

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(21) **202091383** (13) **A1**

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОЙ ЗАЯВКЕ

(43) Дата публикации заявки
2020.10.23

(51) Int. Cl. **C21D 5/04** (2006.01)
C22C 33/08 (2006.01)
C22C 37/06 (2006.01)
C22C 29/02 (2006.01)

(22) Дата подачи заявки
2018.12.04

(54) ПРОЧНЫЕ И КОРРОЗИОННО-СТОЙКИЕ БЕЛЫЕ ЧУГУНЫ

(31) **2017904866**

(72) Изобретатель:
Тан Синьху (AU)

(32) **2017.12.04**

(33) **AU**

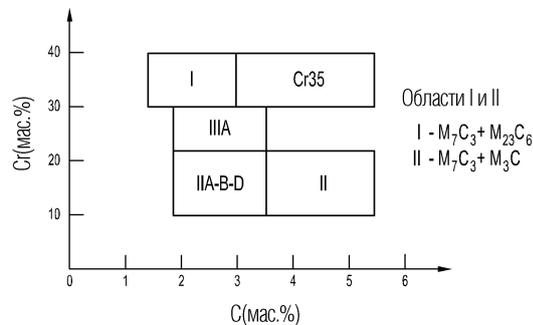
(74) Представитель:
Медведев В.Н. (RU)

(86) **PCT/AU2018/051297**

(87) **WO 2019/109138 2019.06.13**

(71) Заявитель:
**УЭЙР МИНЕРАЛЗ ОСТРЭЙЛИА
ЛИМИТЕД (AU)**

(57) Конечная отливка из высокохромистого белого чугуна, т.е. отливка, подвергнутая термической обработке, содержит железную матрицу и по меньшей мере два различных карбида хрома, диспергированных в матрице, причем один из карбидов хрома включает в себя продукт превращения карбида хрома в литом состоянии.



202091383
A1

202091383
A1

ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ

2420-563260EA/061

ПРОЧНЫЕ И КОРРОЗИОННОСТОЙКИЕ БЕЛЫЕ ЧУГУНЫ

Область техники, к которой относится изобретение

Настоящее изобретение относится к прочным и коррозионно-стойким белым чугунам с высоким содержанием хрома (также именуемым в настоящем документе как высокохромистые белые чугуны), содержащим твердые частицы материала, диспергированные в основном металле (этот термин охватывает металлический сплав).

Настоящее изобретение также относится к оборудованию, используемому в горнодобывающей и перерабатывающей промышленности, такому как компоненты насосов (включая компоненты шламовых насосов), которые содержат отливки или облицовки из высокохромистых белых чугунов, если данное оборудование подвергается воздействию любого одного или нескольких факторов из интенсивного абразивного действия, ударного воздействия и коррозионно-эрозионного изнашивания.

Настоящее изобретение также относится к способу формования высокохромистых белых чугунов.

Настоящее изобретение также относится к способу формования отливок или облицовок из высокохромистых белых чугунов в качестве, по меньшей мере, как части оборудования, используемого в горнодобывающей и перерабатывающей промышленности.

Уровень техники

Оборудование, используемое в горнодобывающей и перерабатывающей промышленности, часто подвергается воздействию любого одного или нескольких факторов из интенсивного абразивного действия, ударного воздействия и коррозионно-эрозионного изнашивания.

Это оборудование включает в себя, например, шламовые насосы и трубопроводы, облицовки мельниц, дробилки, перегрузочные лотки и землеройное оборудование.

Конкретным примером могут служить металлические компоненты проточной части шламовых насосов, которые подвергаются интенсивному абразивному износу, ударному воздействию и коррозионно-эрозионному износу в процессе эксплуатации в результате прохождения через насосы огромной массы твердых, острых минеральных частиц. Компоненты насоса включают в себя облицовки корпуса насоса, рабочие колеса, улитки и втулки сальникового устройства. Масса этих компонентов обычно варьируется от 2 кг до примерно 20 и более тонн. Эти компоненты включают в себя отливки из износостойких материалов или облицовки из износостойких материалов, если оборудование подвержено воздействию любого одного или нескольких факторов из интенсивного абразивного действия, ударного воздействия и коррозионно-эрозионного изнашивания, и требует периодической замены для поддержания производительности насоса в процессе эксплуатации.

Потери материала в металлических компонентах проточной части шламового насоса в процессе эксплуатации можно объяснить одним или несколькими из следующих механизмов:

Эрозионное изнашивание минеральными частицами (номинально диаметром 0,1-100 мм), проходящими через оборудование.

Коррозия как следствие контакта с жидкостями (этот термин охватывает шламы), протекающими через насосы, причем рН этих жидкостей может варьироваться от высококислотного до высокоосновного.

Выкрашивание или растрескивание под действием ударной нагрузки в процессе эксплуатации.

Семейство высокохромистых белых чугунов, известное как белые чугуны с высоким содержанием хрома (БЧВСХ), описано в ISO 21988 Международной ассоциации стандартов, разделы 1(с) и 3.3, и охватывает ряд сплавов, оптимизирующих три основных свойства: (а) износостойкость, (б) коррозионную стойкость и (с) трещиностойкость, которые необходимы компонентам проточной части шламовых насосов в широком диапазоне рабочих условий.

Первый БЧВСХ был разработан 100 лет назад и запатентован в 1917 году (патент США 1245552).

Номинальный массовый химический состав первого сплава БЧВСХ согласно пункту 1 формулы изобретения упомянутого патента США:

Хром: 20-35 мас. %.

Углерод: 1,5-3,0 мас. %.

Кремний: 0,0-3,0 мас. %.

Железо: остальное.

Первый сплав БЧВСХ, обозначенный как "Cr27" в таблице 3 ISO 21988 Международной ассоциации по стандартизации и именуемый в дальнейшем "Cr27", соответствует формуле изобретения патента США 1245552 и по существу является наиболее используемым материалом в настоящее время во многих применениях шламовых насосов, которые подвержены абразивному действию и эрозионно-коррозионному изнашиванию.

Cr27 по ISO имеет следующий химический состав, мас. %:

| C | Si макс. | Mn | P макс. | S макс. | Cr | Ni макс. | Mo макс. | Cu макс. |
|---------|----------|---------|---------|---------|-------|----------|----------|----------|
| 1,8-3,6 | 1,0 | 0,5-2,0 | 0,08 | 0,08 | 23-30 | 2,0 | 3,0 | 1,2 |

Микроструктура отливок из Cr27 состоит из двух отдельных фаз, а именно:

25 об. % карбидов хрома,

75 об. % железной матрицы.

Со времени разработки вышеописанного первого БЧВСХ 100 лет назад были осуществлены дальнейшие разработки в области высокохромистых белых чугунов. Эти разработки привели к улучшению рабочих характеристик в ряде областей.

Например, заявитель настоящего изобретения разработал семейство БЧВСХ, обозначенное как Cr35, для изготовления деталей шламовых насосов, позволяющих удовлетворить ряд применений с высоким изнашиванием.

Cr35 был принят Австралийской ассоциацией стандартов и Международной ассоциацией стандартов как специальный износостойкий материал и включен в AS/NZS 2027 и ISO 21988, соответственно, около 10 лет назад.

Cr35 по ISO имеет следующий химический состав, мас. %:

| C | Si макс. | Mn | P макс. | S макс. | Cr | Ni макс. | Mo макс. | Cu макс. |
|---------|----------|---------|---------|---------|-------|----------|----------|----------|
| 3,0-5,5 | 1,0 | 1,0-3,0 | 0,06 | 0,06 | 30-40 | 1,0 | 1,5 | 1,2 |

Износостойкость семейства Cr35 была признана превосходящей износостойкость сплава Cr27 во многих применениях в шламовых насосах, где основным фактором потери материала является эрозионное изнашивание.

Заявитель осознает, что все еще существует потребность в дальнейшем усовершенствовании в некоторых областях применения, в том числе в применениях в шламовых насосах (и другом оборудовании в ряде других областей применения), особенно в тех случаях, когда значительным фактором является изнашивание под действием ударных нагрузок.

Представленное выше описание не следует воспринимать как признание общеизвестных знаний в Австралии или где-либо еще.

Сущность изобретения

Автор выявил комбинацию химического состава и микроструктуры отливок из высокохромистых белых чугунов, обладающих прочностью и коррозионной стойкостью, которые очень полезны в ряде конечных применений отливок.

Выявленная автором комбинация представляет собой высокохромистые белые чугуны, которые имеют составы, характеризующиеся: (а) диапазонами Cr и C (которые можно описать как "области", если нанести диапазон концентраций Cr на график зависимости от диапазона концентраций C, как показано на фиг. 1), и (б) отношениями Cr:C в этих диапазонах, которые отливают и затем подвергают термической обработке, так что по меньшей мере часть карбидов хрома в литом состоянии отливок превращается в другой карбид хрома, в результате чего конечные формы отливок содержат смеси карбидов хрома, в которых по меньшей мере один из карбидов хрома является продуктом превращения карбида хрома в литом состоянии.

Термин "продукт превращения" в данном контексте подразумевает продукт, образующийся в результате термической обработки и имеющий фазу, отличную от первоначальной фазы продукта в не подвергнутом термической обработке состоянии.

Микроструктуры этих конечных форм отливок весьма отличаются от микроструктур других конечных форм отливок из БЧВСХ, таких как Cr27 и Cr35.

Микроструктура согласно изобретению охарактеризована в данном описании в двух состояниях. Одним состоянием является микроструктура в литой состоянии отливки. Другое состояние - это микроструктура в конечной форме отливки.

Обычно конечная форма отливки представляет собой подвергнутую термической обработке литую отливку.

Обычно термическая обработка увеличивает количество карбидов хрома и уменьшает количество элементарного хрома в растворе в матрице отливки.

В общих чертах, в изобретении предложена отливка из высокохромистого белого чугуна, которая в конечной форме отливки после термической обработки содержит железную матрицу и по меньшей мере два различных карбида хрома, диспергированных в матрице, причем по меньшей мере один из карбидов хрома включает в себя продукт превращения карбида хрома в литом состоянии.

В любой конкретной ситуации количество продукта превращения можно выбирать исходя из ряда факторов, включая, без ограничения, требования к конечной форме отливки и ее составу.

Продукт превращения может составлять, по меньшей мере, 5%, обычно по меньшей мере 10%, обычно менее 60% карбидов хрома в литом состоянии.

Обычно высокохромистый белый чугун состоит из двух различных карбидов хрома, диспергированных в матрице конечной формы отливки, т.е. после термической обработки.

В одном варианте осуществления карбидами хрома, диспергированными в матрице конечной формы отливки, т.е. после термической обработки, являются M_7C_3 и $M_{23}C_6$, где "М" представляет собой Cr, Fe и Mn.

В этом варианте по меньшей мере часть $M_{23}C_6$ является продуктом превращения M_7C_3 с образованием $M_{23}C_6$ во время термической обработки литой отливки. Следует отметить, что в литой отливке может присутствовать некоторое количество $M_{23}C_6$, и поэтому в данной ситуации термообработка увеличивает количество $M_{23}C_6$ как следствие превращения некоторого количества M_7C_3 .

Карбиды хрома в конечной термообработанной форме отливки могут содержать частицы, имеющие твердое ядро из M_7C_3 , окруженное более мягкой оболочкой из $M_{23}C_6$, которая действует как переходная зона между более мягкой металлической матрицей и чрезвычайно твердым ядром из карбида M_7C_3 .

Состав отливки может иметь следующие диапазоны состава, описанные здесь как область I, с диапазонами концентраций Cr и C, показанными на фиг. 1 как область I:

Cr: 30-40 мас.%

C: 1,5-3 мас.%

Отношение Cr/C (мас.%): 9:1-15:1

До 3 мас.% каждого из любого одного или нескольких из Mn, Si, Ni, Mo и Cu

Случайные примеси

Остальное: железо

Диапазоны составов, описанные в предыдущем абзаце, включая отношение Cr/C, основаны на прямых экспериментальных работах и опыте заявителя в области разлива и металлургии, а также на компьютерном моделировании, выполненном заявителем.

Примеси могут включать в себя серу, фосфор и алюминий.

Карбиды хрома, диспергированные в матрице, могут составлять 30-60 об.% отливки.

Карбиды хрома, диспергированные в матрице, могут составлять 40-50 об.% отливки.

Карбиды хрома M_7C_3 могут составлять 10-20 об.% отливки.

Карбиды хрома M_7C_3 могут составлять 15-20 об.% отливки.

Карбиды хрома $M_{23}C_6$ могут составлять 20-35 об.% отливки.

Карбиды хрома $M_{23}C_6$ могут составлять 25-30 об.% отливки.

Матрица может составлять 40-70 об.% отливки.

Отношение Cr/C (мас.%) может составлять 10:1-15:1.

Отношение Cr/C (мас.%) может составлять 10:1-14:1.

В этом варианте часть карбидов хрома находится в форме первичного M_7C_3 из-за относительных содержаний хрома и углерода в сплавах. Присутствие первичных карбидов в высокохромистых белых чугунах ассоциировано с повышенной износостойкостью, но с низкой трещиностойкостью. Целью изобретения является преодоление этого ограничения за счет двоичного характера первичных карбидов. Обычно, по меньшей мере некоторые из частиц карбидов хрома имеют твердое ядро из M_7C_3 , окруженное более мягкой оболочкой из $M_{23}C_6$, которая действует как переходная зона между гораздо более мягкой металлической матрицей и чрезвычайно твердым ядром из карбида M_7C_3 , что позволяет рассеивать энергию удара, приводя к уменьшению склонности первичных карбидов к растрескиванию при столкновениях и ударах с крупными частицами. Кроме того, сравнительно повышенное содержание хрома в этих композициях приводит к желательному увеличению коррозионной стойкости отливки. Такая комбинация высокой объемной доли карбидов, ударопрочных первичных карбидов и повышенной коррозионной стойкости делает данный сплав особенно пригодным для перекачивания шлама в контурах переработки минералов, гидротранспорта нефтеносных песков и в работах с крупными шахтными отходами.

В другом варианте осуществления карбидами хрома, диспергированными в матрице конечной формы отливки, т.е. после термической обработки, являются M_7C_3 и M_3C , где "M" представляет собой Cr, Fe и Mn.

Карбиды хрома в конечной термообработанной форме отливки могут включать в себя частицы, имеющие твердое ядро из M_7C_3 , окруженное более мягкой оболочкой из M_3C , которая действует как переходная зона между более мягкой металлической матрицей и чрезвычайно твердым ядром из карбида M_7C_3 .

В этом варианте по меньшей мере часть M_3C представляет собой продукт превращения M_7C_3 с образованием M_3C во время термической обработки литой отливки. Было замечено, что в литой форме отливки может присутствовать некоторое количество M_3C и поэтому в такой ситуации термическая обработка увеличивает количество M_3C вследствие превращения некоторого количества M_7C_3 .

Состав отливки может иметь следующие диапазоны состава, описанные здесь как область II, с диапазонами концентраций Cr и C, показанными на фиг. 1 как область II:

Cr: 10-23 мас.%

C: 3,3-5,5 мас.%

Отношения Cr/C (мас.%): 2:1-4:1

До 3 мас.% каждого из любого одного или нескольких из Mn, Si, Ni, Mo и Cu,

Случайные примеси

Остальное: Fe

Диапазоны составов, описанные в предыдущем абзаце, включая отношение Cr/C, основаны на прямых экспериментальных работах и на опыте заявителя в области разлива и металлургии, а также на компьютерном моделировании, выполненном заявителем.

Карбиды хрома, диспергированные в матрице, могут составлять 30-70 об.% отливки.

Карбиды хрома, диспергированные в матрице, могут составлять 30-60 об.% отливки.

Матрица может составлять 30-70 об.% отливки.

Отношение Cr/C (мас.%) может составлять 2,5:1-3,5:1.

В этом варианте по меньшей мере некоторые из частиц карбидов хрома имеют твердое ядро из M_7C_3 , окруженное более мягкой оболочкой из M_3C , которая действует как переходная зона между гораздо более мягкой металлической матрицей и чрезвычайно твердым ядром из карбида M_7C_3 , что позволяет рассеивать энергию удара, приводя к снижению склонности первичных карбидов к растрескиванию при столкновениях и ударах с крупными частицами.

В изобретение также предложена отливка из высокохромистого белого чугуна, которая в литой форме отливки содержит железную матрицу с хромом в растворе в матрице и карбиды хрома, диспергированные в матрице, причем отливка характеризуется следующим составом:

Cr: 30-40 мас.%

C: 1,5-3 мас.%

Отношения Cr/C (мас.%): 9:1-15:1

Суммарное количество карбидов в отливке: 30-60 vol.%

До 3 мас.% каждого из любого одного или нескольких из Mn, Si, Ni, Mo и Cu

Случайные примеси

Остальное: железо.

В изобретении также предложена отливка из высокохромистого белого чугуна, которая в литой форме отливки содержит железную матрицу с хромом в растворе в матрице и карбиды хрома, диспергированные в матрице, причем отливка характеризуется следующим составом:

Cr: 10-23 мас.%

C: 3,3-5,5 мас.%

Отношения Cr/C (мас.%): 2:1-4:1

Суммарное количество карбидов в отливке: 30-70 vol.%

До 3 мас.% каждого из любого одного или нескольких из Mn, Si, Ni, Mo и Cu,

Случайные примеси

Остальное: железо

Назначение Mn, Si, Ni, Mo и Cu, в случае их присутствия в композиции, состоит в том, чтобы способствовать образованию требуемых мартенситных, аустенитных, ферритных или смешанных железных матриц.

Микроструктура литой отливки обычно содержит железную матрицу с хромом в растворе в матрице, эвтектические карбиды хрома, диспергированные в матрице, первичные карбиды хрома, диспергированные в матрице, и при необходимости вторичные карбиды, диспергированные в матрице.

Обычно, эвтектические карбиды, первичные карбиды и вторичные карбиды в литой отливке являются карбидами M_7C_3 , где "M" представляет собой Cr, Fe и Mn.

Под "первичными карбидами" подразумеваются карбиды, которые выделяются из расплава между температурами ликвидуса и солидуса.

Под "эвтектическими карбидами" подразумеваются карбиды, которые выделяются из расплава при температуре солидуса.

Под "вторичными карбидами" подразумеваются карбиды, которые образуются в твердофазных реакциях в отливках.

Под "литой отливкой" в предыдущем абзаце (а также в предыдущей части описания) следует понимать отливку на этапе, когда отливка формируется и непрерывно охлаждается в форме до температуры окружающей среды. Время охлаждения может составлять несколько минут для небольших отливок и несколько недель для больших отливок. Обычно отливки могут иметь массу 1 или 2 кг и до приблизительно 20 тонн.

Термин "литая отливка" не распространяется на отливки, которые были подвергнуты процедурам послелитейной термообработки, например, вызывающим выделение вторичных карбидов хрома из раствора в матрице и тем самым изменяющим концентрацию элементов в растворе в матрице.

Железная матрица литой отливки может быть любой подходящей матрицей.

Например, эта железная матрица может быть по существу аустенитом.

Железная матрица конечной отливки, т.е. после термообработки литой отливки, может быть любой подходящей матрицей. Например, эта железная матрица может быть по существу мартенситом.

Отливка может быть по меньшей мере 100 кг.

Отливка может быть по меньшей мере 200 кг.

Отливка может быть по меньшей мере 400 кг.

Отливка может составлять по меньшей мере 1 тонна.

Отливка может быть по меньшей мере 2 тонны.

Отливка может быть по меньшей мере 3 тонны.

Трещиностойкость отливки можно выбирать в соответствии с требованиями конечного применения отливки.

Коррозионную стойкость отливки можно выбирать в соответствии с требованиями применений конечной формы отливки. Коррозионная стойкость не является свойством материала и, как и в случае с износостойкостью, зависит от ряда факторов эксплуатации.

Износостойкость отливки можно выбирать в соответствии с требованиями конечного применения отливки. Износостойкость не является свойством материала. Износостойкость - это свойство системы и оно зависит от ряда факторов эксплуатации, например, в случае насосов для транспортировки шламов от твердости шламовых частиц, размера и угловатости шламовых частиц, скорости и рН шлама и т.п.

В изобретении также предложено оборудование, используемое в горнодобывающей и перерабатывающей промышленности, такое как компоненты насосов, содержащее описанную выше конечную форму отливки, когда это оборудование подвергается воздействию любого одного или нескольких факторов из интенсивного абразивного действия и коррозионно-эрозивного изнашивания.

Как отмечалось выше, особый интерес для автора изобретения представляет такое оборудование, как компоненты проточной части в шламовых насосах мельничного контура.

Это оборудование может также включать в себя, например, трубопроводы, облицовки мельниц, дробилки, перегрузочные лотки и землеройное оборудование.

В изобретении также предложен способ изготовления описанной выше литой отливки, согласно которому:

(а) формируют расплав высокохромистого белого чугуна, такого как описанные выше белые чугуны с высоким содержанием хрома;

(б) разливают расплав в форму и формируют отливку из высокохромистого белого чугуна, имеющую микроструктуру, которая содержит железную матрицу, содержащую хром в растворе, эвтектические карбиды хрома, диспергированные в матрице, и первичные карбиды хрома, диспергированные в матрице, и при необходимости вторичные карбиды, диспергированные в матрице.

В изобретении также предложен способ изготовления описанной выше конечной формы отливки, включающий в себя этап термообработки, на котором нагревают литую отливку и обеспечивают превращение по меньшей мере части карбидов хрома в литом состоянии в смесь карбидов хрома.

Продукт превращения может составлять, по меньшей мере, 5%, обычно, по меньшей мере 10%, обычно, менее 60% карбидов хрома в литом состоянии.

На этапе термообработки можно осуществлять нагрев литой отливки до 800-1000°C, обычно до 850-950°C, и выдерживать отливку при температуре в течение максимум одних суток и осуществлять воздушное охлаждение отливки до температуры окружающей среды.

На этапе термообработки можно дополнительно осуществлять отпуск термообработанной отливки при 200-400°C, обычно 250-350°C, в течение максимум 12 часов для дальнейшего повышения трещиностойкости и/или снятия напряжения.

Если литая форма отливки содержит M_7C_3 и $M_{23}C_6$, этап термообработки можно выбрать для превращения по меньшей мере части M_7C_3 и формирования $M_{23}C_6$ как продукта превращения.

Карбиды хрома в конечной термообработанной форме отливки могут включать в себя частицы, имеющие твердое ядро из M_7C_3 , окруженное более мягкой оболочкой из $M_{23}C_6$, которая действует как переходная зона между более мягкой металлической матрицей и чрезвычайно твердым ядром из карбида M_7C_3 .

Если литая отливка содержит M_7C_3 и M_3C , можно выбрать этап термообработки для превращения по меньшей мере части M_7C_3 и формирования M_3C как продукта превращения.

Карбиды хрома в конечной термообработанной форме отливки могут включать в себя частицы, имеющие твердое ядро из M_7C_3 , окруженное более мягкой оболочкой из M_3C , которая действует как переходная зона между более мягкой металлической матрицей и чрезвычайно твердым ядром из карбида M_7C_3 .

Краткое описание чертежей

Далее будут описаны только в качестве примера варианты осуществления изобретения со ссылками на следующие фигуры, на которых изображено:

фиг. 1 - диаграмма Cr/C, демонстрирующая два варианта диапазонов (т.е. областей) концентраций Cr и C в высокохромистых белых чугунах в соответствии с изобретением;

фиг. 2А - репрезентативное СЭМ-изображение образца конечной отливки, т.е. литой и подвергнутой термической обработке отливки, в соответствии с вариантом осуществления изобретения;

фиг. 2В - секторная диаграмма составных элементов микроструктуры конечной отливки, показанной на фиг. 2А;

фиг. 3 - график зависимости относительной коррозионной стойкости от концентрации C составов образцов конечных отливок, т.е. литых и подвергнутых термической обработке отливок, в соответствии с вариантом осуществления изобретения, и образцов вариантов конечных отливок из известных БЧВСХ, подверженных воздействию растворов, имеющих различные значения pH;

фиг. 4А, 4В и 4С - графики зависимости относительной потери массы от концентрации C для составов образцов вариантов конечных отливок, т.е. литых и подвергнутых термической обработке отливок, в соответствии с изобретением, и образцов вариантов конечных отливок из известных БЧВСХ, подвергнутых воздействию растворов, имеющих различные значения pH;

фиг. 5 - график относительной эрозионной стойкости и относительной ударной стойкости образца варианта конечной отливки, т.е. литой и подвергнутой термической обработке отливки, в соответствии с изобретением, и конечных отливок из БЧВСХ Cr27 и

Cr35; и

фиг. 6 - репрезентативное СЭМ-изображение образца конечной отливки, т.е. литой и подвергнутой термической обработке отливки, в соответствии с вариантом осуществления изобретения.

Подробное описание вариантов осуществления

Как отмечалось выше, заявитель выявил комбинацию состава и микроструктуры отливок из высокохромистых белых чугунов, которые обладают коррозионной стойкостью и ударной прочностью, очень полезными для ряда применений конечных отливок.

Эта выявленная автором комбинация представляет собой высокохромистые белые чугуны, имеющие химические составы, которые характеризуются (а) диапазонами концентраций Cr и C и (b) отношениями Cr:C в этих диапазонах, которые можно отливать, а затем подвергать термической обработке таким образом, чтобы по меньшей мере часть карбидов хрома в литых отливках превратилась в другой карбид хрома, в результате чего конечные формы отливок содержат смеси карбидов хрома, причем по меньшей мере один из карбидов хрома включает в себя продукт превращения карбида хрома в литом состоянии.

Количество продукта превращения можно выбирать на основе ряда факторов, включая требования к конечной форме отливки и составу отливки.

Микроструктуры конечных форм отливок весьма отличаются от микроструктур других конечных форм отливок из БЧВСХ, таких как Cr27 и Cr35.

Из вышесказанного очевидно, что (а) выбранные концентрации Cr и C, (b) выбранные отношения Cr:C и (c) термообработанные микроструктуры конечных отливок с такими концентрациями Cr и C и отношениями Cr:C важны для получения конечных отливок согласно изобретению.

На фиг. 1 представлена диаграмма Cr/C, которая демонстрирует два варианта диапазонов концентраций Cr и C в высокохромистых белых чугунах в соответствии с изобретением. Эти два варианта обозначены на фигуре как области I и II.

На фиг. 1 также показаны области концентрации Cr и C в известных высокохромистых белых чугунах Cr27 и Cr35. Области Cr27 обозначены на фигуре как ASTM A532 IIIA и IIA, IIIB и IID.

Как видно из фиг. 1, диапазоны состава области I:

Cr: 30-40 мас.%

C: 1,5-3 мас.%

В результате прямой экспериментальной работы, а также опыта заявителя в области разливки и металлургии и компьютерного моделирования, выполненного заявителем, было также обнаружено, что отношения Cr/C (мас.%) в области I должны быть в диапазоне 9:1-15:1, обычно 10:1-15:1. Автор также обнаружил в этой работе, что предпочтительно, чтобы общее количество карбидов в конечной форме отливки составляло 30-60 об.% и чтобы композиция содержала до 3 мас.% каждого из любого

одного или нескольких из Mn, Si, Ni, Mo и Cu, случайные примеси и остальное Fe.

Также из фиг. 1 видно, что диапазоны состава области II:

Cr: 10-23 мас.%

C: 3,3-5,5 мас.%

В результате прямой экспериментальной работы, а также опыта заявителя в области разливки и металлургии, а также компьютерного моделирования, выполненного заявителем, было также обнаружено, что отношения Cr/C (мас.%) в области II должны быть в диапазоне 2:1-4:1. Автор также выявил в этой работе, что предпочтительно, чтобы общее количество карбидов в конечной форме отливки составляло 30-70 об.% и чтобы композиция содержала до 3 мас.% каждого из любого одного или нескольких из Mn, Si, Ni, Mo и Cu, случайные примеси, остальное Fe.

На фиг. 2А представлено репрезентативное СЭМ-изображение образца конечной отливки, т.е. литой и подвергнутой термической обработке отливки, в области I на фиг. 1.

На фиг. 2В представлена секторная диаграмма составных элементов микроструктуры отливки, показанной на фиг. 2А.

Образец содержал 35 мас.% Cr.

Как видно на фиг. 2А, микроструктура конечной отливки содержит железную матрицу (показанную в качестве примера точками 3 и 6 на фиг. 2А) и карбиды хрома, диспергированные в матрице. Карбиды хрома включают в себя карбиды M_7C_3 (см. точки 1 и 4 на фиг. 2А) и карбиды $M_{23}C_6$ (см. точки 2 и 5 на фиг. 2А), где "М" представляет собой Cr, Fe и Mn. По меньшей мере, часть карбидов $M_{23}C_6$ образуется как продукт превращения карбидов M_7C_3 в литой форме отливки. По меньшей мере некоторые из карбидов хрома имеют твердое ядро из M_7C_3 , которое окружено более мягкой оболочкой из $M_{23}C_6$. Этот признак обсуждается ниже в связи с фиг. 6.

На фиг. 2В показано, что матрица в конечной отливке на фиг. 2А составляет 56 об.%, а карбиды хрома в конечной отливке на фиг. 2А составляют 44 об.% от общего объема конечной отливки, причем матрица содержит 14 мас.% Cr и 0,25 мас.% C, а карбиды хрома содержат 16 об.% карбидов M_7C_3 и 28 об.% карбидов $M_{23}C_6$ от общего объема отливки.

Литая форма отливки содержала аустенитную матрицу с карбидами M_7C_3 , диспергированными в матрице. Термическая обработка литой отливки для получения образца, показанного на фиг. 2А, привела к превращению аустенитной матрицы в мартенсит и превращению части карбидов M_7C_3 в карбиды $M_{23}C_6$.

Нетрудно понять, что относительные доли матрицы и карбидов хрома в отливке, концентрации Cr и C в матрице и относительные доли карбидов M_7C_3 и карбидов $M_{23}C_6$ в карбидах хрома можно варьировать в зависимости от требований конечного применения отливок. В связи с этим, как отмечалось выше, важные переменные включают в себя концентрации Cr и C в области I, выбор отношений Cr:C в области I в пределах 9:1-15:1 и условия термической обработки для обеспечения требуемого превращения карбидов M_7C_3 в литом состоянии в карбиды $M_{23}C_6$.

На фиг. 6 представлено репрезентативное СЭМ-изображение другого образца конечной отливки, т.е. литой и подвергнутой термической обработке отливки, в области I на фиг. 1.

Цель фиг. 6 состоит в том, чтобы предоставить более подробную информацию о карбидах хрома, которые имеют твердое ядро из M_7C_3 , окруженное более мягкой оболочкой из $M_{23}C_6$, которая описана выше со ссылкой на фиг. 2А. Изображенная на фиг. 6 типичная частица карбида хрома, обозначенная позицией 11, содержит ядро 13 из M_7C_3 и внешнюю оболочку 15 из $M_{23}C_6$ в матрице 17. $M_{23}C_6$ в частице образуется как продукт превращения литого M_7C_3 . $M_{23}C_6$ действует как переходная зона между гораздо более мягкой металлической матрицей 17 и чрезвычайно твердым ядром 15 из карбида M_7C_3 , что позволяет рассеивать энергию удара, тем самым снижая склонность первичных карбидов к растрескиванию при столкновениях и ударах с крупными частицами.

На фиг. 3 представлен график зависимости относительной коррозионной стойкости от концентрации С в композициях образцов конечных отливок, т.е. литых и подвергнутых термической обработке отливок, в соответствии с изобретением, и образцов конечных отливок из известных БЧВСХ, подвергнутых воздействию растворов, которые имеют различные уровни рН.

На фиг. 3 показаны результаты относительной коррозионной стойкости для (а) образцов конечных отливок, имеющих номинальную концентрацию С 3 мас.% в области I на фиг. 1 в соответствии с изобретением, и (b) образцов конечных отливок из известных БЧВСХ, имеющих соответствующие номинальные концентрации С 1 мас.%, 2 мас.%, 4 мас.%, 5 мас.% и 6 мас.%. Эти образцы были подвергнуты воздействию растворов с рН 3, рН 5 и рН 7.

Из фиг. 3 видно, что в относительном выражении коррозионная стойкость образца в соответствии с изобретением проявила себя значительно лучше, чем образцы из известных БЧВСХ.

На фиг. 4А, 4В и 4С представлены графики зависимости относительной потери массы от концентрации С в составах образцов конечных отливок, т.е. литых и подвергнутых термической обработке отливок в соответствии с изобретением, и образцов конечных отливок из известных БЧВСХ, подвергнутых воздействию растворов, имеющих различные уровни рН.

Экспериментальная работа, представленная на фиг. 4А, 4В и 4С, выполнялась в соответствии с ASTM 1095. В этой экспериментальной работе оценивалась эрозия шламового резервуара при углах соударения 45° и 90°.

На фиг. 4А, 4В и 4С представлены результаты для (а) образцов конечных отливок, имеющих номинальную концентрацию С 3 мас.% в области I на фиг. 1 в соответствии с изобретением, и (b) образцов конечных отливок из известных БЧВСХ, имеющих соответствующие номинальные концентрации С 1 мас.%, 2 мас.%, 4 мас.%, 5 мас.% и 6 мас.%. Эти образцы подвергались воздействию растворов с рН 3, рН 5 и рН 7.

Из фиг. 4А, 4В и 4С видно, что эрозионная стойкость образца в соответствии с

изобретением проявила себя значительно лучше, чем образцов из известных БЧВСХ.

На фиг. 5 представлен график относительной эрозионной стойкости и относительной ударопрочности образца конечной отливки, т.е. литой и подвергнутой термообработке отливки, в соответствии с изобретением, и конечных отливок из БЧВСХ Cr27 и Cr35.

Испытания на относительную эрозионную стойкость проводились в соответствии со стандартной процедурой Coriolis Scouring Erosion Testing Национального исследовательского совета Канады. Испытания на относительную ударопрочность проводились в соответствии с процедурой и на испытательной установке, разработанных автором. В соответствии с этой процедурой ударным частицам давали возможность свободно падать и ударять по образцу отливки со скоростью 9 м/с.

На фиг. 5 показано, что эрозионная стойкость образца конечной отливки в соответствии с изобретением была лучше, чем у образца Cr27.

На фиг. 5 также показано, что ударопрочность образца конечной отливки в соответствии с изобретением была лучше, чем у образца Cr35.

Заявитель обнаружил в серии полевых испытаний, что комбинация коррозионной стойкости, эрозионной стойкости, ударопрочности, т.е. трещиностойкости конечной отливки в соответствии с изобретением, хорошо подходит для ряда применений.

Одно из полевых испытаний было выполнено для оценки характеристик отливок рабочих колес 150MCU насосов, работающих в режиме ПСИ (полусамоизмельчения) при добыче золота. Современные рабочие колеса 150MCU изготавливаются из БЧВСХ Cr35, и они разрушаются примерно после 2500 часов работы. Все такие рабочие колеса истончаются и разрушаются. В полевых испытаниях с рабочим колесом, содержащим конечную отливку в соответствии с изобретением, рабочее колесо осталось неповрежденным в течение 3000 часов, и его заменили в рамках планово-профилактического ремонта после этого срока службы.

В описанные в связи с чертежами варианты осуществления изобретения можно внести множество изменений, не выходящих за рамки сущности и объема изобретения.

В представленной ниже формуле изобретения и в предшествующем описании изобретения, за исключением тех случаев, когда в контексте явно или косвенно указано иное, слово "содержит" или его формы, например, "содержащий", используется в инклюзивном смысле, т.е. указывает на наличие заявленных признаков, но не исключает наличия или добавления дополнительных признаков в различных вариантах осуществления изобретения.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Отливка из высокохромистого белого чугуна, которая в конечной форме отливки после термической обработки содержит железную матрицу и по меньшей мере два различных карбида хрома, диспергированных в матрице, причем по меньшей мере один из карбидов хрома включает в себя продукт превращения карбида хрома в литом состоянии.

2. Конечная отливка по п.1, в которой карбидами хрома, диспергированными в матрице, являются M_7C_3 и $M_{23}C_6$, где "М" представляет собой Cr, Fe и Mn.

3. Конечная отливка по п.2, в которой $M_{23}C_6$ является продуктом превращения M_7C_3 с образованием $M_{23}C_6$ во время термической обработки литой отливки.

4. Конечная отливка по п.2 или 3, в которой отливка имеет следующий химический состав:

Cr: 30-40 мас.%

C: 1,5-3 мас.%

Отношения Cr/C (мас.%): 9:1-15:1

До 3 мас.% каждого из любого одного или нескольких из Mn, Si, Ni, Mo и Cu,

Случайные примеси

Остальное: Fe

5. Конечная отливка по любому из пп.2-4, в которой диспергированные в матрице карбиды хрома составляют 30-60 об.% отливки.

6. Конечная отливка по п.5, в которой карбиды хрома M_7C_3 составляют 40-50 об.% отливки.

7. Конечная отливка по п.6, в которой карбиды хрома M_7C_3 составляют 10-20 об.% отливки.

8. Конечная отливка по п.7, в которой карбиды хрома M_7C_3 составляют 15-20 об.% отливки.

9. Конечная отливка по любому из пп.5-8, в которой карбиды хрома $M_{23}C_6$ составляют 20-35 об.% отливки.

10. Конечная отливка по п.9, в которой карбиды хрома $M_{23}C_6$ составляют 25-30 об.% отливки.

11. Конечная отливка по любому из пп.2-10, в которой матрица составляет 40-70 об.% отливки.

12. Конечная отливка по п.1, в которой диспергированными в матрице карбидами хрома являются M_7C_3 и M_3C , где "М" представляет собой Cr, Fe и Mn.

13. Конечная отливка по п.12, в которой M_3C является продуктом превращения M_7C_3 с образованием M_3C во время термической обработки литой отливки.

14. Конечная отливка по п.12 или 13, в которой отливка имеет следующий химический состав:

Cr: 10-23 мас.%

C: 3,3-5,5 мас.%

Отношения Cr/C (мас.%): 2:1-4:1.

До 3 мас.% каждого из любого одного или нескольких из Mn, Si, Ni, Mo и Cu,

Случайные примеси

Остальное: Fe

15. Конечная отливка по любому из пп.12-14, в которой карбиды хрома, диспергированные в матрице, составляют 30-70 об.% отливки.

16. Конечная отливка по любому из пп.12-15, в которой матрица составляет 30-70 об.% отливки.

17. Отливка из высокохромистого белого чугуна, которая в литом состоянии отливки содержит железную матрицу с хромом в растворе в матрице и карбиды хрома, диспергированные в матрице, отличающаяся следующим составом:

Cr: 30-40 мас.%

C: 1,5-3 мас.%

Отношения Cr/C (мас.%): 9:1-15:1.

Суммарное количество карбидов в отливке: 30-60 об.%

До 3 мас.% каждого из любого одного или нескольких из Mn, Si, Ni, Mo и Cu,

Случайные примеси

Остальное: Fe

18. Отливка из высокохромистого белого чугуна, которая в литом состоянии отливки содержит железную матрицу с раствором хрома в матрице и карбиды хрома, диспергированные в матрице, отличающаяся следующим составом:

Cr: 10-23 мас.%

C: 3,3-5,5 мас.%

Отношения Cr/C (мас.%): 2:1-4:1.

Общее количество карбидов в отливке: 30-70 об.%

До 3 мас.% каждого из любого одного или нескольких из Mn, Si, Ni, Mo и Cu,

Случайные примеси

Остальное: Fe

19. Литая отливка, по п.17 или 18, содержащая железную матрицу с хромом в растворе в матрице, эвтектические карбиды хрома, диспергированные в матрице, первичные карбиды хрома, диспергированные в матрице, и при необходимости вторичные карбиды, диспергированные в матрице.

20. Литая отливка по п.19, в которой эвтектические карбиды, первичные карбиды и вторичные карбиды в литой отливке являются карбидами M_7C_3 , где "M" представляет собой Cr, Fe и Mn.

21. Оборудование, применяемое в горнодобывающей и перерабатывающей промышленности, такое как компоненты насосов, содержащие конечную форму отливки, по любому из пп.1-16.

22. Способ изготовления литой отливки по любому из пп.17-20, заключающийся в том, что:

(а) формируют расплав высокохромистого белого чугуна;

(b) разливают расплав в форму и формируют отливку из высокохромистого белого чугуна, имеющую микроструктуру, которая содержит железную матрицу, включающую в себя хром в растворе, эвтектические карбиды хрома, диспергированные в матрице, и первичные карбиды хрома, диспергированные в матрице, и при необходимости вторичные карбиды, диспергированные в матрице.

23. Способ изготовления конечной формы отливки по любому из пп.1-16, включающий в себя этап термической обработки, на котором нагревают литую отливку по любому из пп.17-20 и обеспечивают превращение по меньшей мере части карбидов хрома в литом состоянии в смесь карбидов хрома.

24. Способ по п.23, в котором на этапе термической обработки нагревают литую отливку до 800-1000°C и выдерживают отливку при температуре в течение максимум одних суток и охлаждают отливку на воздухе до температуры окружающей среды.

25. Способ по п.24, в котором на этапе термической обработки дополнительно осуществляют отпуск термообработанной отливки при 200-400°C в течение максимум 12 часов для дополнительного улучшения трещиностойкости и/или снятия напряжения.

26. Способ по любому из пп.23-25, в котором, если литая отливка содержит M_7C_3 и $M_{23}C_6$, обеспечивают превращение по меньшей мере части M_7C_3 и формирование $M_{23}C_6$ как продукта превращения.

27. Способ по любому из пп.23-25, в котором, если литая отливка содержит M_7C_3 и M_3C , обеспечивают превращение по меньшей мере части M_7C_3 и формирование M_3C как продукта превращения.

По доверенности

ДЛЯ СВЕДЕНИЯ
ФОРМУЛА ПО СТ.34

1. Отливка из высокохромистого белого чугуна, которая в конечной форме отливки после термической обработки содержит железную матрицу и **первичные карбиды, включающие в себя** по меньшей мере два различных карбида хрома, диспергированных в матрице, причем **первичные карбиды имеют ядро, содержащее карбид хрома в литом состоянии, и оболочку, окружающую ядро, включающую** в себя продукт превращения карбида хрома в литом состоянии.

2. Конечная отливка по п.1, в которой карбидами хрома, диспергированными в матрице, являются M_7C_3 и $M_{23}C_6$, где "М" представляет собой Cr, Fe и Mn.

3. Конечная отливка по п.2, в которой $M_{23}C_6$ является продуктом превращения M_7C_3 с образованием $M_{23}C_6$ во время термической обработки литой отливки.

4. Конечная отливка по п.2 или 3, в которой отливка имеет следующий химический состав:

Cr: 30-40 мас.%

C: 1,5-3 мас.%

Отношения Cr/C (мас.%): 9:1-15:1

До 3 мас.% каждого из любого одного или нескольких из Mn, Si, Ni, Mo и Cu,

Случайные примеси

Остальное: Fe

5. Конечная отливка по любому из пп.2-4, в которой диспергированные в матрице карбиды хрома составляют 30-60 об.% отливки.

6. Конечная отливка по п.5, в которой карбиды хрома M_7C_3 составляют 40-50 об.% отливки.

7. Конечная отливка по п.6, в которой карбиды хрома M_7C_3 составляют 10-20 об.% отливки.

8. Конечная отливка по п.7, в которой карбиды хрома M_7C_3 составляют 15-20 об.% отливки.

9. Конечная отливка по любому из пп.5-8, в которой карбиды хрома $M_{23}C_6$ составляют 20-35 об.% отливки.

10. Конечная отливка по п.9, в которой карбиды хрома $M_{23}C_6$ составляют 25-30 об.% отливки.

11. Конечная отливка по любому из пп.2-10, в которой матрица составляет 40-70 об.% отливки.

12. Конечная отливка по п.1, в которой диспергированными в матрице карбидами хрома являются M_7C_3 и M_3C , где "М" представляет собой Cr, Fe и Mn.

13. Конечная отливка по п.12, в которой M_3C является продуктом превращения M_7C_3 с образованием M_3C во время термической обработки литой отливки.

14. Конечная отливка по п.12 или 13, в которой отливка имеет следующий химический состав:

Cr: 10-23 мас.%

C: 3,3-5,5 мас.%

Отношения Cr/C (мас.%): 2:1-4:1.

До 3 мас.% каждого из любого одного или нескольких из Mn, Si, Ni, Mo и Cu,

Случайные примеси

Остальное: Fe

15. Конечная отливка по любому из пп.12-14, в которой карбиды хрома, диспергированные в матрице, составляют 30-70 об.% отливки.

16. Конечная отливка по любому из пп.12-15, в которой матрица составляет 30-70 об.% отливки.

17. Отливка из высокохромистого белого чугуна, которая в литом состоянии отливки содержит железную матрицу с хромом в растворе в матрице и первичные карбиды хрома, диспергированные в матрице, отличающаяся следующим составом:

Cr: 30-40 мас.%

C: 1,5-3 мас.%

Отношения Cr/C (мас.%): 9:1-15:1.

Суммарное количество карбидов в отливке: 30-60 об.%

До 3 мас.% каждого из любого одного или нескольких из Mn, Si, Ni, Mo и Cu,

Случайные примеси

Остальное: Fe

18. Отливка из высокохромистого белого чугуна, которая в литом состоянии отливки содержит железную матрицу с раствором хрома в матрице и первичные карбиды хрома, диспергированные в матрице, отличающаяся следующим составом:

Cr: 10-23 мас.%

C: 3,3-5,5 мас.%

Отношения Cr/C (мас.%): 2:1-4:1.

Общее количество карбидов в отливке: 30-70 об.%

До 3 мас.% каждого из любого одного или нескольких из Mn, Si, Ni, Mo и Cu,

Случайные примеси

Остальное: Fe

19. Литая отливка, по п.17 или 18, содержащая железную матрицу с хромом в растворе в матрице, эвтектические карбиды хрома, диспергированные в матрице, первичные карбиды хрома, диспергированные в матрице, и при необходимости вторичные карбиды, диспергированные в матрице.

20. Литая отливка по п.19, в которой эвтектические карбиды, первичные карбиды и вторичные карбиды в литой отливке являются карбидами M_7C_3 , где "M" представляет собой Cr, Fe и Mn.

21. Оборудование, применяемое в горнодобывающей и перерабатывающей промышленности, такое как компоненты насосов, содержащие конечную форму отливки, по любому из пп.1-16.

22. Способ изготовления литой отливки по любому из пп.17-20, заключающийся в том, что:

(а) формируют расплав высокохромистого белого чугуна;

(б) разливают расплав в форму и формируют отливку из высокохромистого белого чугуна, имеющую микроструктуру, которая содержит железную матрицу, включающую в себя хром в растворе, эвтектические карбиды хрома, диспергированные в матрице, и первичные карбиды хрома, диспергированные в матрице, и при необходимости вторичные карбиды, диспергированные в матрице.

23. Способ изготовления конечной формы отливки по любому из пп.1-16, включающий в себя этап термической обработки, на котором нагревают литую отливку по любому из пп.17-20 и обеспечивают превращение по меньшей мере части карбидов хрома в литом состоянии в смесь карбидов хрома.

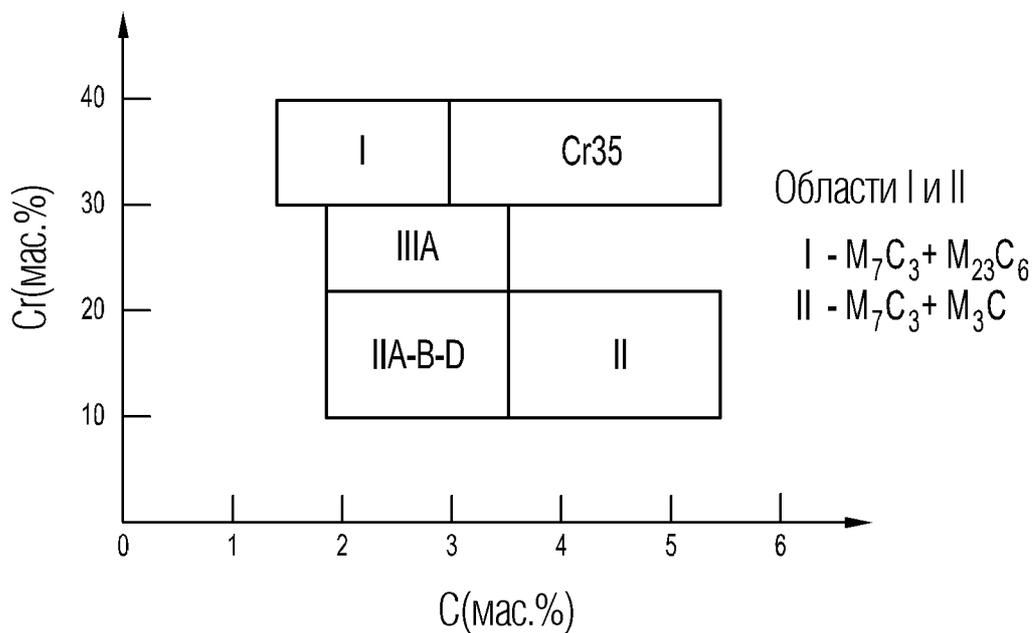
24. Способ по п.23, в котором на этапе термической обработки нагревают литую отливку до 800-1000°C и выдерживают отливку при температуре в течение максимум одних суток и охлаждают отливку на воздухе до температуры окружающей среды.

25. Способ по п.24, в котором на этапе термической обработки дополнительно осуществляют отпуск термообработанной отливки при 200-400°C в течение максимум 12 часов для дополнительного улучшения трещиностойкости и/или снятия напряжения.

26. Способ по любому из пп.23-25, в котором, если литая отливка содержит M_7C_3 и $M_{23}C_6$, обеспечивают превращение по меньшей мере части M_7C_3 и формирование $M_{23}C_6$ как продукта превращения.

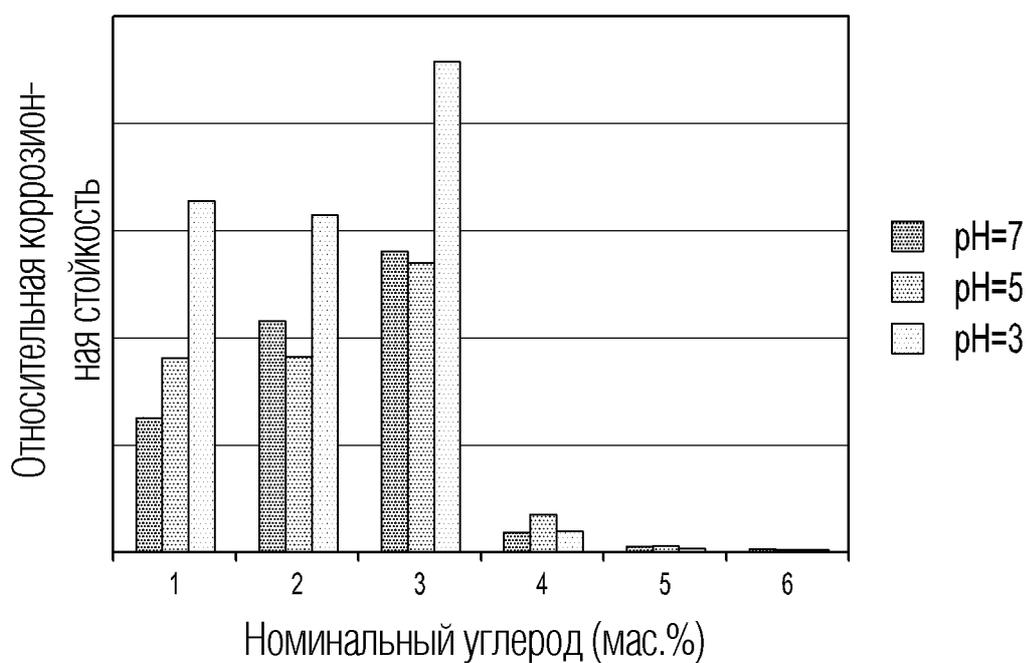
27. Способ по любому из пп.23-25, в котором, если литая отливка содержит M_7C_3 и M_3C , обеспечивают превращение по меньшей мере части M_7C_3 и формирование M_3C как продукта превращения.

1/4



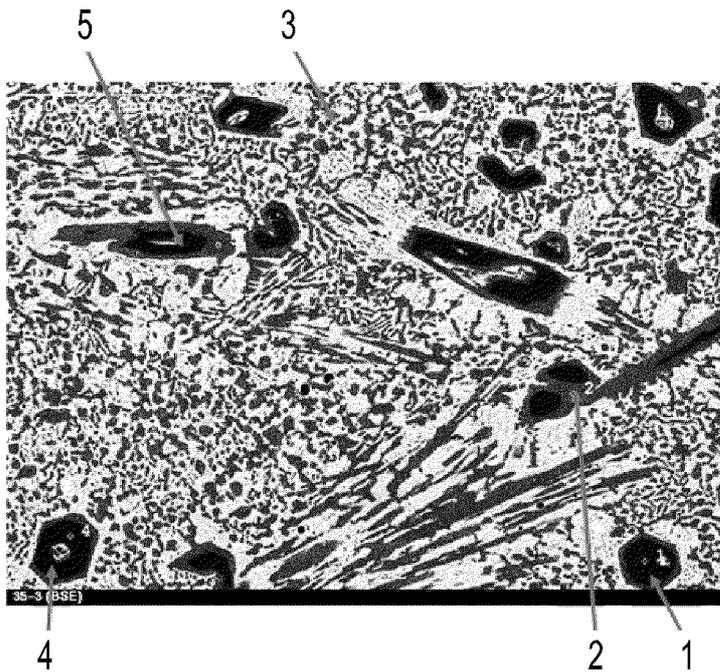
ФИГ. 1

Коррозионная стойкость - рН(Fe-35Cr-xC) - литые и термообработанные образцы



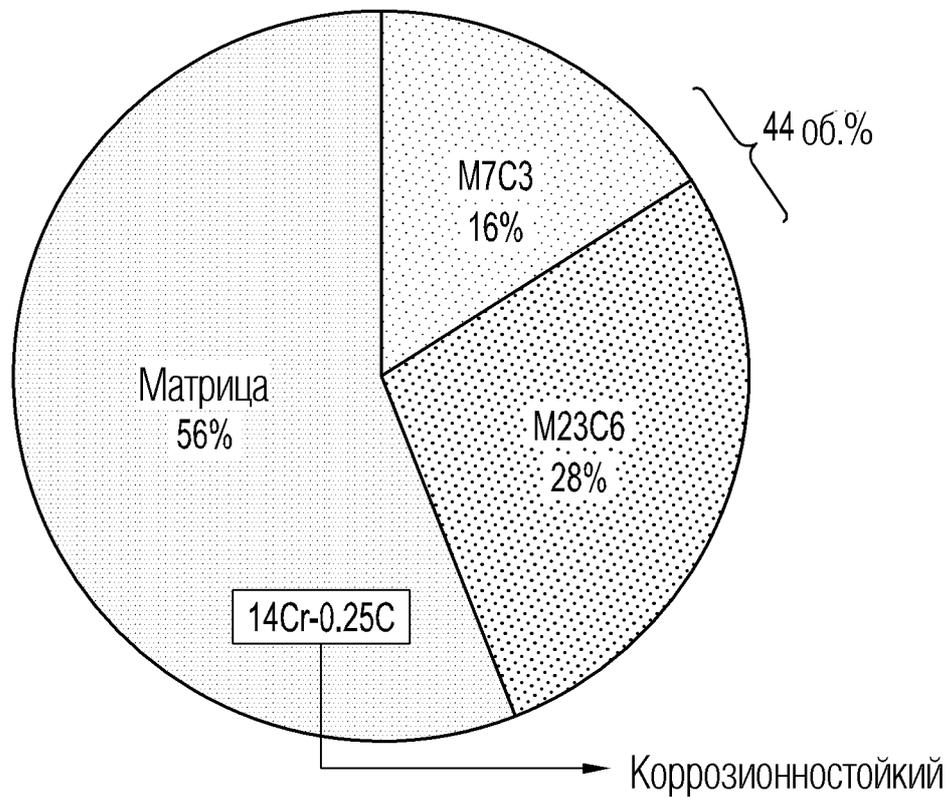
ФИГ. 3

Один пример в области I - литой и термообработанный образец



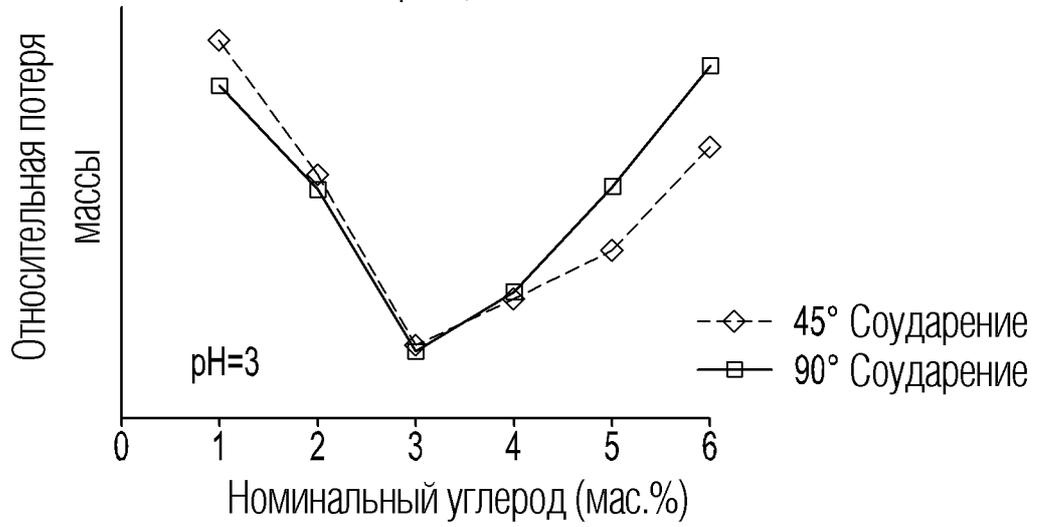
Точки 1 & 4 - M_7C_3
 Точки 2 & 5 - $M_{23}C_6$
 Точки 3 & 6 Железная матрица

ФИГ. 2А



ФИГ. 2В

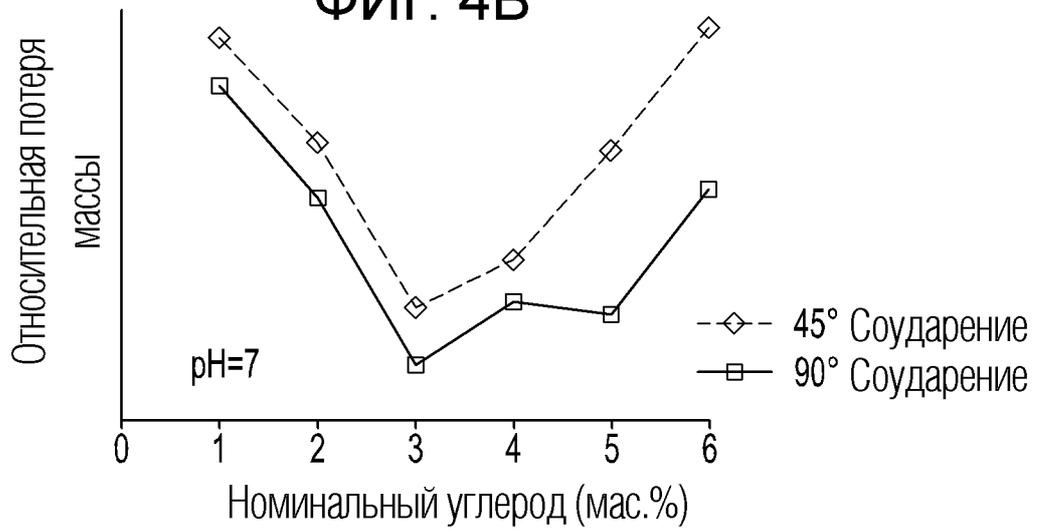
Эрозия шламового резервуара pH (Fe-32Cr-xC) - литые и термообработанные образцы



ФИГ. 4А

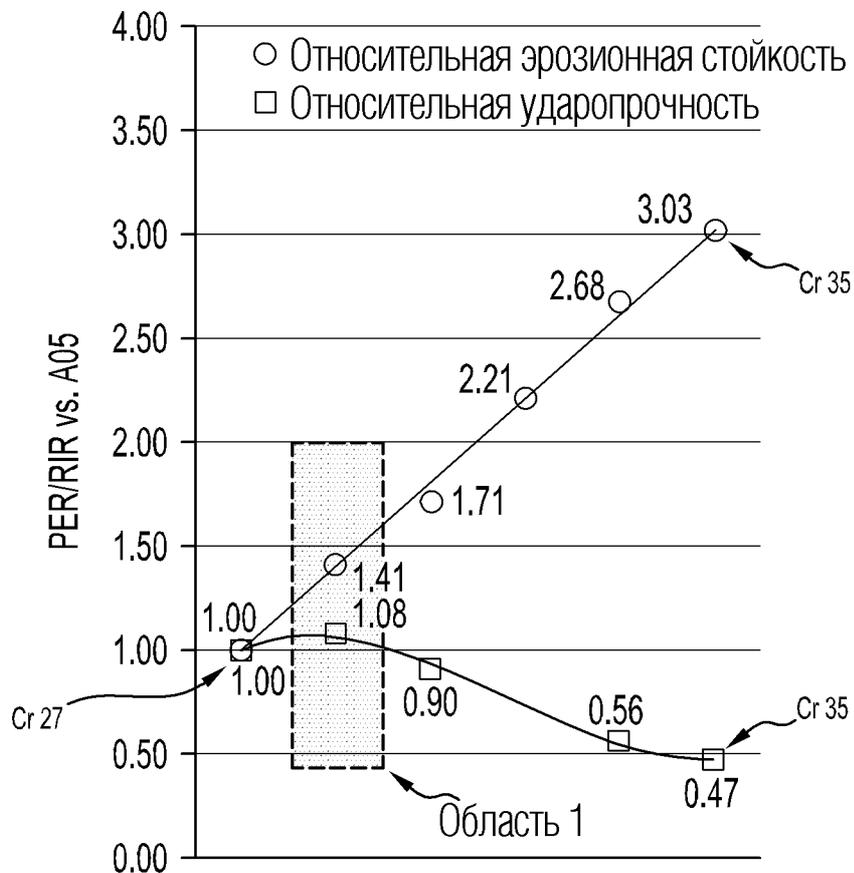


ФИГ. 4В

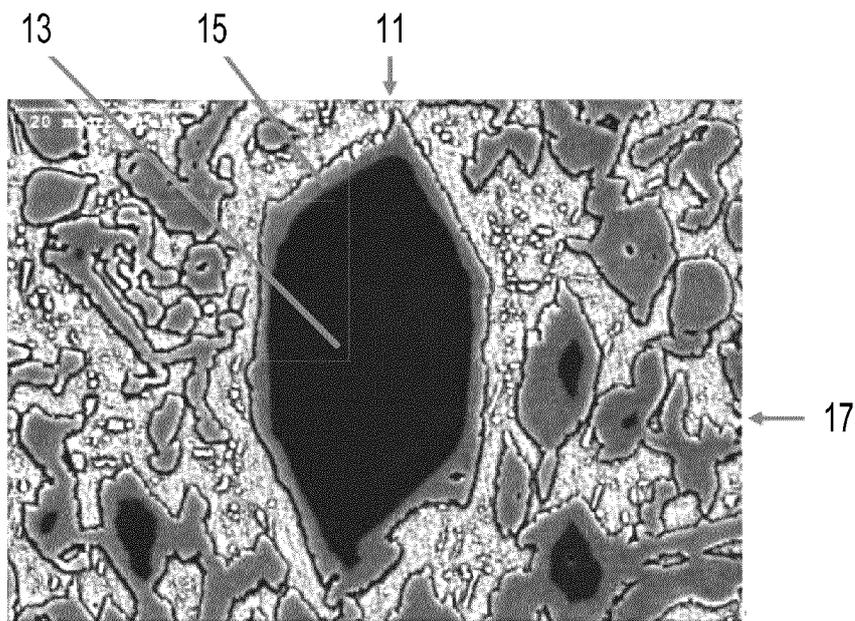


ФИГ. 4С

Эрозионная стойкость и ударопрочность (тест Coriolis Scouring Erosion Testing) по сравнению с Cr32 и Cr27



ФИГ. 5



ФИГ. 6