

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Администрация Правительства Кузбасса

Научно-образовательный центр мирового уровня «Кузбасс»

Сибирский государственный индустриальный университет

**МЕТАЛЛУРГИЯ:
ТЕХНОЛОГИИ, ИННОВАЦИИ, КАЧЕСТВО
«Металлургия – 2022»**

Труды

XXIII Международной научно-практической конференции

23– 25 ноября 2022 г.

Часть 1

**Новокузнецк
2022**

Редакционная коллегия

д.т.н., академик РАН Л.А. Смирнов, д.т.н., доцент А.Б. Юрьев,
д.т.н., профессор С.В. Коновалов, д.т.н., профессор Е.В. Протопопов,
д.т.н., профессор А.Р. Фастыковский, д.т.н., доцент Д.А. Чинахов,
к.т.н. Р.А. Шевченко, к.т.н., доцент О.А. Полях,
к.т.н. Е.Н. Темлянцева, д.т.н., доцент В.В. Зимин

М 540 Металлургия : технологии, инновации, качество : труды
XXIII Международной научно-практической конференции.
В 2 частях. Часть 1 / под общ. ред. А.Б. Юрьева, Сиб. гос. индустр.
ун-т. – Новокузнецк : Изд. центр СибГИУ, 2022. – 390 с. : ил.

Труды конференции включают доклады по актуальным вопросам теории и практики металлургических процессов, технологий обработки материалов, автоматизации, ресурсо- и энергосбережения, экологии и утилизации отходов металлургического производства.

Конференция проводится ежегодно.

ОРГАНИЗАТОРЫ И ПАРТНЕРЫ КОНФЕРЕНЦИИ

АДМИНИСТРАЦИЯ ПРАВИТЕЛЬСТВА КУЗБАССА

ФГБОУ ВО «СИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ИНДУСТРИАЛЬНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ»

АО «ЕВРАЗ ЗСМК»

АО «РУСАЛ-НОВОКУЗНЕЦК»

АО «КУЗНЕЦКИЕ ФЕРРОСПЛАВЫ»

АО «НЗРМК им. Н.Е. Крюкова»

ЛЯОНИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ НАУКИ И ТЕХНОЛОГИИ, Г. АНЬШАНЬ, КНР
ОАО «ЧЕРМЕТИНФОРМАЦИЯ»

ИЗДАТЕЛЬСТВО СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РАН

ЖУРНАЛ «ИЗВЕСТИЯ ВУЗОВ. ЧЕРНАЯ МЕТАЛЛУРГИЯ»

ЖУРНАЛ «ВЕСТНИК СИБГИУ»

НАУЧНО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ ЦЕНТР МИРОВОГО УРОВНЯ «КУЗБАСС»
АО «КУЗБАССКИЙ ТЕХНОПАРК»

**ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ МИКРОСТРУКТУРЫ
МЕЛЮЩИХ ТЕЛ, ПРОИЗВЕДЕННЫХ ИЗ РЕЛЬСОВЫХ СТАЛЕЙ
РАЗЛИЧНОГО ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА**

Уманский А.А., Байдин В.В., Симачев А.С., Думова Л.В.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, Россия, umanskii@bk.ru*

Аннотация. Экспериментальными исследованиями определены особенности изменения микроструктуры мелющих тел из рельсовых сталей различного химического состава по стадиям производства: после нагрева под прокатку, после закалки и после окончательной термообработки (закалка + отпуск). Даны рекомендации по оптимальному составу рельсовой стали, обеспечивающей получение мелющих тел повышенной твердости и ударной стойкости.

Ключевые слова: мелющие тела, рельсовая сталь, химический состав, микроструктура, термическая обработка, ударная стойкость, твердость

**FEATURES OF THE FORMATION OF THE MICROSTRUCTURE OF
GRINDING BODIES PRODUCED FROM RAIL STEELS OF VARIOUS
CHEMICAL COMPOSITION**

Umanskii A.A., Baydin V.V., Simachev A.S., Dumova L.V.

*Siberian State Industrial University,
Novokuznetsk, Russia, umanskii@bk.ru*

Abstract. Experimental studies have determined the peculiarities of changing the microstructure of grinding bodies made of rail steels of various chemical compositions by production stages: after heating for rolling, after quenching and after final heat treatment (quenching + tempering). Recommendations are given on the optimal composition of rail steel, which ensures the production of grinding media of increased hardness and impact resistance.

Key words: grinding bodies, rail steel, chemical composition, microstructure, heat treatment, impact resistance, hardness

Измельчение (дробление) является одной наиболее затратной стадией подготовки материалов на горнорудных предприятиях и металлургических комбинатах к основным технологическим операциям. На большинстве предприятий для дробления материалов применяются мельницы барабанного типа, в которых измельчающей средой являются мелющие (помольные) шары, либо цильбессы.

Повышение ударной стойкости указанных мелющих тел является важной задачей, поскольку, во-первых, расход мелющих тел на 30-35% опреде-

ляет себестоимость всего процесса измельчения и, во-вторых, частицы расколотых мелющих тел смешиваясь с измельчаемым материалом значительно ухудшают его качество [1-2].

В настоящее время мелющие шары и цильбессы изготавливаются, как из стали, так и из чугуна. При этом стальные мелющие тела изготавливаются, как в прокатных, так и в кузнечнопрессовых цехах, а чугунные шары и цильбессы получают методом литья. Анализ структуры производства и потребления мелющих тел показывает, что наибольшее распространение на сегодняшний день получили мелющие шары, поскольку при их использовании имеет место пониженный на 20-40% удельный расход, обусловленный отсутствием «граней напряжения» [3]. Хотя, следует отметить, что цильбессы обладают повышенной относительно мелющих шаров площадью поверхности при одинаковой массе, что снижает время измельчения и, соответственно, повышает производительность процесса. Фактически область применения цильбессов на сегодняшний день ограничена последними стадиями измельчения в горнодобывающей и цементной промышленности.

Анализ структуры производства мелющих шаров в России [4] показывает, что основная масса данных мелющих тел (более 90 % от общего объема выпуска) производится из стали методом прокатки на специализированных шаропрокатных станах. Также имеются данные о производстве стальных цильбессов методом прокатки компаниями «НИСМА» (Челябинская область) и «ПРОМКО» (Екатеринбург). Методы ковки и штамповки применяются в ограниченном объеме, что связано, прежде всего, со значительно меньшей (в 5-7 раз) производительностью процесса относительно прокатных станов. Таким образом, наибольшее распространение имеют стальные катаные мелющие шары.

Стандартная технология производства катаных мелющих тел (шаров и цильбессов) включает в себя следующие основные стадии: нагрев исходных заготовок под прокатку, поперечно-винтовая прокатка, термообработка. При этом, термообработка, проводимая с целью повышения твердости, включает в себя закалку с последующим низким отпуском, либо самоотпуском на воздухе. Исходя из принятой технологии производства катаных мелющих тел основными направлениями повышения их ударной стойкости, при сохранении и/или увеличении твердости, являются совершенствование химического состава мелющих тел в сочетании с соответствующими изменениями режимов их термообработки.

Анализ литературных и производственных данных показывает, что совершенствование химического состава мелющих проводится, в основном, в направлении повышения содержания легирующих элементов (марганца, хрома). При этом оптимальное сочетание и концентрация указанных химических элементов остается дискуссионным вопросом. Так в традиционных шаровых сталях доэвтектоидного класса (содержание углерода 0,5-0,75 %) концентрация марганца, как правило, находится в пределах 0,60-0,80 %, хрома – 0,30-0,60 %; при этом содержание данных элементов в рамках указанного диапазона изменения возрастает с увеличением группы твердости,

по которой поставляются мелющие шары. В экспериментальных марках стали содержание марганца находится выше приводимого диапазона (0,60-0,80 %). Так авторами работы [5] разработана сталь для производства шаров наибольшей (5-ой) группы твердости, в которой содержание марганца составляет 0,9-1,05% (таблица 1). При этом, основной задачей, которая решается за счет дополнительного легирования марганцем, является повышение прокаливаемости. В частности, в работе [6] показано, что повышение концентрации марганца с 0,8-0,9 % до 0,97-1,1 % обуславливает увеличению глубины закаленного слоя шаров диаметром 60 мм в 2 раза.

Таблица 1 – Химический состав экспериментальной стали для производства шаров 5-ой группы твердости [5]

Содержание элементов, %							
C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu
0,57-0,62	0,9-1,05	0,27-0,35	Н.б. 0,025	Н.б. 0,025	0,4	0,4	0,4

Касательно содержания хрома следует отметить, что в отличие от отечественных производителей, ведущие зарубежные компании («Moly-Cor», «AGS», «Gerdau Ameristeel», «Vitkovice») применяют для производства мелющих шаров стали с повышенным содержанием хрома (порядка 1%).

В последние годы в отечественной [7] и зарубежной [8] металлургии получило развитие направление по производству мелющих шаров из отбраковки рельсовых сталей. Организация технологии переработки отбраковки заготовок рельсовых сталей в товарный нерельсовый прокат имеет очевидные экономические преимущества, однако сталкивается с рядом объективных трудностей, вследствие особенностей химического состава рельсовых сталей. К таким особенностям следует, прежде всего, отнести повышенное содержание углерода, дополнительное легирование ванадием и, для ряда марок рельсовой стали – азотом. Содержание углерода в рельсовых стальях, применяемых для массового производства рельсов, составляет 0,71-0,82 % (стали марок 76Ф, 76ХФ), а в стальях для производства рельсов повышенной износстойкости и контактной выносливости (сталь марки 90ХАФ), доля которых в общем объеме выпуска рельсов в последние годы возрастает, составляет 0,83-0,95 % – то есть соответствует заэвтектоидной стали. Следует отметить, что в литературе имеется мнение ряда исследователей [9] о перспективности применения заэвтектоидных сталей для производства шаров, однако экспериментальные подтверждения указанной эффективности отсутствуют. Касательно содержания ванадия в рельсовых стальях, можно отметить, что оно находится в диапазоне 0,03-0,15 % и 0,08-0,15 %; легирование азотом стали марки Э90ХАФ производится до достижения его концентрации на уровне 0,010-0,020 %.

С учетом вышесказанного перспективным направлением является обоснование оптимального состава рельсовой стали, обеспечивающей производство мелющих тел с повышенной ударной стойкостью. При этом, поскольку ударная стойкость мелющих тел напрямую определяется парамет-

рами их микроструктуры, то критерием оптимизации является именно микроструктура образцов.

В представленной работе проведены экспериментальные исследования формирования микроструктуры мелющих тел из рельсовой стали различного химического состава по технологическим этапам производства. Для исследований использованы стальные образцы цилиндрической формы, полученные отливкой. Химический состав образцов соответствовал пяти вариантам (таблица 2), первый из которых соответствовал рельсовой стали марки 76ХФ, второй, четвертый и пятый варианты – указанной стали с дополнительным (сверх нормативных значений) легированием хромом и никелем, третий вариант – стали марки 90ХАФ. Получение нужного химического состава достигалось за счет использования в качестве металлошихты отбраковки заготовок рельсовых сталей марок 76ХФ, 90ХАФ и легирования ферросплавами.

Таблица 2 – Химический состав образцов рельсовых сталей при проведении экспериментальных исследований

Вариант химического состава	Массовая доля элементов, %									
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Cu	Ti	V	S	P
1	0,74	0,35	0,80	0,40	0,10	0,11	0,005	0,038	0,012	0,011
2	0,70	0,34	0,77	1,46	0,74	0,12	0,005	0,037	0,012	0,011
3	0,83	0,36	0,83	0,82	0,20	0,12	0,007	0,075	0,017	0,010
4	0,74	0,38	0,77	1,67	0,86	0,10	0,015	0,038	0,010	0,005
5	0,76	0,31	0,74	1,08	0,47	0,12	0,007	0,037	0,009	0,008

С целью моделирования реальных условий производства образцы последовательно подвергали отжигу, закалке и отпуску. Отжиг проводился нагревом и выдержкой в печи (температура нагрева и выдержки – $820 \pm 20^{\circ}\text{C}$, продолжительность выдержки – 30 минут) с последующим остыванием на воздухе и моделировал нагрев заготовок под прокатку. Нагрев под закалку проводили до температуры $820 \pm 20^{\circ}\text{C}$; при выборе температуры закалки руководствовались тем положением, что указанная температура для доэвтектоидных сталей должна быть на 30-50 °C выше точки AC₃, а для заэвтектоидной стали – на 30-50 °C выше точки AC₁. Низкий отпуск проводили нагревом и выдержкой в печи (температура нагрева и выдержки – 250 °C, продолжительность выдержки – 2 часа) с последующим остыванием образцов в печи до комнатной температуры. Режимы закалки и отпуска моделировали реальные условия термообработки мелющих тел на действующих шаропрокатных станах. Для исходных образцов и на образцах после каждого из указанных этапов проводили исследования и сравнительный анализ микроструктуры.

По полученным данным оптимальная микроструктура мелющих тел формируется для химического состава стали, соответствующего рельсовой стали марки 76ХФ (варианта «1» в таблице 2) – рисунок 1. Структура после

отжига представлена перлитом и ферритом с размером зерна №8 и №7 по ГОСТ 5639-82.

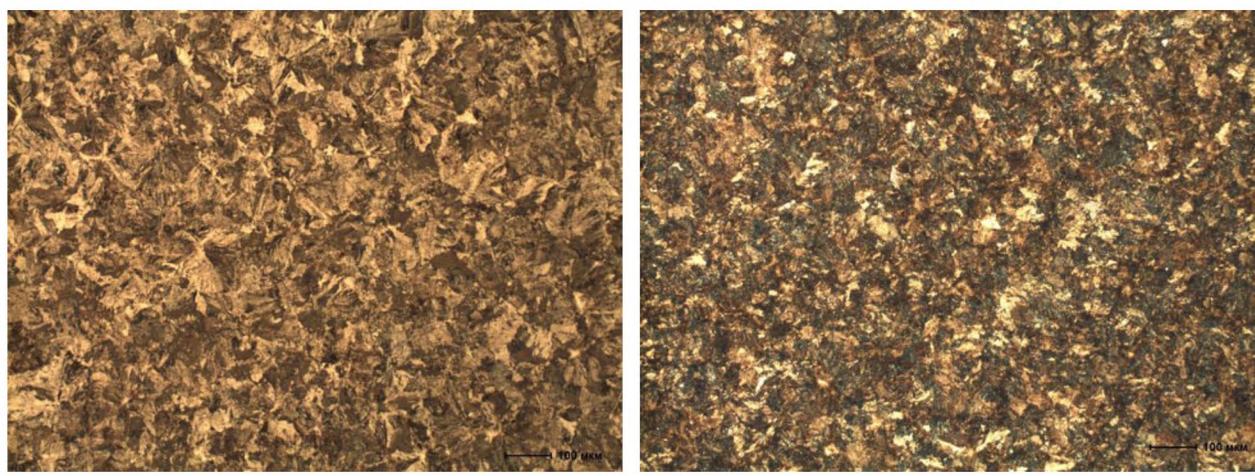


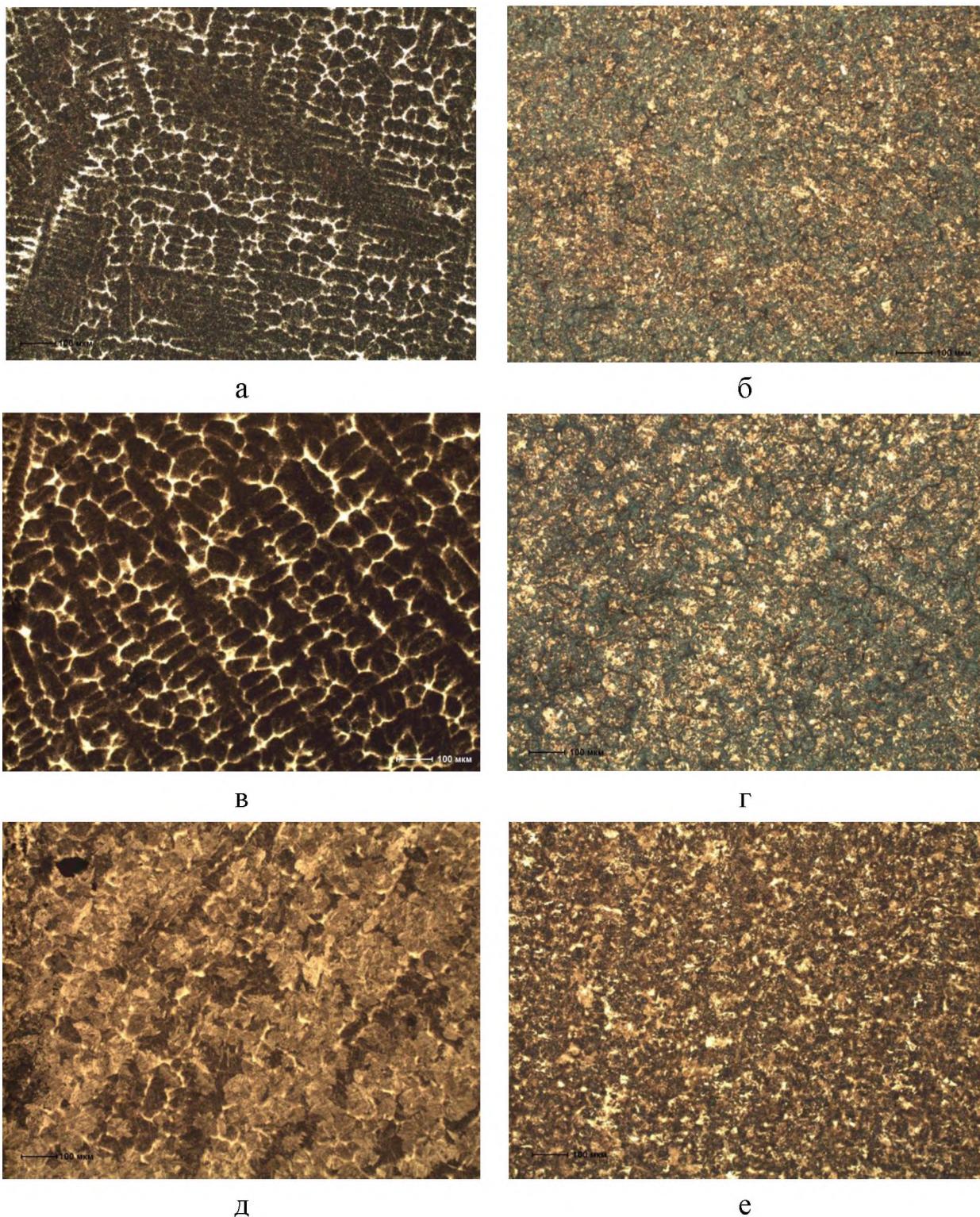
Рисунок 1 – Микроструктура образов из рельсовой стали химического состава, соответствующего марки 76ХФ, в литом состоянии (а) и после отжига (б)

При использовании химических составов, соответствующих рельсовой стали 76ХФ, дополнительно легированной хромом и никелем (варианты «2», «4», «5» в таблице 2), микроструктура после отжига также представлена перлитом и ферритом с размером зерна №8 и №7. Однако при этом в образцах в исходном (литом) состоянии выявлена значительная дендритная ликвация, полного устранения которой после отжига не происходит (рисунок 2). Наличие химической неоднородности обуславливает неравномерность распределения механических свойств по объему заготовок, что закономерно снижает пластические свойства при деформации в процессе прокатки. В результате при прокатке повышается вероятность образования дефектов, являющихся концентраторами напряжений при ударных нагрузках в процессе эксплуатации мелющих тел.

В образцах, химический состав которых соответствует рельсовой стали марки 90ХАФ (вариант «3» в таблице 2) по границам зерен выявлен цементит (рисунок 3). Цементит, являясь твердой и хрупкой фазой, выступает в роли концентратора напряжений, в результате чего повышается вероятность образования дефектов при прокатке и снижается ударная стойкость готовых шаров.

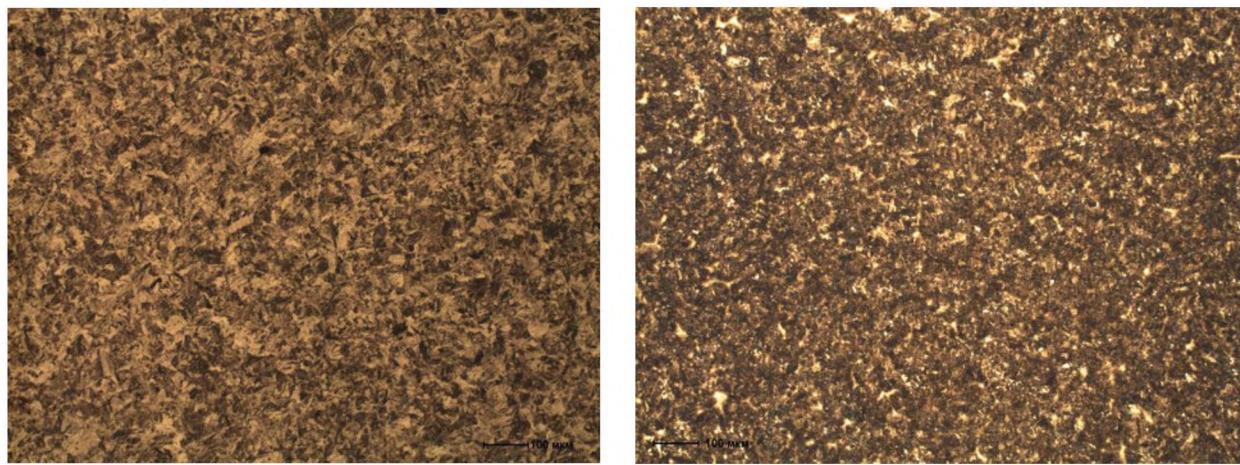
Следует отметить, что при проведении экспериментальных исследований горячая деформация образцов не проводилась и по этой причине внутренних дефектов в структуре мелющих тел после термообработки дефектов не выявлено.

Вследствие отсутствия горячей деформации после закалки микроструктура образцов, соответствующих вариантам химического состава «1», «2», «4», «5» имеет аналогичное строение и представлена мартенситом + карбиды + большое количество аустенита остаточного с размером зерна №7 и №8.



а, в, д – образцы химического состава по вариантам «2», «4», «5» (таблица 2)
в литом состоянии; б, г, е – образцы химического состава по вариантам «2», «4», «5»
(таблица 2) после отжига

Рисунок 2 – Микроструктура образов из рельсовой стали химического
состава, соответствующего стали марки 76ХФ, дополнительно легированной
хромом и никелем



а

б

Рисунок 3 – Микроструктура образов из рельсовой стали химического состава, соответствующего марки 90ХАФ, в литом состоянии (а) и после отжига (б)

Микроструктура образца, соответствующего третьему варианту химического состава представлена мартенситом + карбиды цементитного типа + аустенит остаточный, в меньшем количестве, по сравнению с остальными образцами. Размер зерна соответствует №8 и №7. Отличие микроструктуры обусловлено повышенным содержанием углерода, соответствующем заэтектоидной стали. После низкого отпуска во всех образцах наблюдается снижение количества аустенита остаточного, мартенситные иглы имеют более слаженный внешний вид по отношению к структуре после закалки.

Анализ изменения твердости образцов после рассматриваемых технологических этапов показал следующее (таблица 3):

- после отжига структура всех образцов перешла в равновесное состояние, о чем свидетельствует снижение перепада твердости между образцами;
- закалка позволила получить высокую поверхностную твердость для всех образцов (не менее 60 HRC); при этом различие поверхностной твердости между образцами незначительно (не превысило 4 единицы);
- поверхностная твердость после низкого отпуска снизилась для всех образцов на 2-3 HRC.

Таблица 3 – Твердость образцов рельсовых сталей на различных стадиях технологического цикла

Вариант химического состава	Диапазон поверхностной твердости			
	в литом состоянии, НВ	после отжига (нагрев под прокатку), НВ	после закалки, HRC	после низкого отпуска, HRC
1	293-311	269-293	62-64	60-61
2	495-514	262-286	62-64	60-62
3	321-375	235-262	60-61	58-60
4	578-627	277-286	63-66	61-63
5	293-341	277-302	61-64	59-61

Таким образом, влияние химического состава рельсовых сталей в рамках рассматриваемого интервала содержания основных химических элементов является не существенным.

Заключение

На основании экспериментальных исследований обоснован оптимальный химический состав отбраковки рельсовой стали для производства мелющих тел повышенной ударной стойкости и твердости. Показано, что наилучшее качество микроструктуры мелющих тел, обуславливающее их повышенную ударостойкость, обеспечивается при использовании стали марки 76ХФ. Дополнительное легирование стали 76ХФ хромом и никелем оказывает отрицательное влияние на качество микроструктуры мелющих тел, так как приводит к развитию дендритной ликвации. Использование заэвтектоидной рельсовой стали для производства мелющих тел является нецелесообразным.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-29-20170, за счет гранта Кемеровской области – Кузбасса.

Библиографический список

1. Rakhutin M.G. Ways to improve assessment methods of the main characteristics of grinding balls / M.G. Rakhutin, P.F. Boyko // Ugol'. 2017. №12. pp. 49-52.
2. Найзабеков А. Б. Снижение расхода стальных мелющих шаров путем улучшения технологии их производства / А.Б. Найзабеков, Б.С. Мухаметкалиев, А.С. Арбуз, С.Н. Лежнев // Вести высших учебных заведений Черноземья. 2016. №4 (46). С. 78-86.
3. Aldrich C. Consumption of steel grinding media in mills // Minerals Engineering. 2013. Vol. 49. pp. 77-91.
4. Umansky A.A. Analysis of the main trends in the development of the production of grinding balls in Russia and abroad // A.A.Umansky, A.V. Golovatenko, A.N. Prudnikov // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 866(1). 012032.
5. Быков П.О. Исследование и апробация технологии получения катанных помольных шаров 5 группы твердости в условиях ПФ ТОО «Кастинг» / П.О. Быков, А.Д. Касимгазинов // Наука и техника Казахстана. 2018. № 1. С. 31-40.
6. О регламентации прокаливаемости стальных мелющих шаров / Ткаченко Ф. К., Тихонюк С. Л. , Ефременко В. Г. [и др.]. // Вестник Приазовского государственного технического университета: Сборник научных трудов. – Мариуполь: ПДТУ, 1997. Вып. 3. С. 70-72.
7. Баранов, Н. А. Производство мелющих шаров из рельсовой стали / Н. А. Баранов, О. Н. Тулупов // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования. – 2017. – Т. 1. – С. 96-99.
8. Tomczak J. The flat wedge rolling mill for forming balls from heads of scrap railway rails / J. Tomczak, Z. Pater, T. Bulzak // Archives of Metallurgy and Materials. – 2018. – Vol. 63. – No. 1. – pp. 5-12.
9. Мелющие тела. Проблемы. Перспективы / А. Н. Крутилин, Н. И. Бестужев, А. Н. Бестужев, Д. Н. Каленкович. // Литье и металлургия. – 2009. – №4 (53). – С. 26-33.

СОДЕРЖАНИЕ

КУЗНЕЦКОЙ НАУЧНОЙ ШКОЛЕ ЛИТЕЙЩИКОВ 90 ЛЕТ <i>Князев С.В., Усольцев А.А., Куценко А.И.</i>	4
СЕКЦИЯ 1: ИССЛЕДОВАНИЯ, ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ.....	13
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВОЙ РАБОТЫ ГОЛОВКИ КИСЛОРОДНОЙ ФУРМЫ ДЛЯ ПРОДУВКИ В БОЛЬШЕГРУЗНЫХ КОНВЕРТЕРАХ <i>Протопопов Е.В., Уманский А.А., Морозов И.С., Чернышева Н.А.</i>	13
ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ МИКРОСТРУКТУРЫ МЕЛЮЩИХ ТЕЛ, ПРОИЗВЕДЕННЫХ ИЗ РЕЛЬСОВЫХ СТАЛЕЙ РАЗЛИЧНОГО ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА <i>Уманский А.А., Байдин В.В., Симачев А.С., Думова Л.В.</i>	21
АНАЛИЗ ВЗАИМОСВЯЗИ КАЧЕСТВА СТРУКТУРЫ НЕПРЕРЫВНОЛИТЫХ ЗАГОТОВОК ШАРОВЫХ СТАЛЕЙ С ЭКСПЛУАТАЦИОННЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ МЕЛЮЩИХ ТЕЛ <i>Уманский А.А., Протопопов Е.В., Морозов И.С., Симачев А.С., Думова Л.В.</i>	29
АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПЕРЕРАБОТКИ ШЛАМА КОНВЕРТЕРНОГО ПРОИЗВОДСТВА В КИСЛОРОДНОМ КОНВЕРТЕРЕ <i>Сафонов С.О., Лопатина А.О.</i>	34
ВОЗМОЖНОСТЬ ПОЛУЧЕНИЯ КРЕМНИСТЫХ ФЕРРОСПЛАВОВ ИЗ ФОСФАТНОГО СЫРЬЯ <i>Шевко В.М., Утеева Р.А., Лавров Б.А., Полатова К.М., Карапаева Г.Е.</i>	38
ПЕРЕРАБОТКА БОГАТЫХ ПЫЛЕЙ ПРОИЗВОДСТВА ФЕРРОМАРГАНЦА С ПОВЫШЕННЫМ СОДЕРЖАНИЕМ ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ <i>Шевко В.М., Айткулов Д.К., Синельников И.П., Удалов Ю.П., Бадикова А.Д.</i>	45
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФАЗОВОГО СОСТАВА ПЯТИКОМПОНЕНТНОГО ЭКВИАТОМНОГО СПЛАВА СИСТЕМЫ Co-Cr-Fe-Mn-Ni <i>Панченко И.А., Дробышев В.К., Бессонов Д.А., Кольчурина М.А., Коновалов С.В.</i>	55
ВЫПЛАВКА ЧУГУНА ДЛЯ СМЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ И ИЗЛОЖНИЦ В ИНДУКЦИОННЫХ ПЕЧАХ СРЕДНЕЙ И МАЛОЙ ЕМКОСТИ <i>Лубяной Д.Д., Кузнецов И.С., Кухаренко А.В., Князев С.В., Лубяной Д.А.</i>	62
ИССЛЕДОВАНИЕ МИНЕРАЛОГИЧЕСКИХ ПРЕВРАЩЕНИЙ В ПРОЦЕССЕ АГЛОМЕРАЦИИ ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ МАТЕРИАЛОВ <i>Бурова Ю.Е., Вязникова Е.А., Дмитриев А.Н., Витъкина Г.Ю., Алекторов Р.В.</i>	70
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДОБАВОК K ₂ O, Na ₂ O, MgO, Al ₂ O ₃ НА СВОЙСТВА ШЛАКА ПРИ СВАРКЕ ПОД ФЛЮСОМ НИЗКОУГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ <i>Гизатуллин Р.А., Дуняшин Н.С., Валуев Д.В., Худоёров С.С., Заиркулов Э.Ё.</i>	79
КОРРОЗИОННАЯ СТОЙКОСТЬ ЛЕГИРОВАННЫХ ЧУГУНОВ В АТМОСФЕРЕ АНОДНЫХ ГАЗОВ АЛЮМИНИЕВЫХ ЭЛЕКТРОЛИЗЕРОВ ЭКОСОДЕРБЕРГ <i>Пинаев Е.А., Темлянцев М.В., Большаков Д.Г., Темлянцева Е.Н., Куценко А.И.</i>	87
КИНЕТИКА ОБЕЗУГЛЕРОЖИВАНИЯ УГЛЕРОДСОДЕРЖАЩИХ СМОЛОСВЯЗАННЫХ ОГНЕУПОРОВ ДЛЯ ФУТЕРОВОК СТАЛЕРАЗЛИВОЧНЫХ КОВШЕЙ <i>Якушевич Н.Ф., Запольская Е.М., Темлянцев М.В., Протопопов Е.В., Темлянцева Е.Н., Приходько М.С.</i>	92
ОПТИМИЗАЦИЯ ЭНЕРГОТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА ВЫПЛАВКИ ФЕРРОСИЛИКОМАРГАНЦА <i>Павлов В.В., Романенко Ю.Е., Годик Л.А., Фейлер С.В., Фейлер Д.Т.</i>	98