

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **036277**(13) **B1**(12) **ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ**

(45) Дата публикации и выдачи патента
2020.10.21

(21) Номер заявки
201892667

(22) Дата подачи заявки
2017.06.26

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

(54) БЕЛЫЕ ЧУГУНЫ, УСТОЙЧИВЫЕ К ЭРОЗИИ И КОРРОЗИИ

(31) 2016902490**(32) 2016.06.24****(33) AU****(43) 2019.05.31****(86) PCT/AU2017/050650****(87) WO 2017/219098 2017.12.28**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:
ВЕЙР МИНЕРАЛС АВСТРАЛИЯ ЛТД
(AU)

(72) Изобретатель:
Долман Кевин Фрэнсис, Луси Тимоти
Джастин (AU)

(74) Представитель:
Угрюмов В.М. (RU)

(56) WO-A1-1984004760
WO-A1-2004104253
GB-A-1390011

(57) Отливка заэвтектического белого чугуна, которая в состоянии после литья имеет микроструктуру, включающую в себя железную матрицу, которая содержит 12-20 мас.% хрома, растворенного в матрице, эвтектические карбиды хрома, диспергированные в матрице, первичные карбиды хрома, диспергированные в матрице, и необязательно вторичные карбиды, диспергированные в матрице. Эвтектические карбиды составляют 15-25 об.% отливки, и первичные карбиды составляют 25-35 об.% отливки. Когда присутствуют вторичные карбиды, они составляют вплоть до 6 об.% отливки.

B1**036277****036277****B1**

Область техники настоящего изобретения

Настоящее изобретение относится к устойчивым к абразивному, ударному, эрозионному и коррозионному износу сплавам белого чугуна, содержащим твердый материал, диспергированный в основном металле или металлическом сплаве.

Настоящее изобретение также относится к оборудованию, используемому в горноперерабатывающей промышленности, такому как компоненты насосов (включая компоненты насосов для суспензий), которые содержат отливки из износоустойчивых материалов или наплавки из белых чугунов, причем на оборудование воздействует какой-либо один или более чем один фактор из сильного абразивного, ударного, эрозионного и коррозионного износа.

Настоящее изобретение также относится к способу получения сплавов белого чугуна.

Настоящее изобретение также относится к способу получения отливок или наплавки из белых чугунов, составляющих по меньшей мере часть оборудования, используемого в горноперерабатывающей промышленности.

Предшествующий уровень техники настоящего изобретения

На оборудование, используемое в горноперерабатывающей промышленности, часто воздействует какой-либо один или более чем один фактор из сильного абразивного, ударного, эрозионного и коррозионного износа. Оборудование содержит, например, насосы для суспензий, трубопроводы, мельничные футеровки, дробилки, перегрузочные лотки и землеройные устройства.

В качестве конкретного примера, на металлические компоненты "мокрой части" насосов для суспензий в процессе эксплуатации воздействует абразивный, ударный, эрозионный и коррозионный износ вследствие прохождения через насосы твердых и острых минеральных частиц в больших количествах. Компоненты насосов включают в себя футеровки корпусов насосов, рабочие колеса, спиральные камеры и упорные горловины. Как правило, масса компонентов находится в диапазоне от 2 кг до приблизительно 20 т или более. Компоненты включают в себя отливки из износоустойчивых материалов или наплавки из износоустойчивых материалов, причем на оборудование воздействует какой-либо один или более чем один фактор из сильного абразивного, ударного, эрозионного и коррозионного износа, что требует замены с периодическими интервалами для поддержания эксплуатационных характеристик насоса в рабочем состоянии.

Потеря материала металлических компонентов мокрой части насосов для суспензий может быть обусловлена одним или несколькими из следующих механизмов:

- эрозионный износ под действием минеральных частиц (имеющих номинальный диаметр от 0,1 до 100 мм), протекающих через оборудование;

- коррозия вследствие контакта с протекающими через насосы жидкостями (данный термин распространяется на суспензии), причем значение pH жидкостей может варьироваться от сильноокислого до сильнощелочного;

- расслаивание или растрескивание вследствие ударной нагрузки в ходе эксплуатации.

Семейство высокохромистых белых чугунов (ВХБЧ), описанное в разделах 1(c) и 3.3 стандарта 21988 Международной ассоциации по стандартизации (ISO) представляет собой разнообразные сплавы, в которых оптимизированы три основных свойства, в том числе: (a) износоустойчивость, (b) коррозионная устойчивость и (c) сопротивление развитию трещины, которые необходимы компонентам мокрой части насосов для суспензий в широком диапазоне условий эксплуатации.

Первый ВХБЧ был разработан 100 лет назад и запатентован в 1917 г. (патент США № 1245552).

Номинальный валовой химический состав первого сплава ВХБЧ представляет собой

хром 20-35 мас.%;

углерод 1,5-3,0 мас.%;

кремний 0,0-3,0 мас.%;

железо - остальная масса.

Первый сплав ВХБЧ, обозначенный "Cr27" в табл. 3 стандарта 21988 Международной ассоциации по стандартизации (ISO) и далее называемый "Cr27" в настоящем документе, соответствует формуле изобретения в патенте США № 1245552 и фактически представляет собой материал, интенсивно используемый в настоящее время во многих устройствах насосов для суспензий, подвергаемых абразивному, эрозионному и коррозионному износу.

Микроструктуру отливок из сплава Cr27 составляют две четко различающиеся фазы, а именно:

карбиды хрома 25 об.%;

железная матрица 75 об.%.

Твердость карбидов хрома (1400-1600 единиц по Викерсу) в микроструктуре составляет более чем твердость большинства обычных вызывающих износ сред, проходящих через насосы для суспензий, таких как кварцевый песок (900-1200 единиц по Викерсу), и указанные карбиды придают превосходную износоустойчивость отливкам из Cr27. Ниже в табл. 1 представлены данные микроанализа фаз карбидов хрома и железной матрицы и валового химического состава фаз в отливках из Cr27 в состоянии после литья, т.е. после получения отливок в литейных формах и непрерывного охлаждения до температуры окружающей среды.

Таблица 1. Отливки из Cr27

Фаза	Объемная доля	Химический состав (мас.%)					
Описание	%	Cr	C	Mn	Si	Fe	
Карбиды Cr	25	62	8,8	2,0	0,0	27,2	
Железная матрица	75	15	0,8	2,0	0,7	81,5	
Итого (вал.)	100	27	2,8	2,0	0,5	67,7	

Следующее обсуждение отливок из Cr27 относится к отливкам в состоянии после литья.

Химический состав карбидов хрома в отливках из Cr27 представляет собой Fe-62Cr-8,8C-2Mn, и стехиометрический состав представляет собой $(Cr,Fe,Mn)_7C_3$. Присутствие твердой фазы карбидов хрома в микроструктуре отливок из Cr27 придает отливкам повышенную износоустойчивость. Химический состав фазы железной матрицы в отливках из Cr27 представляет собой Fe-15Cr-0,8C-2Mn-0,5Si, чему практически соответствует мартенситная нержавеющая сталь (твердость 600-800 единиц по Викерсу), что обеспечивает хорошую коррозионную устойчивость в водных средах при pH выше 4,5.

Карбиды хрома в микроструктуре отливок из Cr27 содержат трехмерный непрерывный каркас, который охрупчивает Cr27 и делает отливки уязвимыми к условиям ударной нагрузки в ходе эксплуатации. Вследствие присутствия трехмерного непрерывного каркаса отливки из Cr27 имеют низкое или умеренное сопротивление развитию трещины. Температура ликвидуса сплава Cr27 составляет менее чем 1300°C, и его литье в литейном производстве оказывается значительно более простым, чем в случае сталей, имеющих более высокие температуры ликвидуса, составляющие, как правило, приблизительно 1500°C.

Износоустойчивость отливок из Cr27 достигнута за счет присутствия 25 об.% карбидов хрома (CrC).

Коррозионная устойчивость отливок из Cr27 достигнута за счет присутствия 75 об.% железной матрицы нержавеющей стали, содержащей 15 мас.% элементарного хрома в растворе.

В области высокохромистых белых чугунов происходило дальнейшее развитие с тех пор, как описанный выше первый ВХБЧ был разработан приблизительно 100 лет назад. Указанное развитие привело к улучшениям эксплуатационных характеристик в ряде областей.

В качестве примера заявителем разработано семейство ВХБЧ, обозначенное Cr35 и предназначенное для изготовления деталей насосов для суспензий и ряда применений, характеризующихся высоким износом.

Приблизительно 10 лет назад Австралийская ассоциация по стандартизации и Международная ассоциация по стандартизации приняли Cr35 в качестве специализированного износоустойчивого материала, который введен в стандарты AS/NZS 2027 и ISO 21988 соответственно.

Износоустойчивость семейства сплавов Cr35 признана превосходящей износоустойчивость сплава Cr27 в многочисленных применениях насосов для суспензий, где эрозионный износ представляет собой преобладающий механизм потери материала.

Заявитель понял, что по-прежнему существует необходимость дальнейших усовершенствований в некоторых применениях, включая применения насосов для суспензий (а также другие разнообразные применения другого оборудования).

Одну конкретную область для усовершенствования представляют собой применения насосов для суспензий, где pH ниже 4,5 вследствие присутствия кислот и/или аэрации, и коррозия представляет собой преобладающий фактор в ходе эксплуатации.

Приведенное выше описание не следует воспринимать в качестве признания общеизвестности в Австралии или какой-либо другой стране.

Краткое раскрытие настоящего изобретения

Заявителем осуществлен экспериментальный проект для установления факторов, влияющих на эксплуатационные характеристики изготовленных из ВХБЧ компонентов мокрой части насосов для суспензий в вызывающих коррозию применениях.

Цель экспериментального проекта заключалась в том, чтобы определить оптимальную микроструктуру отливок из ВХБЧ для достижения подходящих эксплуатационных характеристик в средах, где присутствуют сильный абразивный, ударный и эрозионный износ и значительное коррозионное воздействие.

Один результат экспериментального проекта представляет собой понимание того, что изготовленные из литого ВХБЧ компоненты мокрой части насосов для суспензий, которые имеют определенную микроструктуру, могут хорошо работать в условиях сильного абразивного, ударного, эрозионного и коррозионного воздействия.

Микроструктура согласно настоящему изобретению определена в данном описании в двух состояниях. Одно состояние представляет собой микроструктуру в состоянии после литья. Другое состояние представляет собой микроструктуру отливки, готовой для конечного применения.

Как правило, готовая для конечного применения отливка представляет собой отливку, термически обработанную после литья. Термическая обработка обычно увеличивает содержание карбидов хрома и

уменьшает содержание элементарного хрома, растворенного в матрице отливки. Следует отметить, что существуют ситуации, где готовая для конечного применения отливка представляет собой отливку в состоянии после литья.

В общем виде, на основании результатов экспериментального проекта настоящим изобретением предложена отливка заэвтектического белого чугуна, которая в состоянии после литья имеет микроструктуру, включающую в себя железную матрицу, которая содержит 12-20 мас.% хрома, растворенного в матрице, эвтектические карбиды хрома, диспергированные в матрице, первичные карбиды хрома, диспергированные в матрице, и необязательно вторичные карбиды, диспергированные в матрице, причем эвтектические карбиды составляют 15-25 об.% отливки, первичные карбиды составляют 25-35 об.% отливки, а когда присутствуют вторичные карбиды, они составляют вплоть до 6 об.% отливки.

Описанная в предыдущем параграфе отливка в состоянии после литья согласно настоящему изобретению имеет сочетание следующих признаков, которые обеспечивают подходящие эксплуатационные характеристики в применениях, где среды, создающие сильный абразивный, ударный и эрозионный износ, а также значительное коррозионное воздействие, влияют на компоненты, такие как изготовленные из ВХБЧ компоненты мокрой части насосов для суспензий:

- (a) высокое содержание растворенного в матрице хрома, составляющее по меньшей мере 12 мас.%;
- (b) сочетание эвтектических карбидов и первичных карбидов хрома, диспергированных в матрице;
- (c) высокое суммарное количество эвтектических карбидов и первичных карбидов хрома, составляющее, как правило, по меньшей мере 45 об.%.

Термин "первичные карбиды" следует понимать как означающий карбиды, которые осаждаются из расплава между температурами ликвидуса и солидуса.

Термин "эвтектические карбиды" следует понимать как означающий карбиды, которые осаждаются из расплава при температуре солидуса.

Термин "вторичные карбиды" следует понимать как означающий карбиды, которые образуются посредством твердофазных реакций в отливках.

Выражение "отливка в состоянии после литья", используемое в предыдущем параграфе (а также в предшествующей части настоящего описания), следует понимать как означающее отливку после ее получения и непрерывного охлаждения в литейной форме до температуры окружающей среды. Продолжительность охлаждения может составлять от нескольких минут для мелких отливок до нескольких недель для крупных отливок. Как правило, масса отливок может составлять 1 или 2 кг и вплоть до приблизительно 20 т.

Термин "отливка в состоянии после литья" не распространяется на отливки, которые после литья были подвергнуты термической обработке, которая приводит, например, к осаждению вторичных карбидов хрома. Один пример вторичной термической обработки карбидов хрома предусматривает нагревание отливок до 950-1050°C и выдерживание отливок при данной температуре в течение 4-6 ч с последующим воздушным охлаждением отливок до температуры окружающей среды. В процедуре вторичной термической обработки карбидов хрома Cr, C и другие элементы осаждаются из раствора в матрице и, таким образом, изменяется концентрация элементов, растворенных в матрице. В отношении Cr уменьшение содержания элементарного Cr, растворенного в матрице термически обработанной отливки, вследствие процедуры вторичной термической обработки карбидов хрома может составлять вплоть до 5 мас.% в зависимости от предшествующей термической истории отливки и процедуры заключительной термической обработки.

По сравнению с описанной выше микроструктурой отливки в состоянии после литья термически обработанная отливка после литья может содержать: (a) меньшую концентрацию хрома в растворе, (b) меньший объем матрицы; (c) одинаковые концентрации первичных и эвтектических карбидов и (d) больший объем вторичных карбидов.

Концентрация хрома в растворе в термически обработанной отливке может составлять по меньшей мере 12 мас.%.

Концентрация хрома в растворе в термически обработанной отливке может составлять по меньшей мере 14 мас.%.

Концентрация хрома в растворе в термически обработанной отливке может составлять менее чем 20 мас.%.

Как правило, массовое соотношение элементарного хрома и углерода в состоянии после литья и термически обработанной отливке выбрано таким образом, чтобы оптимизировать образование "твердых" карбидов как эвтектических карбидов, первичных карбидов и вторичных карбидов в состоянии после литья и термически обработанной отливке.

Термин "твердый" представляет собой относительный термин. В контексте настоящего изобретения специалист в данной области техники четко понимает, что представляет собой твердый карбид. Например, специалист в данной области техники понимает, что "твердые" карбиды включают в себя карбиды M_7C_3 (где "M" включает в себя Cr, Fe и Mn). Карбиды M_7C_3 являются относительно более твердыми, чем карбиды $M_{23}C_6$ и поэтому карбиды $M_{23}C_6$ рассматривают как "мягкие" карбиды.

В данном контексте заявителю известно, что при увеличении концентрации хрома в заэвтектиче-

ских сплавах белого чугуна согласно настоящему изобретению, т.е. в валовом химическом составе сплава, из которого получена отливка, карбиды проявляют склонность к превращению и образованию более мягкой фазы карбидов $M_{23}C_6$, а не более твердой фазы карбидов M_7C_3 .

Когда необходима оптимальная твердость, оказывается предпочтительным, что массовое соотношение хрома и углерода в состоянии после литья и в термически обработанной отливке составляет более чем 7:1 и менее чем 9,25:1.

Как правило, соотношение хрома и углерода в состоянии после литья и в термически обработанной отливке составляет более чем 7,5:1.

Соотношение хрома и углерода в состоянии после литья и в термически обработанной отливке может составлять более чем 8:1.

Эвтектические карбиды, первичные карбиды и вторичные карбиды в состоянии после литья и в термически обработанной отливке могут представлять собой карбиды M_7C_3 (где "M" включает в себя Cr, Fe и Mn).

Каждый из эвтектических карбидов $(Cr,Fe,Mn)_7C_3$ и первичных карбидов $(Cr,Fe,Mn)_7C_3$ в состоянии после литья и в термически обработанной отливке может содержать 50-70 мас.% Cr, 8,5-8,9 мас.% C, 0,5-5,0 мас.% Mn и другие элементы, причем остальную массу составляет Fe.

Каждый из эвтектических карбидов $(Cr,Fe,Mn)_7C_3$ и первичных карбидов $(Cr,Fe,Mn)_7C_3$ в состоянии после литья и в термически обработанной отливке может содержать 55-65 мас.% Cr, 8,5-8,9 мас.% C, 0,5-5,0 мас.% Mn и другие элементы, причем остальную массу составляет Fe.

Эвтектические карбиды в состоянии после литья и в термически обработанной отливке могут представлять собой мелкозернистые карбиды, например, аналогичные карбидам хрома в отливках из Cr27.

Первичные карбиды в состоянии после литья и в термически обработанной отливке могут представлять собой крупнозернистые карбиды.

Вторичные карбиды $(Cr,Fe,Mn)_7C_3$ в состоянии после литья и в термически обработанной отливке могут содержать 45 мас.% Cr, 9 мас.% C, 4 мас.% Mn и другие элементы, причем остальную массу составляет Fe.

Вторичные карбиды в состоянии после литья и в термически обработанной отливке могут представлять собой тонкозернистые карбиды.

Железная матрица в состоянии после литья может содержать 12-20 мас.% Cr, 0,2-1,5 мас.% C и 1,0-5,0 мас.% Mn, причем остальную массу составляет Fe.

Железная матрица в состоянии после литья может содержать 14-16 мас.% Cr, 0,3-1,2 мас.% C и 1,0-5,0 мас.% Mn, причем остальную массу составляет Fe.

Железная матрица в состоянии после литья может содержать 13-17 мас.% Cr, растворенного в матрице.

Железная матрица в состоянии после литья может содержать 15 мас.% Cr, растворенного в матрице.

В состоянии после литья отливка может содержать 25-30 об.% первичных карбидов, 15-20 об.% эвтектических карбидов и вплоть до 6 об.% вторичных карбидов.

Как правило, в состоянии после литья отливка содержит 25-28 об.% первичных карбидов, 17-20 об.% эвтектических карбидов и вплоть до 6 об.% вторичных карбидов.

Суммарное количество эвтектических карбидов и первичных карбидов хрома в состоянии после литья может составлять более чем 45 об.%.

Суммарное количество эвтектических карбидов и первичных карбидов хрома в состоянии после литья может составлять более чем 50 об.%.

Суммарное количество эвтектических карбидов и первичных карбидов хрома в состоянии после литья может составлять менее чем 55 об.%.

В состоянии после литья отливка может содержать по меньшей мере 2 об.% вторичных карбидов.

Железная матрица отливки в состоянии после литья может представлять собой, в основном, мартенсит.

Железная матрица отливки в состоянии после литья может состоять из мартенсита и сохранять некоторый остаточный аустенит.

Железная матрица термически обработанной отливки может состоять из мартенсита.

Масса отливки может составлять по меньшей мере 1 т.

Масса отливки может составлять по меньшей мере 2 т.

Масса отливки может составлять по меньшей мере 3 т.

Отливка может быть изготовлена посредством модифицирования при литье, как раскрыто, например, в австралийском патенте № 698777 на имя заявителя, причем описание этого патента включено в настоящий документ посредством перекрестной ссылки.

Валовой химический состав отливки в состоянии после литья и термически обработанной отливки может содержать 35-40 мас.% Cr, 4-5 мас.% C, <4 мас.% Mn, <1,5% Si, причем остальную массу составляют Fe и примеси.

Массовое соотношение хрома и углерода в валовом химическом составе может составлять более чем 7:1 и менее чем 9,25:1.

Концентрация С в валовом химическом составе может составлять более чем 4,3 мас. %.

Концентрация С в валовом химическом составе может составлять менее чем 4,7 мас. %.

Концентрация Мп в валовом химическом составе может составлять более чем 1 мас. %.

Концентрация Мп в валовом химическом составе может составлять менее чем 3 мас. %.

Концентрация Si в валовом химическом составе может составлять более чем 0,5 мас. %.

Концентрация Si в валовом химическом составе может составлять менее чем 1 мас. %.

Примеси могут содержать серу, фосфор, алюминий, никель, медь и молибден.

В некоторых ситуациях в зависимости от литейного производства концентрации примесей могут быть достаточно высокими. Например, концентрация Ni в некоторых ситуациях может составлять вплоть до 2 мас. %. Следует отметить, что в указанных концентрациях Ni влияет на твердость железной матрицы, потому что Ni представляет собой мощный стабилизатор аустенита и воздействует на фазовое превращение аустенита в мартенсит. Однако поскольку Ni не может внедряться в карбиды хрома, и весь Ni остается в железной матрице, он производит весьма незначительное воздействие на микроструктуру материала в указанных концентрациях. Концентрация Ni предпочтительно составляет менее чем 2,5 мас. %.

Валовой химический состав отливки в состоянии после литья и термически обработанной отливки может содержать полезные добавки какого-либо одного или нескольких из следующих соединений: карбиды и/или нитриды и/или бориды ниобия, титана, вольфрама, молибдена, тантала, ванадия и циркония.

Износоустойчивость отливки может быть выбрана согласно требованиям в отношении конечного применения отливки. Износоустойчивость не представляет собой свойство материала. Износоустойчивость представляет собой свойство системы и зависит от ряда технологических факторов, например, в случае насосов, перекачивающих суспензии, от твердости частиц суспензии, размера и угловатости частиц суспензии, скорости суспензии, pH суспензии и т. д.

Аналогичным образом, коррозионная устойчивость отливки может быть выбрана согласно требованиям в отношении конечного применения отливки. Коррозионная устойчивость не представляет собой свойство материала и, как и в случае износоустойчивости, зависит от ряда технологических факторов. Соппротивление развитию трещины в отливке может находиться в диапазоне от 20 до 40 МПа·м^{1/2}, и его определяют посредством исследования согласно процедуре, описанной в ASTM STP 559. Описание ASTM STP 559 включено в настоящий документ посредством перекрестной ссылки.

Настоящее изобретение также предусматривает оборудование, используемое в горноперерабатывающей промышленности, такое как компоненты насосов, которые содержат описанные выше отливки, где оборудование подвержено какому-либо одному или более чем одному воздействию из сильного абразивного, эрозийного и коррозионного износа.

Оборудование может содержать отливку в состоянии после термической обработки, в котором вследствие термической обработки микроструктура имеет: (а) меньшую концентрацию хрома в растворе, (b) меньший объем матрицы; (с) одинаковые концентрации первичных и эвтектических карбидов и (d) больший объем вторичных карбидов.

Концентрация хрома в растворе в термически обработанной отливке может составлять по меньшей мере 12 мас. %.

Концентрация хрома в растворе в термически обработанной отливке может составлять по меньшей мере 14 мас. %.

Концентрация хрома в растворе в термически обработанной отливке может составлять менее чем 20 мас. %.

Как отмечено выше, оборудование, особенно интересующее заявителя, представляет собой компоненты мокрой части насосов для суспензий в схемах помола.

Оборудование может также включать в себя, например, трубопроводы, мельничные футеровки, дробилки, перегрузочные лотки и землеройные устройства.

Настоящее изобретение также предлагает способ получения описанной выше отливки, предусматривающий стадии, на которых:

(а) получают расплав высокохромистого сплава белого чугуна;

(b) выливают расплавленный сплав в литейную форму и получают отливку заэвтектического белого чугуна, имеющего микроструктуру, включающую в себя железную матрицу, которая содержит 12-20 мас. % хрома в растворе, эвтектические карбиды хрома, диспергированные в матрице, первичные карбиды хрома, диспергированные в матрице, и необязательно вторичные карбиды, диспергированные в матрице, причем эвтектические карбиды составляют 15-25 об. % отливки, первичные карбиды составляют 25-35 об. % отливки, а когда присутствуют вторичные карбиды, они составляют вплоть до 6 об. % отливки в состоянии после литья.

Способ может представлять собой способ модификации отливки, который раскрыт, например, в австралийском патенте № 698777 на имя заявителя.

Способ может предусматривать после литья стадию термической обработки.

Стадия термической обработки может включать в себя нагревание отливки до 950-1050°C и выдерживание отливки при данной температуре в течение 4-6 ч с последующим воздушным охлаждением от-

ливки до температуры окружающей среды.

Настоящее изобретение также предлагает сплав белого чугуна, имеющий следующий валовой химический состав: 35-40 мас.% Cr, 4-5 мас.% C, <4 мас.% Mn, <1,5% Si, причем остальную массу составляют Fe и примеси.

Массовое соотношение Cr и C может составлять более чем 7:1 и менее чем 9,25:1.

Как правило, соотношение Cr и C составляет более чем 7,5:1.

Соотношение Cr и C может составлять более чем 8:1.

Концентрация C в валовом химическом составе может составлять более чем 4,3 мас.%.
 Концентрация C в валовом химическом составе может составлять менее чем 4,7 мас.%.
 Концентрация Mn в валовом химическом составе может составлять более чем 1 мас.%.
 Концентрация Mn в валовом химическом составе может составлять менее чем 3 мас.%.
 Концентрация Si в валовом химическом составе может составлять более чем 0,5 мас.%.
 Концентрация Si в валовом химическом составе может составлять менее чем 1 мас.%.
 Примеси могут содержать серу, фосфор, алюминий, никель, медь и молибден.

Краткое описание фигур

Далее варианты осуществления настоящего изобретения представлены исключительно в качестве примера со ссылкой на следующие фигуры, где

на фиг. 1 представлена секторная диаграмма, которая иллюстрирует фазы отливки из одного сплава, полученной в соответствии с настоящим изобретением и проанализированной в ходе вышеупомянутой экспериментальной программы, осуществленной заявителем;

на фиг. 2 представлено полученное методом сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) изображение образца в состоянии после литья и термически обработанной отливки в соответствии с настоящим изобретением; и

на фиг. 3 представлено полученное методом СЭМ изображение исследуемой отливки в таком же термическом состоянии, как при производственном испытании отливки в состоянии после литья в соответствии с настоящим изобретением.

Подробное раскрытие настоящего изобретения

Как отмечено выше, в экспериментальном проекте, осуществленном заявителем, обнаружено, что компоненты мокрой части насосов для суспензий, изготовленные из экспериментального сплава ВХБЧ, который составляют (а) карбиды хрома в содержании порядка 45 об.% и (b) железная матрица, содержащая порядка 15 мас.% хрома, растворенного в матрице, в состоянии после литья хорошо работали в условиях сильного абразивного, ударного, эрозионного и коррозионного воздействия.

На основании экспериментального проекта заявителем обнаружено, что в состоянии после литья отливки, имеющие в сочетании следующие признаки, проявляют подходящие эксплуатационные характеристики в качестве изготовленных из ВХБЧ компонентов мокрой части насосов для суспензий в условиях сильного абразивного, ударного и эрозионного износа, а также значительного коррозионного воздействия:

- (a) высокое содержание растворенного в матрице хрома, составляющее по меньшей мере 12 мас.%;
- (b) сочетание эвтектических карбидов и первичных карбидов хрома, диспергированных в матрице;
- (c) высокое суммарное количество эвтектических карбидов и первичных карбидов хрома, составляющее, как правило, по меньшей мере 45 об.%.

Кроме того, заявителем обнаружено, что в состоянии после литья отливки, имеющие следующую микроструктуру, проявляют оптимизированное сочетание улучшенной прочности, хорошей коррозионной устойчивости и превосходной износостойкости в разнообразных применениях, включая компоненты мокрой части насосов для суспензий в схемах помолы, трубопроводы, мельничные футеровки, дробилки, дробилки, перегрузочные лотки и землеройные устройства:

- (a) железная матрица, которая содержит 12-20 мас.% хрома в растворе,
- (b) 15-25 об.% отливки составляют эвтектические карбиды хрома, диспергированные в матрице,
- (c) 25-35 об.% отливки составляют первичные карбиды хрома, диспергированные в матрице, и
- (d) необязательно вплоть до 6 об.% отливки составляют вторичные карбиды, диспергированные в матрице.

На фиг. 1 секторная диаграмма схематически иллюстрирует микроструктуру экспериментального сплава в литом состоянии, т.е. перед какой-либо дополнительной обработкой после литья.

Как показывает фиг. 1, микроструктуру составляют

железная матрица, содержащая мартенсит, некоторое количество остаточного аустенита и 15 мас.% хрома, растворенного в матрице, причем железная матрица составляет вплоть до 55 об.% отливки;

образующие непрерывный трехмерный каркас тонкозернистые эвтектические карбиды хрома, аналогичные карбидам хрома в отливке Cr27 (20 об.%) и составляющие вплоть до 20 об.% отливки. Присутствие непрерывного трехмерного каркаса эвтектических карбидов хрома в микроструктуре отливки из Cr27 значительно уменьшает сопротивление развитию трещины. Эвтектические карбиды представляют собой карбиды M_7C_3 (где "M" включает в себя Cr, Fe и Mn);

крупнозернистые дискретные первичные карбиды хрома, составляющие вплоть до 25 об.% отливки,

которые образуются в ходе затвердевания и также неблагоприятно воздействуют на сопротивление развитию трещины в отливке посредством уменьшения количества более прочной железной матрицы в микроструктуре. Первичные карбиды представляют собой карбиды M_7C_3 (где "М" включает в себя Cr, Fe и Mn);

необязательно тонкозернистые вторичные карбиды, составляющие вплоть до 6 об.% отливки, которые образуются после затвердевания и также неблагоприятно воздействуют на сопротивление развитию трещины в отливке посредством (а) уменьшения количества более прочной железной матрицы в микроструктуре и (б) дестабилизации аустенитной фазы, которая превращается в мартенсит. Вторичные карбиды представляют собой карбиды M_7C_3 (где "М" включает в себя Cr, Fe и Mn).

На фиг. 2 представлено полученное методом СЭМ изображение образца в состоянии после литья и в термически обработанной отливке в соответствии с настоящим изобретением. Данное изображение сделано более контрастным, чтобы представить распределение первичных и эвтектических карбидов в железной матрице.

В стандартных сплавах Fe-Cr-C микроструктурные и микроаналитические признаки, такие как стехиометрия карбидов $(Cr, Fe, Mn)_7C_3$, объемная доля первичных карбидов, объемная доля эвтектических карбидов, распределение карбидов и количества элементарного хрома, железа и углерода в (а) карбидах и (б) железной матрице отливок из сплавов, в значительной степени зависят от характера распределения каждого индивидуального элемента в сплаве в ходе процессов затвердевания и охлаждения при получении отливок.

Коэффициенты распределения для каждого элемента определяют сложные факторы, которые не являются точно известными и должны быть установлены методом проб и ошибок.

В экспериментальном проекте в лабораторных условиях заявителем получен ряд сплавов Fe-Cr-C-2Mn-0,5Si, и микроструктурные и микроаналитические данные полученных в результате различных фаз определены посредством подробных исследований с применением сканирующей электронной микроскопии, энергодисперсионной спектроскопии, волнодисперсионной спектроскопии и рентгеновской дифракции.

Из этих экспериментальных данных заявитель смог установить сплавы с микроструктурными признаками, аналогичными (или близкими) относительно выбранных требований для трех фаз в отливке, как представлено на фиг. 1, с конкретным сосредоточением на работе по выполнению требований, согласно которым в матрице растворено 15 мас.% хрома, железная матрица составляет вплоть до 55 об.% отливки, и эвтектические и первичные карбиды составляют, соответственно, вплоть до 20 и 25 об.% отливки.

Номинальный валовой химический состав отливки, имеющей микроструктурные признаки, описанные в предыдущем параграфе, определяли, суммируя данные микроанализов и пропорции каждой фазы. Ниже в табл. 2 в качестве примера представлен типичный номинальный валовой химический состав отливки с выбранными микроструктурными признаками в соответствии с настоящим изобретением.

Таблица 2. Номинальный химический состав примерной отливки с выбранными микроструктурными признаками

Фазы	Об.%	Состав (мас.%)					
		Fe	Cr	C	Mn	Si	Сумма
Первичный карбид	28,00	29,20	60,00	8,80	2,00	0,00	100
Эвтектический карбид	20,00	33,20	55,00	8,80	3,00	0,00	100
Железная матрица	52,00	80,40	15,00	0,600	3,00	1,00	100
Итого	100	56,62	35,60	4,54	2,72	0,52	100

В процессе выбора заявителем были выполнены стадии, на которых выбирая отливку, содержащую 25 об.% первичных карбидов, фиксировали содержание эвтектических карбидов около 20 об.% и железной матрицы около 55 об.% отливки;

выбирая химический состав железной матрицы Fe-15Cr-0,8C-2Mn-0,7Si в отливке, фиксировали валовое содержание углерода в сплаве;

валовым содержанием углерода в сплаве устанавливали параметры затвердевания (температуры ликвидуса и солидуса) сплава. Температура ликвидуса, в свою очередь, определяла конечное содержание первичных карбидов в микроструктуре.

Используя данные в табл. 2 в качестве исходной точки для получения экспериментальной отливки, микроструктурные признаки экспериментальной отливки количественно определяли и сравнивали с желательными признаками в табл. 2.

В процессе итерации осуществляли тонкое регулирование валового химического состава последовательных отливок для установления конечного валового химического состава, проявляющего желательные микроструктурные признаки фиг. 1, как проиллюстрировано примером на фиг. 2.

Что касается последней растровой точки, определение необходимого валового химического состава для получения образцов с железной матрицей с содержанием растворенного в матрице хрома порядка 15 мас.% при температуре окружающей среды, потребовало проведения оценки содержания хрома перед

охлаждением до температуры окружающей среды. Поскольку прямое измерение при данной температуре не является возможным, измерения осуществляли посредством обработки раствором образцов при 1200°C с последующим быстрым охлаждением водой до температуры окружающей среды. Эта обработка сохраняла хром в растворе, и затем можно было определять максимальное достижимое содержание элементарного хрома в железной матрице в состоянии после литья.

Помимо вышеупомянутого экспериментального проекта заявитель получил ряд отливок в соответствии с настоящим изобретением и исследовал указанные отливки в производственных испытаниях, причем некоторые из них были завершены и оценены.

Отливки получали в соответствии со стандартной процедурой заявителя для высокохромистых белых чугунов. Процедура представляет собой процесс модификации, раскрытый в семействе патентов-аналогов, включая патент США № 5803152. Описание данного патента США включено в настоящий документ посредством перекрестной ссылки. Отливки получали из плавок массой от 1 до 3 т с выбранными валовыми химическими составами. Температуры разлива находились в диапазоне от 1350 до 1450°C. Отливки выдерживали для естественного охлаждения в соответствующих литейных формах. Отливки подвергали термической обработке в зависимости от конкретного применения в производственных испытаниях.

Одну из серий производственных испытаний осуществляли с компонентами рабочего колеса и упорной горловины насоса 150MCU заявителя в схеме помола, эксплуатируемой горнодобывающей компанией. Испытание осуществляли в течение 1766 ч, причем скорость износа оценивали и сравнивали со скоростями износа высокохромистого белого чугуна, используемого в настоящее время в насосе такого же типа в такой же схеме помола.

Другую серию испытаний осуществляли, используя компоненты рабочего колеса, упорной горловины, футеровки корпуса и спиральной камеры насоса 150MCU заявителя в схеме помола, эксплуатируемой другой горнодобывающей компанией. Испытание осуществляли в течение 4100 часов, причем скорость износа оценивали и сравнивали со скоростями износа высокохромистого белого чугуна, используемого в настоящее время в насосе такого же типа в такой же схеме помола.

Ниже в табл. 3 представлен мокрый химический анализ валового химического состава, используемого для получения отливок в одном из производственных испытаний.

Таблица 3. Мокрый химический анализ

Элемент	Cr	C	Mn	Ni	Si	Fe
Мас.%	37,5	4,4	2,0	1,7	0,43	Остаток

Анализ осуществляли, используя модифицированные образцы, и, таким образом, первоначальная отливка содержала приблизительно на 1 мас.% меньше хрома и приблизительно на 0,1 мас.% меньше углерода.

На фиг. 3 представлено полученное методом СЭМ изображение исследованной отливки в таком же термическом состоянии, как при производственном испытании, полученной из валового химического состава, приведенного в табл. 3. Изображение представляет распределение первичных и эвтектических карбидов в железной матрице. Согласно оценке, исследуемая отливка (и, таким образом, отливка для производственного испытания) содержала 18 об.% эвтектических карбидов хрома, 28 об.% первичных карбидов, 2-3 об.% вторичных карбидов и 12-16 мас.% Cr, растворенного в матрице.

Обнаружено, что скорость износа в производственном испытании составляла 0,3-0,4 мм/сутки. Это представляет собой улучшение на 40% по сравнению с высокохромистым белым чугуном, используемым в настоящее время в насосе такого же типа в такой же схеме помола. С практической точки зрения, когда отливают фактические изделия в литейные формы в литейном производстве, необходимо учитывать влияние условия охлаждения на микроструктуру отливок и степень, в которой хром и другие элементы будут осаждаться из раствора. В контексте концентрации хрома различные количества хрома будут осаждаться из раствора при охлаждении отливки в литейной форме до температуры окружающей среды в зависимости от термического профиля литейной формы и размера отливки. Это необходимо учитывать при определении валового химического состава, требуемого для получения железной матрицы, имеющей заданное содержание растворенного в матрице хрома порядка 15 мас.% (или другое заданное содержание) при температуре окружающей среды.

Кроме того, следует отметить, что в стандартном литейном производстве отливки из сплава можно подвергать последующей термической обработке, процедура которой предусматривает, например, нагревание до 950-1050°C, выдерживание при данной температуре в течение 4-6 ч и воздушное охлаждение до температуры окружающей среды. В этой процедуре термической обработки твердость железной матрицы увеличивается на 100-200 единиц Бринелля по следующим причинам:

- (a) вторичное затвердевание посредством осаждения вторичных карбидов хрома в железной матрице, дестабилизация остаточного аустенита в железной матрице и
- (b) последующее превращение любого обедненного хромом аустенита в мартенсит в железной матрице при охлаждении до комнатной температуры.

Согласно оценкам, при образовании осадка вторичного карбида хрома в течение такой термической

обработки при 950-1050°C уменьшение содержания элементарного хрома, растворенного в железной матрице, составляет вплоть до 3 мас. %.

В варианты осуществления настоящего изобретения, описанные в отношении фигур, могут быть внесены многочисленные модификации без отклонения от идеи и выхода за пределы объема настоящего изобретения.

Исключая случаи, в которых иные условия требуются по контексту вследствие определенной формулировки или необходимого смысла, в следующей формуле изобретения и в предшествующем описании изобретения слово "включать в себя" или его варианты, такие как "включает в себя" или "включающий в себя", используют в инклюзивном смысле, т. е. определяют присутствие указанных признаков, но не исключают присутствие или введение дополнительных признаков в разнообразные варианты осуществления настоящего изобретения.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Отливка заэвтектического белого чугуна, которая в состоянии после литья имеет микроструктуру, включающую в себя железную матрицу, которая содержит 12-20 мас. % хрома, растворенного в матрице, эвтектические карбиды хрома, диспергированные в матрице, и первичные карбиды хрома, диспергированные в матрице, причем эвтектические карбиды составляют 15-25 об. % отливки и первичные карбиды составляют 25-35 об. % отливки.

2. Отливка по п.1, в которой микроструктура дополнительно включает вторичные карбиды, диспергированные в матрице, причем вторичные карбиды составляют вплоть до 6 об. % отливки.

3. Отливка по п.1 или 2, в которой массовое соотношение хрома и углерода составляет более чем 7:1 и менее чем 9,25:1.

4. Отливка по любому из предшествующих пунктов, в которой эвтектические карбиды, первичные карбиды и вторичные карбиды представляют собой карбиды M_7C_3 , где "М" включает в себя Cr, Fe и Mn.

5. Отливка по п.4 в которой эвтектические $(Cr,Fe,Mn)_7C_3$ карбиды и первичные $(Cr,Fe,Mn)_7C_3$ карбиды, каждый, содержат: Cr 50-70 мас. %, C 8,5-8,9 мас. % и Mn 0,5-5,0 мас. % или Cr 55-65 мас. %, C 8,5-8,9 мас. % и Mn 0,5-5,0 мас. %.

6. Отливка по любому из предшествующих пунктов, в которой железная матрица содержит: Cr 12-20 мас. %, C 0,2-1,5 мас. % и Mn 1,0-5,0 мас. % или Cr 14-16 мас. %, C 0,3-1,2 мас. % и Mn 1,0-5,0 мас. %.

7. Отливка по любому из предшествующих пунктов, в которой железная матрица содержит 13-17 мас. % Cr в растворе в матрице.

8. Отливка по любому из предшествующих пунктов, содержащая 25-30 об. % первичных карбидов, 15-20 об. % эвтектических карбидов и вплоть до 6 об. % вторичных карбидов или 25-28 об. % первичных карбидов, 17-20 об. % эвтектических карбидов и вплоть до 6 об. % вторичных карбидов.

9. Отливка по любому из предшествующих пунктов, в которой суммарное количество эвтектических карбидов и первичных карбидов хрома в состоянии после литья составляет более чем 35 об. % или более чем 45 об. % или более чем 50 об. %.

10. Отливка по любому из предшествующих пунктов, в которой валовой химический состав отливки включает: 35-40 мас. % Cr, 4-5 мас. % C, 1-3 мас. % Mn, <1,5 мас. % Si и 48-60 мас. % Fe и примеси; или 30-40 мас. % Cr, 3-5 мас. % C, 2-3 мас. % Mn, 0,5-1 мас. % Si и 51,5-64,5 мас. % Fe и примеси, причем примеси могут содержать серу, фосфор, алюминий, никель, медь и молибден.

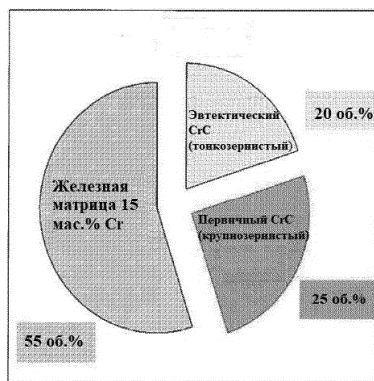
11. Отливка по любому из предшествующих пунктов, в которой концентрация C в валовом химическом составе может составлять более чем 4,3 мас. % и/или концентрация Si в валовом химическом составе может составлять более чем 0,5 мас. %.

12. Оборудование, используемое в горноперерабатывающей промышленности, которое содержит отливку по любому из предшествующих пунктов, где на оборудование воздействует какой-либо один или более чем один фактор из сильного абразивного, ударного, эрозионного и коррозионного износа.

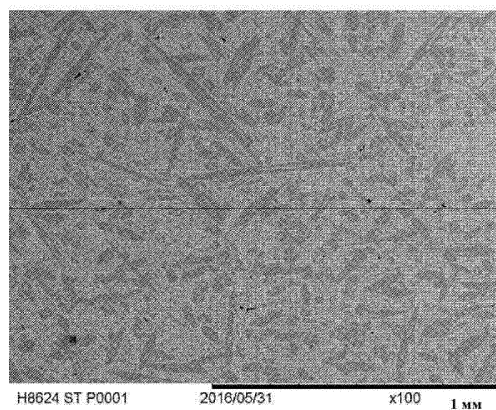
13. Оборудование по п.12 причем отливка представляет собой отливку, термически обработанную после литья, и причем вследствие термической обработки микроструктура характеризуется: (а) меньшей концентрацией хрома в растворе, (b) меньшим объемом матрицы; (с) одинаковыми концентрациями первичных и эвтектических карбидов и (d) большим объемом вторичных карбидов.

14. Оборудование по п.13, причем концентрация хрома в растворе в термически обработанной отливке составляет по меньшей мере 12 мас. % и/или менее чем 20 мас. %.

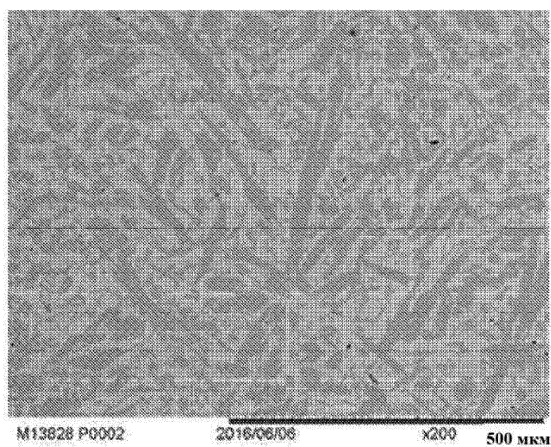
15. Оборудование по любому из пп.12-14, где оборудование представляет собой компоненты насосов.



Фиг. 1



Фиг. 2



Фиг. 3

