

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»

**ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА
РЕЛЬСОВОЙ СТАЛИ МАРКИ К76Ф НА УДАРНУЮ
СТОЙКОСТЬ МЕЛЮЩИХ ШАРОВ**

Уманский А.А., Симачев А.С., Думова Л.В., Сафонов С.О.

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

Аннотация. На основании комплекса статистических и металлографических исследований установлено качественное и количественное влияние химического состава рельсовой стали марки К76Ф на ударную стойкость мелющих шаров, прокатанных из отбраковки заготовок указанной стали. Показано, что повышение содержания углерода, водорода и серы в указанной рельсовой стали приводит к снижению ударной стойкость мелющих шаров; при этом относительная степень влияния содержания указанных химических элементов на ударную стойкость шаров составляет 48%. Дополнительными исследованиями показано, что оставшиеся 52% связаны с влиянием температуры прокатки шаров и параметрами их термообработки.

Ключевые слова: заготовки рельсовой стали, мелющие шары, ударная стойкость, химический состав, дефекты, термическая обработка

STUDIES OF THE INFLUENCE OF THE CHEMICAL COMPOSITION OF K76F GRADE RAIL STEEL ON THE IMPACT RESISTANCE OF GRINDING BALLS

Umanskii A.A., Simachev A.S., Dumova L.V., Safonov S.O.

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

Abstract. On the basis of a complex of statistical and metallographic studies, the qualitative and quantitative influence of the chemical composition of K76F grade rail steel on the impact resistance of grinding balls rolled from the rejection of blanks of the specified steel has been established. It is shown that an increase in the content of carbon, hydrogen and sulfur in the specified rail steel leads to a decrease in the impact resistance of grinding balls; at the same time, the relative degree of influence of the content of these chemical elements on the impact resistance of the balls is 48%. Additional studies have shown that the remaining 52 % are related to the influence of the rolling temperature of the balls and the parameters of their heat treatment.

Keywords: rail steel billets, grinding balls, impact resistance, chemical composition, defects, heat treatment.

В настоящее время получают развитие технологические решения по переработке отбраковки непрерывнолитых заготовок рельсовых сталей в нерельсовые виды проката, в том числе в мелющие шары [1-4]. Имеются примеры массового производства мелющих шаров из отбраковки рельсовых сталей на предприятиях, традиционно являющихся ведущими отечественными производителями катаных помольных шаров (ОАО «Гурьевский металлургический завод» – ОАО «ГМЗ»).

Характерной особенностью отбракованных заготовок рельсовых сталей является более широкий интервал варьирования концентрации основных химических элементов по сравнению с годными заготовками, идущими для дальнейшего производства из них железнодорожных рельсов. С учетом данного факта, а также принимая во внимание специфические особенности структуры заготовок рельсовых сталей по сравнению с заготовками специализированных шаровых сталей [5-7], исследования влияния химического состава рельсовой стали на показатели качества производимых мелющих шаров представляют научно-практический интерес и являются актуальными.

В представленной работе приводятся результаты исследований влияния химического состава отбракованных заготовок рельсовой стали марки К76Ф на ударную стойкость мелющих шаров, произведенных из указанной отбраковки в условиях ОАО «ГМЗ».

Статистическими исследованиями влияния концентрации основных химических элементов в рельсовой стали К76Ф на отбраковку шаров по результатам копровых испытаний установлено, что повышение содержания углерода, водорода и серы в рассматриваемой стали в фактических пределах изменения концентрации данных элементов (таблица 1) приводит к снижению ударной стойкости шаров – повышению брака по результатам копровых испытаний:

$$\text{Б}_{\text{КОПР}} = -12,9 + 11,8 \cdot [\text{C}] + 3,7 \cdot [\text{H}] + 102,3 \cdot [\text{S}], \quad (1)$$

где $\text{Б}_{\text{КОПР}}$ – брак шаров по результатам копровых испытаний, %;

$[\text{C}]$, $[\text{S}]$ – содержание углерода и серы в стали, %;

$[\text{H}]$ – содержание водорода в стали, ppm.

Металлографическими исследованиями, проведенными с целью обоснования механизмов влияния содержания вышеперечисленных химических элементов на ударную стойкость шаров, установлено, что повышение содержания углерода до заэвтектоидных значений приводит к образованию карбидов цементитного типа (рисунок 1). Фактически содержание углерода, соответствующее заэвтектоидной стали (0,83-0,85 %), имеет место в осевой зоне шаров при содержании углерода в поверхностном слое на уровне 0,78 %.

Повышение содержания водорода в рельсовой стали марки К76Ф приводит к увеличению вероятности образования флокенов, выявленных в изломе ряда расколотых шаров (рисунок 2).

В свою очередь повышение содержания серы в рельсовой стали приводит к увеличению концентрации и образованию скоплений непластичных

сульфидов, выявленных в зоне локализации трещин (рисунок 3).



Рисунок 1 – Карбиды цементитного типа в шаре из стали К76Ф, не выдержавшего испытания на ударную стойкость



Рисунок 2 – Флокены в изломе мелюющих шаров из рельсовой стали К76Ф

В целом по данным проведенного анализа суммарная относительная степень влияния содержания углерода, водорода и серы в рельсовой стали марки К76Ф на отбраковку шаров при копровых испытаниях составила 48%.

Оставшиеся 52 % необъясненной вариации относятся к влиянию параметров прокатки и закалки шаров. Так дополнительными исследованиями установлено, что повышение температуры прокатки шаров из стали К76Ф в интервале 900-980 °С приводит к увеличению их ударной стойкости, то есть снижению отбраковки при копровых испытаниях:

$$\text{Б}_{\text{КОПР}} = 17,9 - 0,015 \cdot [t], \quad (2)$$

где $\text{Б}_{\text{КОПР}}$ – отбраковка шаров по результатам копровых испытаний, %;
 t – температура прокатки шаров, °С.

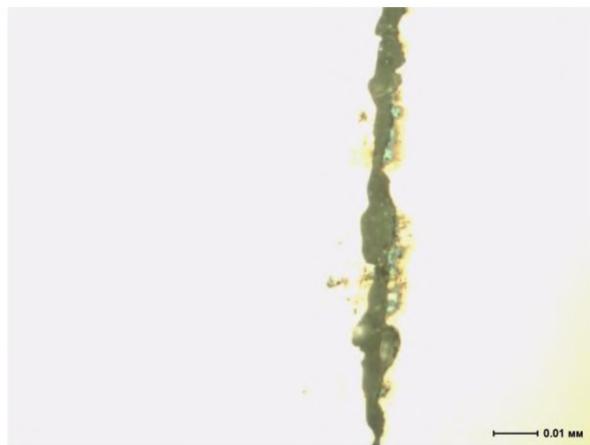


Рисунок 3 – Неметаллические включения в области локализации трещины мелющего шара из рельсовой стали К76Ф

Наличие значимого влияния параметров термообработки мелющих шаров из рельсовой стали К76Ф на их ударную стойкость подтверждается выявленными в ходе металлографических исследований закалочными трещинами по границам раздела фаз (рисунок 4).



Рисунок 4 – Микротрещина по границам зерен в шаре из рельсовой стали К76Ф, не выдержавшем испытание на ударную стойкость

Заключение

На основании статистических исследований установлено значимое влияние повышения содержания углерода, водорода и серы в рельсовой стали марки К76Ф на снижение ударной стойкости мелющих шаров, прокатанных из отбраковки заготовок указанной стали. Показано, что суммарная относительная степень влияния содержания указанных химических элементов на ударную стойкость шаров составляет 48%, оставшиеся 52% связаны с влиянием температуры прокатки шаров и параметрами их термообработки. Полученные результаты подтверждены металлографическими исследованиями характерных дефектов мелющих шаров, выявленными на шарах, не выдержавших испытания на ударную стойкость.

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

Библиографический список

1. Pater Z., Tomczak J., Bulzak T., Andrietti S., Barbelet M. An innovative method for producing balls from scrap rail heads // International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2018. Vol. 97. No. 1-4. P. 893-901.
2. Tomczak J., Pater Z., Bulzak T. The flat wedge rolling mill for forming balls from heads of scrap railway rails // Archives of Metallurgy and Materials. 2018. Vol. 63. No. 1. P. 5-12.
3. Tomczak, J., Pater, Z., Bulzak, T. The flat wedge rolling mill for forming balls from heads of scrap railway rails // Archives of Metallurgy and Materials. 2018. Vol. 63. No. 1. pp. 5-12.
4. 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.
5. Ефременко, В. Г. Металлографический анализ причин разрушения стальных катаных тел для барабанных мельниц / В. Г. Ефременко // Вестник Приазовского государственного технического университета. – 2000. – №9. – С. 89-91.
6. Уманский, А.А. Исследование влияния макро- и микроструктуры стальных помольных шаров на их ударную стойкость / Уманский А. А., Головатенко А. В., Осколкова Т. Н. [и др.]. // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. – 2019. – Т. 62. – № 4. – С. 283-289.
7. Сталинский Д.В. Выбор материала и технологий термической обработки мелющих шаров, работающих преимущественно в условиях абразивного износа / Д.В. Сталинский, А.С. Рудюк, В.К. Соленый // Сталь. 2017. №6. С. 64-69.

УДК 669.715.017

ВЛИЯНИЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА СТРУКТУРУ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА С ДОБАВКАМИ ДИОКСИДА ТИТАНА

**Хамид. Махан М.^{1,2}, Коновалов С.В.³, Куценко А.А.³,
Цветков А.В.³, Панченко И.А.³**

¹*Самарский национальный исследовательский
университет им. академика С.П. Королева, г. Самара, Россия*
²*Средний технический университет, Технический институт Бакуба,
г. Диваля, Ирак*
³*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, Россия, konovalov@sibsiu.ru*

Аннотация. В данном исследовании мы упрочняли алюминиевый сплав 2024 различными массовыми долями наночастиц диоксида титана методом

ВЛИЯНИЕ ГОРЯЧЕЙ ПРОКАТКИ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА КОМПОЗИТА ТІ/ТІВ, ПОЛУЧЕННОГО МЕТОДОМ ИСКРОВОГО ПЛАЗМЕННОГО СПЕКАНИЯ	
<i>Озеров М.С., Поволяева Е.А., Громашова Д.В., Волокитина Е.И.</i>	298
ТЕРМИЧЕСКОЕ УПРОЧНЕНИЕ ПРЕССОВОК ИЗ ЗАЭВТЕКТИЧЕСКОГО СИЛУМИНА	
<i>Прудников А.Н., Прудников В.А., Рексиус В.С.</i>	303
ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО НАГРЕВА В КИСЛОРОДСОДЕРЖАЩЕЙ СРЕДЕ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КОНСТРУКЦИОННЫХ СТАЛЕЙ	
<i>Афанасьев В.К., Попова М.В., Жибинова И.А.</i>	310
ПРИМЕНЕНИЕ ОБРАБОТКИ РАСПЛАВА И ПОСЛЕДУЮЩЕЙ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЗАЭВТЕКТИЧЕСКИХ СИЛУМИНОВ	
<i>Афанасьев В.К., Попова М.В., Прудников А.Н., Жибинова И.А.</i>	315
ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА РЕЛЬСОВОЙ СТАЛИ МАРКИ К76Ф НА УДАРНУЮ СТОЙКОСТЬ МЕЛЮЩИХ ШАРОВ	
<i>Уманский А.А., Симачев А.С., Думова Л.В., Сафонов С.О.</i>	323
ВЛИЯНИЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА СТРУКТУРУ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА С ДОБАВКАМИ ДИОКСИДА ТИТАНА	
<i>Хамид. Махан М., Коновалов С.В., Куценко А.А., Цветков А.В., Панченко И.А.</i>	327
ИССЛЕДОВАНИЯ И РАЗРАБОТКА ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ УПРАВЛЕНИЯ СТРУКТУРОЙ И СВОЙСТВАМИ СТАЛЕЙ В ПРОЦЕССАХ ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ	
<i>Васильев А.А., Колбасников Н.Г.</i>	332
МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОКАТКИ РЕЛЬСЫ В НЕПРЕРЫВНОЙ ГРУППЕ КЛЕТЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ QFORM	
<i>Белолипецкая Е.С., Соловьев В.Н.</i>	341
УПРАВЛЕНИЕ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ СТРУКТУРОЙ ТРУБНЫХ МАРОК СТАЛЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ	
<i>Колбасников Н.Г., Жуков Н.В.</i>	348
ПРИЧИНЫ И МЕХАНИЗМ ОБРАЗОВАНИЯ ДЕФЕКТОВ ТИПА «МОРЩИНА» ПРИ ГОРЯЧЕЙ ПРОКАТКЕ СОРТОВОЙ СТАЛИ	
<i>Колбасников Н.Г., Адигамов Р.Р., Шишов И.А., Зайцев А.М.</i>	356
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МНОГОСТУПЕНЧАТОЙ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА СПЛАВЫ СЕРИИ AL-MG-SI С ИЗБЫТКОМ КРЕМНИЯ И НЕБОЛЬШИМИ ДОБАВКАМИ СКАНДИЯ И ЦИРКОНИЯ	
<i>Арышенский Е.В., Лапшов М.А., Солопаев М.В., Коновалов С.В.</i>	367
МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ТЕРМИЧЕСКОГО УПРОЧНЕНИЯ РЕЛЬСОВ	
<i>Сарычев В.Д., Филяков А.Д., Чумаков И.И., Коновалов С.В.</i>	374
ВЛИЯНИЕ МЕДИ НА СТРУКТУРУ И ТЕПЛОВОЕ РАСШИРЕНИЕ СПЛАВОВ AL – 40%Si	
<i>Афанасьев В. К., Попова М.В., Малюх М.А.</i>	379