

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

УДК 669.15-196

Петроченко Е.В., Емелюшин А.Н., Молочкова О.С., Дубровский В.К., Кулаков Б.А.

ИЗНОСОСТОЙКИЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Аннотация. В статье приведены результаты комплексных исследований влияния химического состава и скорости охлаждения металла в литейной форме и термической обработки на фазовый состав, структуру, износостойкость, механические свойства белых хромистых, ванадиевых и хромованадиевых чугунов. При исследовании износостойкости закаленных хромистых чугунов, отлитых в песчано-глинистую форму, показано, что максимальная стойкость наблюдается при содержании углерода в сплавах 2,8–3,2% (что близко к эвтектическому). Увеличение содержания углерода выше указанных пределов снижает износостойкость в связи с охрупчивающим воздействием заэвтектических карбидов $(Fe, Cr)_7C_3$. Из результатов исследования следует, что хромистые чугуны, содержащие 2,8–3,1% углерода и 18–24% хрома и закаленные на максимальную твердость, обладают высокой твердостью (64–65 HRC) и износостойкостью. Введение в хромистые чугуны небольшого количества ванадия (до 3%) повышает максимальную твердость закаленных чугунов на 1–3 единицы HRC вследствие образования дисперсных высокотвердых карбидов VC. С увеличением концентрации углерода в сплаве твердость монотонно возрастает. Наивысшей твердостью обладают чугуны, содержащие 12–18% хрома (до 68 единиц HRC). При помощи термической обработки можно повысить твердость литых чугунов. Поскольку с увеличением твердости материала возрастает и его износостойкость при абразивном изнашивании, то целесообразно рассмотреть влияние термической обработки на твердость хромованадиевых чугунов различного состава. Показана возможность использования этих чугунов для изготовления износостойких изделий металлургического оборудования.

Ключевые слова: белые хромистые, хромованадиевые и ванадиевые чугуны, условия охлаждения при затвердевании, термическая обработка, фазовый состав и структура чугунов, эвтектики, механические свойства, износостойкость, микротвердость

Введение

В горнодобывающей, металлургической промышленности, при обработке металлов давлением, в частности в прокатном производстве и метизной отрасли, применяется много видов технологического оборудования, в котором эксплуатационная стойкость основных деталей и рабочего инструмента определяется показателями износостойкости и теплостойкости материала. К такому оборудованию относятся рабочие валки лентопрокатных станов, рабочие валки окатиноломателей, рихтующих и правильных приспособлений, ролики проводковой арматуры проволочных прокатных станов, ролики многовалковых станов холодной прокатки профилей в закрытых калибрах, калибрующие валки, а также пресс-формы для пресования огнеупорного кирпича и др.

Детали и рабочий инструмент указанных видов оборудования изготавливается преимущественно из термообработанных углеродистых и легированных сталей, а также из быстрорежущих сталей. В то же время многие виды этих изделий испытывают в основном абразивный износ и с успехом могут изготавливаться из специальных марок белого износостойкого чугуна, что в состоянии обеспечить удешевление производства, экономию металла, повышение срока службы инструмента и уменьшение простоев оборудова-

ования, связанного с заменой инструмента и переналадкой оборудования [1–12].

Легированные хромистые, ванадиевые и хромованадиевые чугуны давно нашли применение в промышленности как материал, работающий в условиях абразивного и ударно-абразивного изнашивания [1]. В [2] показано, что высокой стойкостью обладают калибрующие валки из закаленного хромованадиевого чугуна.

Материалы и методика исследования

Экспериментальные сплавы для изучения структуры, свойств выплавляли в индукционной печи ИСТ-006 с основной футеровкой. Заливали в сухие и сырые песчано-глинистые формы (ПГФ) и кокиль. Для исследования использовали образцы чугунов размерами 35×35×10 мм. Было исследовано более 100 составов чугунов: хромистые, ванадиевые и хромованадиевые чугуны [4, 12, 13].

Химический состав образцов определяли на эмиссионном спектрометре фирмы «Бэрд» и на спектрометре OBLF QSG 750 по ГОСТ 18895-97.

Структуру и фазовый состав чугунов исследовали с помощью металлографического (световой микроскоп МЕИП 2700) и рентгенографического методов. Рентгеновская съемка производилась на дифрактометре ДРОН-УМ1 (в кобальтовом $K\alpha$ -излучении). Количественный металлографический анализ проводили с помощью анализатора изображений Thixomet PRO.

Сравнительные испытания на износостойкость сплавов и чугунов при трении о нежестко закрепленные (полузакрепленные) абразивные частицы прово-

© Петроченко Е.В., Емелюшин А.Н., Молочкова О.С., Дубровский В.К., Кулаков Б.А., 2024

дили по методике, регламентированной ГОСТ 23.208-79. Изнашивание проводилось абразивными частицами различной твердости (электрокорундом и периклазом), что определяло различные механизмы изнашивания.

Твердость измерялась методом Роквелла (С) в соответствии с ГОСТ 9013-59 и методом вдавливания алмазной пирамиды с углом между противоположными гранями 136° в соответствии с ГОСТ 9450-76 на твердомерах ПМТ-3 и Vuehler Micromet при нагрузке 50,100 гс для оценки твердости структурных составляющих и интегральной твердости эвтектик.

Результаты исследования

Исследовали структуру и износостойкость тройных сплавов Fe-Cr-C, содержащих 12–25% хрома. Концентрация углерода изменялась в пределах от 1,9 до 3,8%.

Фазовым рентгеноструктурным анализом карбидной фазы хромистых чугунов выявлены карбиды трех типов: K_1 – кубический карбид – $(Fe,Cr)_{23}C_6$; K_2 – гексагональный карбид – $(Fe,Cr)_7C_3$ и K_3 – карбид цементитного типа – $(Fe,Cr)_3C$. При отношении концентрации хрома и углерода в сплавах от 4 до 10 возникает карбид $(Fe,Cr)_7C_3$, при более высоких значениях этого отношения появляется кубический карбид $(Fe,Cr)_{23}C_6$, а при более низких – легированный хромом цементит.

После отливки в песчаную форму чугуны имеют сложную структуру, состоящую из эвтектических и первичных карбидов, продуктов диффузионного распада аустенита, аустенита и мартенсита, образующегося при бездиффузионном превращении ниже $200^\circ C$ [12, 14].

В зависимости от химического состава сплава, а также от соотношения структурных составляющих твердость литых хромистых чугунов составляет от 36 до 60 ед. HRC.

Термическая обработка хромистых чугунов позволяет дополнительно повысить их твердость и износостойкость [13, 16]. После закалки (в масле или воде) чугуны приобретают смешанную аустенитно-мартенситно-карбидную структуру. Твердость всех закаленных хромистых чугунов в зависимости от температуры аустенитизации изменяется по кривой с максимумом (рис. 1), поскольку с увеличением температуры закалки увеличивается концентрация углерода в мартенсите, и, с другой стороны, возрастает количество остаточного аустенита [4, 15]. Наименьший износ имеют чугуны, закаленные на максимальную твердость (см. рис. 1).

При исследовании износостойкости закаленных хромистых чугунов, отлитых в песчано-глинистую

форму, показано, что максимальная стойкость наблюдается при содержании углерода в сплавах 2,8–3,2% (что близко к эвтектическому). Увеличение содержания углерода свыше указанных пределов снижает износостойкость в связи с охрупчивающим воздействием заэвтектических карбидов $(Fe,Cr)_7C_3$. Из результатов исследования следует, что хромистые чугуны, содержащие 2,8–3,1% углерода и 18–24% хрома и закаленные на максимальную твердость, обладают высокой твердостью (64–65 HRC) и износостойкостью.

Среди легирующих элементов, которые вводят в состав хромистых чугунов, особого внимания заслуживает ванадий, поскольку известно, что износостойкость сплава зависит от твердости карбидных частиц, а карбиды ванадия имеют большую твердость, чем карбиды хрома.

Группа исследованных сплавов содержала от 3,0 до 5,1% ванадия, от 12 до 25% хрома и от 2,5 до 3,8% углерода. Сплавы были отлиты в песчано-глинистые формы.

Микроструктура до- и заэвтектических хромованадиевых чугунов в литом состоянии показана на рис. 2. В доэвтектических чугунах хорошо видны дендриты первичного аустенита (рис. 2, а, б). При увеличении содержания углерода строение эвтектики становится более грубым, дендритов первичного аустенита становится меньше. Увеличение содержания углерода сверх эвтектической концентрации приводит к появлению крупных первичных карбидов $(Fe,Cr)_7C_3$ (рис. 2, в), которые имеют явно выраженную карандашную форму. Карбиды VC при микроструктурном исследовании неразличимы.

С увеличением концентрации углерода от 2,5 до 3,8% в литых хромованадиевых чугунах, содержащих 18% Cr и 3% V, их твердость возрастет с 52 до 60 ед. HRC, что связано в первую очередь с увеличением в структуре количества карбидной фазы.

Введение в хромистые чугуны небольшого количества ванадия (до 3%) повышает максимальную твердость закаленных чугунов на 1–3 единицы HRC вследствие образования дисперсных высокотвердых карбидов VC. С увеличением концентрации углерода в сплаве твердость монотонно возрастает. Наивысшей твердостью обладают чугуны, содержащие 12–18% хрома (до 68 единиц HRC).

При помощи термической обработки можно повысить твердость литых чугунов. Поскольку с увеличением твердости материала возрастет и его износостойкость при абразивном изнашивании, то целесообразно рассмотреть влияние термической обработки на твердость хромованадиевых чугунов различного состава.

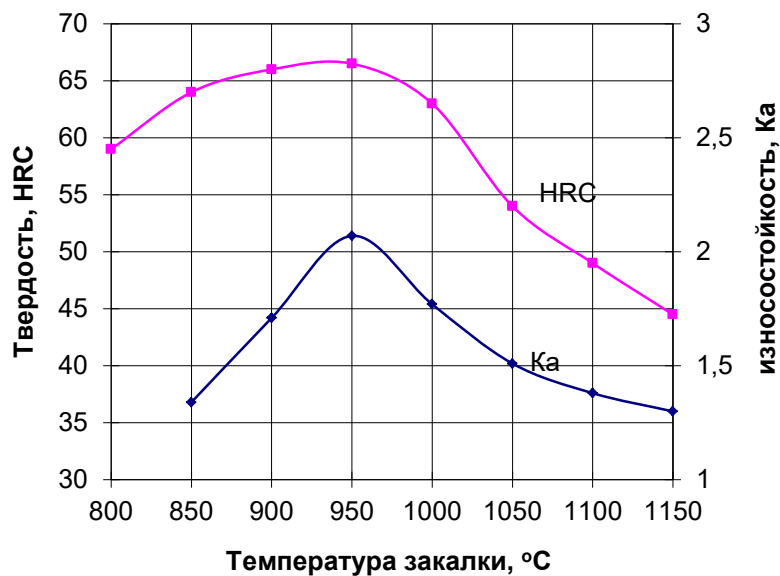


Рис. 1. Зависимость твердости и износостойкости при абразивном изнашивании от температуры закалки для чугуна 250X12

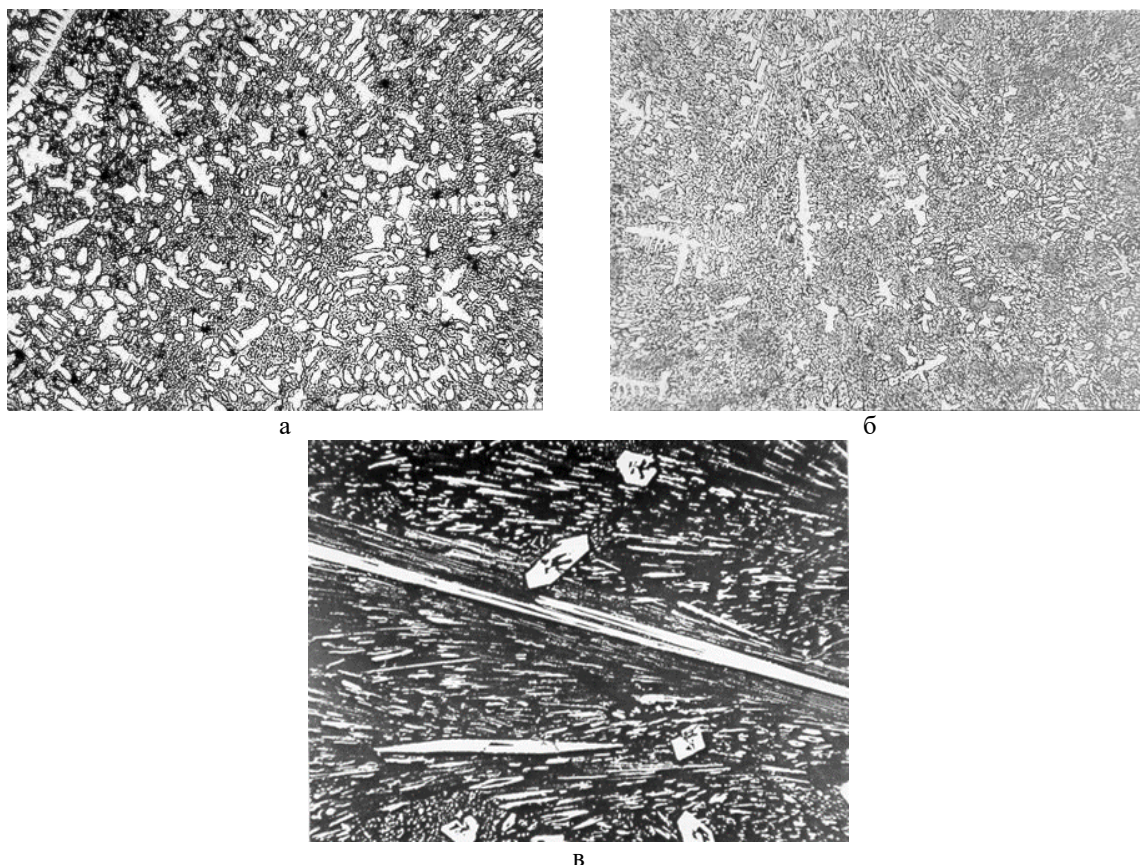


Рис. 2. Микроструктура хромованадиевых чугунов, отлитых в песчано-глинистую форму: а – 250X18Ф3; б – 280X18Ф3; в – 310X18Ф3

Зависимости твердости от температуры закалки для различных хромованадиевых чугунов показаны на рис. 3. Как и в случае хромистых чугунов, твердость исследованных чугунов в зависимости от температуры

закалки изменяется по кривой с максимумом. Восходящая ветвь максимума обусловлена, как обычно, возрастанием концентрации углерода в аустените и, соответственно, в мартенсита вследствие растворения кар-

бидов, а нисходящая – увеличением количества остаточного аустенита при чрезмерном легировании последнего [4].

На сплаве 280X18Ф3 была исследована зависимость абразивной износостойкости от температуры закалки (после закалки образцы подвергали отпуску при 190°C в течение двух часов). Образцы изготавливали из отливок, полученных литьем в песчано-глинистую форму. С повышением температуры закалки начальному повышению твердости соответствует уменьшение износа (рис. 4), при последующем снижении твердости в интервале температур от 1020 до 1200°C износ возрастает.

Известно, что износостойкость сплавов зависит от количества, твердости, прочности и дисперсности карбидной фазы. Карбиды ванадия VC имеют более высокую твердость по сравнению с карбидами хрома и прочностные свойства. Микротвердость карбида ва-

надия VC – 21–28 ГПа, а σ_b свыше 10000 МПа, модуль упругости – $43 \cdot 10^4$ МПа [1, 7, 10, 13]. В работе изучены структура и износостойкость ванадиевых чугунов с целью применения их для изготовления изделий, работающих в условиях абразивного изнашивания. Химический состав выплавленных ванадиевых чугунов приведен в табл. 1.

Таблица 1

Химический состав ванадиевых чугунов

| Номер сплава | Содержание элементов, вес. % | | | |
|--------------|------------------------------|-----|------|------|
| | C | V | Mn | Si |
| 1 | 2,15 | 6,4 | 0,98 | 0,34 |
| 2 | 2,48 | 6,8 | 0,76 | 0,41 |
| 3 | 3,12 | 7,1 | 0,77 | 0,43 |
| 4 | 3,525 | 6,4 | 0,64 | 0,39 |

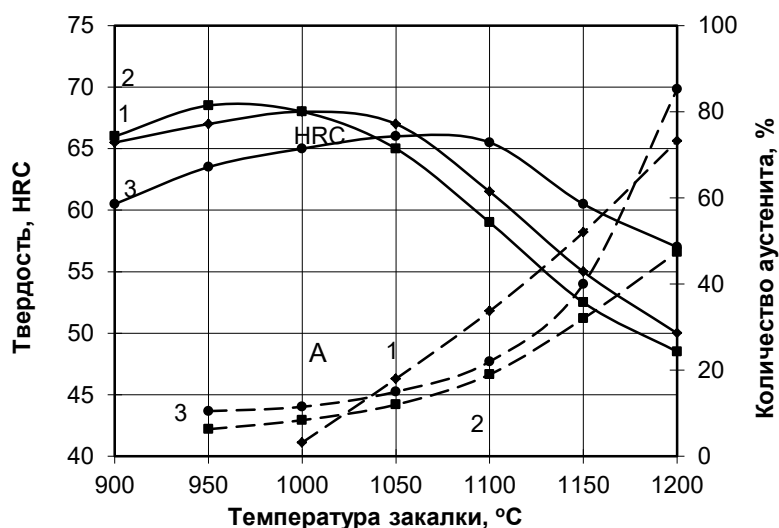


Рис. 3. Зависимость твердости и количества остаточного аустенита от температуры аустенизации закаленных хромованадиевых чугунов 310X18Ф3 (1), 310X12Ф3 (2) и 290X12Ф5 (3)

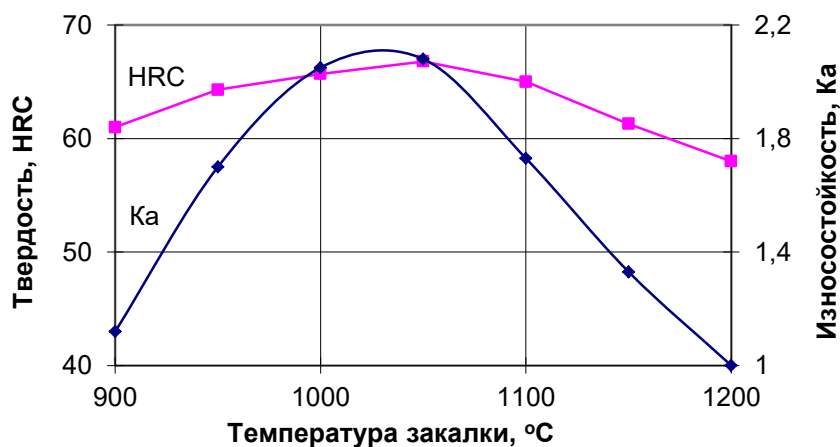


Рис. 4. Зависимость износостойкости при абразивном изнашивании хромованадиевого чугуна 300X18Ф3 от температуры закалки

В чугунах в зависимости от химического состава сплава и условий охлаждения формируются следующие структуры: структура, состоящая из дендритов аустенита (или продуктов его распада) и тройной эвтектики $\gamma + \text{Fe}_3\text{C} + \text{VC}$ (рис. 5, сплав 2); полностью инвертированная структура эвтектики $\gamma + \text{VC}$ (рис. 5, сплав 3); структура, состоящая из двух эвтектик $\gamma + \text{VC}$ и $\gamma + \text{Fe}_3\text{C} + \text{VC}$ (рис. 5, сплавы 4, 5). Уровень микротвердости матрицы литых ванадиевых чугунов 4,6–5,8 ГПа. Относительная износостойкость составляет 3–7 ед. по корунду (Ка) и 7–18 ед. по периклазу (Кп). Объемная доля карбидов ванадия 7,7–12,2%, ледебурита – 5,3–46,7%.

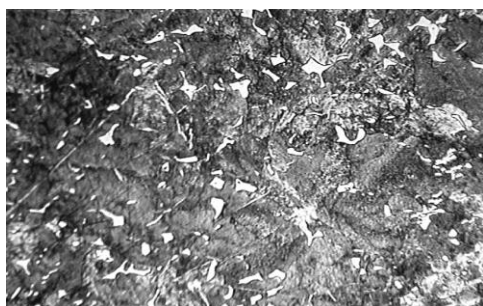
Наиболее высокие значения прочности, твердости и износостойкости получаются у сплавов, залитых в кокиль: ПГФ – 40–45 HRC; 4–5 ед. Ка; 12–15 ед. Кп; кокиль – 45–55 HRC, 5–7 ед. Ки; 15–18 ед. Кп.

Во многих случаях с повышением твердости сплава повышается и его износостойкость при абразивном изнашивании. Эффективно повысить твердость ванадиевых чугунов возможно проведением термической обработки. В качестве упрочняющей термической обработки выбрали закалку с полиморфным превращением.

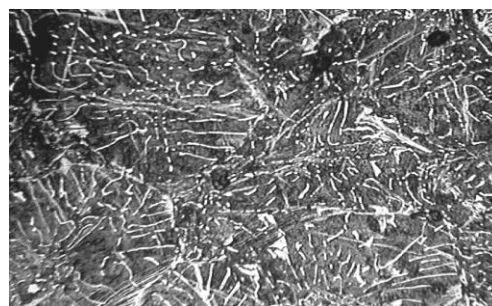
Твердость, как и другие механические свойства, в очень сильной степени зависят от температурно-временных параметров закалки. Температура нагрева под закалку ванадиевых чугунов выбиралась по возможности предельно низкой, ниже предела полного растворения карбидов. Закалка из неравновесного состояния гетерогенного аустенита, присутствие карбидов в частично растворенном виде способствовали образованию низкоуглеродистого мелко- и даже скрытоигольчатого мартенсита, армированного высокодис-

персными карбидами ванадия, высокой твердости и износостойкости. Охлаждение при закалке должно обеспечить получение мартенситной структуры, поэтому в качестве закалочной среды использовали воду.

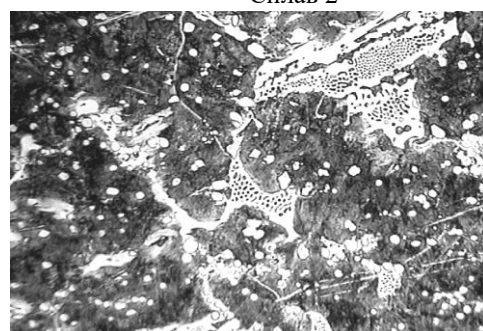
Основное назначение термической обработки ванадиевых чугунов состоит в том, чтобы добиться получения мартенситно-аустенитной металлической основы с нестабильным аустенитом. Образцы из исследуемых чугунов подвергали закалке в интервале температур 780–1000°C. Изучали влияние времени аустенитизации – 15, 30, 45 и 60 мин. Отпуск проводили при температурах от 50 до 250°C. При нагреве под закалку происходит старение аустенита, выделяются дисперсные карбиды ванадия по форме, близкой к шаровидной, размером 1-3 мкм, расстояние между карбидами 2-5 мкм. Старение обеспечивает эффект сильного вторичного твердения и рост износостойкости. При увеличении температуры нагрева и времени аустенитизации структура матрицы чугунов изменяется от мартенситной (мартенсит скрытоигольчатый) до мартенситно-аустенитной (мартенсит крупноигольчатый линзовидный), происходит рост вторичных карбидов и количества аустенита от 10 до 60%. Эти изменения снижают твердость чугунов и микротвердость металлической основы. Износостойкость возрастает только до температур отпуска 150-180°C. Низкий отпуск закаленных ванадиевых чугунов приводит к снижению внутренних напряжений и выделению ϵ -карбидов. Пластины ϵ -карбидов эффективно блокируют системы скольжения в решетке α -твердого раствора, что приводит к дополнительному упрочнению и росту износостойкости. При температуре 200-250°C в структуре чугуна появляется цементит, износостойкость снижается.



Сплав 2



Сплав 3



Сплав 4



Сплав 5

Рис. 5. Микрофотографии структур ванадиевых чугунов, $\times 500$

Закалка на мартенситную или мартенситно-аустенитную основу позволяет повысить твердость ванадиевых чугунов по сравнению с литым состоянием на 8–17 ед. HRC. Твердость закаленных чугунов достигает 65–66 HRC, а износостойкость этих чугунов при абразивном изнашивании в 2–3 раза больше износостойкости быстрорежущих сталей.

Для сравнения исследовали износостойкость сталей 6XB2C и X12BM, которые часто применяются для изготовления изделий, работающих при абразивном изнашивании (табл. 2).

Таблица 2

Износостойкость исследованных сплавов

| Сплав | 6XB2C | X12BM | № 1 литой | № 1 закаленный | № 3 литой | № 3 закаленный |
|------------------------------|-------|-------|-----------|----------------|-----------|----------------|
| Износостойкость по корунду | 3 | 6 | 7 | 12 | 10 | 45 |
| Износостойкость по периклазу | 12 | 22 | 36 | 40 | 45 | 96 |

Заключение

Опытно-промышленные испытания и внедрение в производство отливок из исследованных чугунов показали следующее:

– перспективным материалом для изготовления режущего инструмента для обработки графита и других неметаллических материалов являются хромистые и хромованадиевые чугуны, закаленные на максимальную твердость и имеющие высокую твердость (63–67HRC) и износостойкость при абразивном изнашивании. Наибольшая износостойкость в обоих случаях достигается в сплавах с 2,8–3,2% углерода при 18–20% хрома. Стойкость резцов при обработке электродного графита превышает в 1,3–3,0 раза износостойкость инструмента из быстрорежущих сталей и лишь на 30–35% уступает твердосплавному инструменту;

– для производства деталей и инструмента, эксплуатируемых только в условиях абразивного изнашивания, предложены комплексно-легированные хромистые и хромованадиевые чугуны. Например, для деталей «шайба валковая» в прокатных станах и отливок типа «колесо», которые используются на коксохимическом производстве;

– для производства деталей, работающих при высоких температурах (до 600°C) в условиях абразивного изнашивания, предложены хромованадиевые чугуны, дополнительно легированные титаном. Например, для изготовления броневых плит желобов агломерационных машин в условиях горно-обогащительного производства ОАО «ММК»;

– для изготовления деталей, эксплуатируемых при одновременном воздействии высоких температур (до 800–1000°C) и абразивной среды, например, для изготовления колосников для грохотов агломерационных машин, предложены хромистые чугуны, дополнительно легированные марганцем, никелем и титаном. Эксплуатационная стойкость новых колосников превысила срок службы колосников из высоколегированной стали 75X24ТЛ более чем в 3 раза;

– износостойкость как литых, так и закаленных ванадиевых чугунов значительно превышает износостойкость сталей 6XB2C и X12BM, как минимум, в 2–3 раза, что позволяет рекомендовать ванадиевые белые чугуны для изготовления изделий, работающих при абразивном изнашивании при высоких нагрузках, например для изготовления деталей пресс-форм для прессования огнеупорного кирпича.

Список литературы

1. Жуков А.А., Сильман Г.И., Фрольцов М.С. Износостойкие отливки из комплексно-легированных белых чугунов. М.: Машиностроение, 1984. 104 с.
2. Влияние легирующих элементов на кристаллизацию, структурообразование и физико-механические свойства белого чугуна / Хосен Ри, Э.Х. Ри, В.А. Тейх и др. // Литейное производство. 2000. №10. С. 15–17.
3. Analysis of the Structure and Abrasive Wear Resistance of White Cast Iron With Precipitates of Carbides / D. Kopycinski, M. Kawalec, A. Szczsny [et al.] // Archives of Metallurgy and Materials. Institute of metallurgy and materials science of Polish academy of sciences. 2013. Vol. 58. Iss. 3. P. 973–976. doi: 10.2478/amm2013-0113.
4. Металловедение, физика и механика применительно к процессу обработки графитированных материалов. Структура и износостойкость инструментов / А.Н. Емелюшин, Д.А. Мирзаев, Н.М. Мирзаева и др. Магнитогорск: МГТУ, 2002. 200 с.
5. Комплексно-легированные белые чугуны функционального назначения в литом и термообработанном состояниях / Ри Э.Х, Ри Хосен, Колокольцев В.М., Петроченко Е.В. и др. Владивосток: Дальнаука, 2006. 275 с.
6. Гарбер М.Е. Износостойкие белые чугуны: свойства, структура, технология, эксплуатация. М.: Машиностроение, 2010. 280 с.
7. Цыпин И.И. Белые износостойкие чугуны – эволюция и перспективы // Литейное производство. 2000. № 9. С. 15–16.
8. Yoganandh J., Natarjan S., Kumaresh Babu S.P. Ero-sive Wear Behavior of Nickel-Based High Alloy White Cast Iron Under Mining Conditions Using Orthogonal Array, Journal of Materials Engineering and Performance. 2013. Vol. 22(9). Pp. 2534–2540.
9. Zhenting W., Hongming G. Investigation on micro-structure and wear resistance of the new CrWMoV

- high-alloy wear resistant cast iron. *Advanced Materials Research*. 2015. Vols. 1061-1062. Pp. 670-673.
10. Kawalec M., Corny M. Alloyed white cast iron with precipitation of spheroidal vanadium carbides VC. *Archives of Foundry Engineering*. 2012. Vol. 12 (4). Pp. 95-100.
 11. Kolokoltsev V.M., Konopka Zbigniew, Petrochenko E.V. ZELIWO SPECJALNE Rodzaje, odlewanie, obrobka, cieplna, wtasciwosci. Czestochowa, 2013. 185 S.
 12. Колокольцев В.М., Петроченко Е.В. Металлургические и металловедческие аспекты повышения функциональных свойств литых изделий из белых чугунов // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2014. № 4 (48). С. 87-98.
 13. Петроченко Е.В., Молочкова О.С., Трофимова Е.А. Пути повышения специальных свойств комплексно-легированных белых чугунов // Теория и технология металлургического производства. 2023. № 1(44). С. 24–29. EDN FKYWLX
 14. Толочко Н. К., Андрушевич А. А. Методы получения мелкозернистой структуры отливок при кристаллизации // Литьё и металлургия. 2012. №2 (65). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metody-polucheniya-melkozernistoy-struktury-otlivok-pri-kristallizatsii>.
 15. Sil'man G.I. Alloyed white iron with composite structure // *Metal Science and Heat Treatment*. 2005. Vol. 47. Pp. 343-348.
 16. Петроченко Е.В., Валишина Т.С. Влияние химического состава, условий кристаллизации и режимов термической обработки на особенности микроструктуры, механические и специальные свойства белых хромованадиевых чугунов // Известия высших учебных заведений. Чёрная металлургия. 2009. № 2. С. 39–42.

Сведения об авторах

Петроченко Елена Васильевна – профессор, доктор технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. Россия. E-mail: evp3738@mail.ru

Емелюшин Алексей Николаевич – профессор, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. Россия. E-mail: emelushin.magtu.ru

Молочкова Ольга Сергеевна – доцент, кандидат технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. Россия. E-mail: opetrochenko@mail.ru

Дубровский Виктор Константинович – доктор технических наук, профессор, ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет (Национальный исследовательский университет)», г. Челябинск, Россия.

Кулаков Борис Алексеевич – доктор технических наук, профессор, ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет (Национальный исследовательский университет)», г. Челябинск, Россия.

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

WEAR-RESISTANT MATERIALS FOR THE MANUFACTURE OF PARTS OF METALLURGICAL EQUIPMENT

Petrochenko Elena V. – Dr. Eng., Ass. Prof., Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: evp3738@mail.ru

Emelyushin Alexey N. – Dr. Eng., Prof. Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: emelushin.magtu.ru

Molochkova Olga S. – Cand. Eng., Ass. Prof. Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: opetrochenko@mail.ru

Dubrovsky Victor K. – Dr. Eng., Prof., South Ural State University (national research university), Chelyabinsk, Russia.

Kulakov Boris A. – Dr. Eng., Prof., South Ural State University (national research university), Chelyabinsk, Russia.

Abstract. The paper presents the results of complex studies of the influence of chemical composition and cooling rate of metal in the casting mold and heat treatment on the phase composition, structure, wear resistance, mechanical properties of white chromium, vanadium and chromovanadium cast irons. In the study of wear resistance of hardened chromium cast irons cast in sandy-clay mold, it is shown that the maximum resistance is observed at a carbon content of 2.8...3.2% (which is close to eutectic). Increase in carbon content above these limits reduces wear resistance due to the embrittlement effect of zaeutectic carbides $(Fe, Cr)_7C_3$. It follows from the results of the study that chromium cast irons containing 2.8...3.1% carbon and 18-24% chromium and hardened to maximum hardness have high hardness (64-65 HRC) and wear resistance. Introduction of a small amount of vanadium (up to 3%) into chromium cast irons increases the maximum hardness of hardened cast irons by 1...3 HRC units due to the formation of dispersed high-hardness VC carbides. The hardness increases monotonically with increasing carbon concentration in the alloy. Cast irons containing 12...18% of chromium (up to 68 HRC) have the highest hardness.

By means of heat treatment, it is possible to increase the hardness of cast irons. Since with the increase in hardness of the material will increase and its wear resistance in abrasive wear, it is appropriate to consider the effect of heat treatment on the hardness of chromium-vanadium cast irons of different compositions.

The possibility of using these cast irons for the manufacture of wear-resistant products of metallurgical equipment is shown.

Keywords: White chromium, chrome vanadium and vanadium cast irons, cooling conditions during solidification, thermal treatment, phase composition and structure of cast irons, eutectic, mechanical properties, wear resistance, micro hardness

Ссылка на статью:

Износостойкие материалы для изготовления деталей металлургического оборудования / Е.В. Петроченко, А.Н. Емельюшин, О.С. Молочкова, В.К. Дубровский, Б.А. Кулаков // Теория и технология металлургического производства. 2024. №1(48). С. 29-36.
Petrochenko E.V., Emelyushin A.N., Molochkova O.S., Dubrovsky V.K., Kulakov B.A. Wear-resistant materials for the manufacture of parts of metallurgical equipment. *Teoria i tehnologiya metallurgicheskogo proizvodstva*. [The theory and process engineering of metallurgical production]. 2024, vol. 48, no. 1, pp. 29-36.