибдена для обеспечения высокой твердости

10 всего покрытия, далее наносят верхний слой толщиной 2,5 мкм твердостью 52-55 HRC из нитрида молибдена, причем нанесение всех слоев осуществляют методом катодно-ионной бомбардировки в вакуумной камере, при этом покрываемую формообразующую поверхность металлической формы располагают на вращающейся основе, рядом с которой в одной горизонтальной плоскости напротив друг друга установлены катоды,

15 испарение которых осуществляют с помощью электрической дуги в испарителе с одновременным действием ионного излучателя в среде реакционного газа.

20

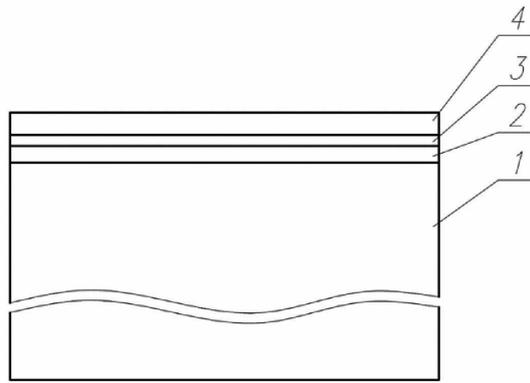
25

30

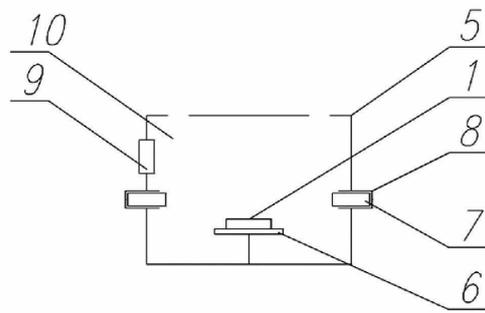
35

40

45



Фиг. 1



Фиг. 2