

РАЗРАБОТКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ НЕФТИ И ГАЗА.....	3
ЗА НЕФТЬЮ КУЗБАССА С ИННОВАЦИОННОЙ ТЕХНОЛОГИЕЙ.....	3
В.В.Ростовцев, Е.Ю. Липихина, А.М. Афанасьев, В.Н. Ростовцев, В.В. Лайнвебер	
НОВАЯ ПАРАДИГМА ПОИСКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ НЕФТИ И ГАЗА.....	8
В.В. Ростовцев, Е.Ю. Липихина, В.Н. Ростовцев, В.В. Лайнвебер	
ПУТИ РЕАНИМАЦИИ НЕФТЯНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ ТОМСКОЙ ОБЛАСТИ.....	15
В.В. Ростовцев, Е.Ю. Липихина, В.Н. Ростовцев, В.В. Лайнвебер	
ОСОБЕННОСТИ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ТРУДНОИЗВЛЕКАЕМОЙ НЕФТИ В АРКТИКЕ.....	28
И.Г. Яценко, Ю.М. Полищук	
ГЕОТЕХНОЛОГИЯ И ГЕОМЕХАНИКА.....	42
АЛЛЕЯ ГЕОЛОГОВ В ТОМСКЕ. ИСТОКИ.....	42
А.Я. Пшеничкин, В.А. Домаренко	
ЧИСЛЕННАЯ ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ГЕОТЕКТОНИЧЕСКОГО ПОЛЯ НАПРЯЖЕНИЙ В ГЕОМАССИВЕ НА ГЕОМЕХАНИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ПОДЗЕМНЫХ ВЫРАБОТОК.....	49
В.Н. Фрянов, Л.Д. Павлова	
ПАРАДОКСЫ ПРИРОДНОГО ЯДЕРНОГО РЕАКТОРА ОКЛО.....	60
В.А. Домаренко	
К ВОПРОСУ РАЗРУШЕНИЯ УСТОЙЧИВЫХ ВОДОНЕФТЯНЫХ ЭМУЛЬСИЙ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ.....	65
Е.Э. Очиров, С.Н. Харламов	
МЕТАЛЛУРГИЯ.....	76
ПЕРЕМЕШИВАНИЕ РАСПЛАВА ПРИ ПРОДУВКЕ ИНЕРТНЫМ ГАЗОМ В АГРЕГАТАХ КОВШ-ПЕЧЬ.....	76
Е.В. Протопопов, Л.В. Думова, М.В. Темлянецв, Е.М. Запольская	
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРНЫХ РЕЖИМОВ ПРОКАТКИ МЕЛЮЩИХ ШАРОВ ИЗ ОТБРАКОВКИ РЕЛЬСОВОЙ СТАЛИ НА ИХ УДАРНУЮ СТОЙКОСТЬ.....	84
А.А. Уманский, А.Б. Юрьев, А.С. Симачев, Л.В. Думова	

©Издательский
центр
Сибирского
государственного
индустриального
университета

Адрес редакции:
654007
г. Новокузнецк,
ул. Кирова, 42,
Сибирский
государственный
индустриальный
университет
тел. 8–3843–78–44–55

http: www.sibsiu.ru

ISSN 2311–9519

ОПТИМИЗАЦИЯ СОСТАВА МЕТАЛЛОЗАВАЛКИ ПРИ ВЫПЛАВКЕ РЕЛЬСОВОЙ ЭЛЕКТРОСТАЛИ С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЕЕ ПРОИЗВОДСТВА.....	93
Е.В. Протопопов, Л.В. Думова	
ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ЩЕЛОЧНОЗЕМЕЛЬНЫХ МЕТАЛЛОВ ИЗ ШЛАКОВЫХ РАСПЛАВОВ.....	102
Н. Ф. Якушевич, Е. В. Протопопов, М. В. Темлянец	
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ АЛЮМИНИЯ НА КОРРОЗИОННУЮ СТОЙКОСТЬ ЧУГУНОВ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ В СРЕДЕ АНОДНЫХ ГАЗОВ ЭЛЕКТРОЛИЗЕРОВ ЭКОСОДЕРБЕРГ.....	116
Е.А. Пинаев, М.В. Темлянец, Е.В. Протопопов, Д.Г. Большаков, Е.Н. Темлянцева, А.С. Симачев	
БИОМЕДИЦИНА.....	122
ЧТО ИЗМЕНИЛОСЬ В КЛИНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКЕ СЕПСИСА: КОММЕНТАРИИ К НОВЫМ МЕЖДУНАРОДНЫМ РЕКОМЕНДАЦИЯМ SSC 2021 ПО ЛЕЧЕНИЮ СЕПСИСА И СЕПТИЧЕСКОГО ШОКА.....	122
В. В. Агаджанян, И. М. Устьянцева, А.Х. Агаларян	
ОРГАНИЗАЦИЯ МЕДИЦИНСКОЙ ПОМОЩИ ПРИ ПОЛИТРАВМЕ. ПРОЕКТ КЛИНИЧЕСКИХ РЕКОМЕНДАЦИЙ.....	146
В.В. Агаджанян, А.Х. Агаларян	
ФАКТОРЫ, ОКАЗЫВАЮЩИЕ ВЛИЯНИЕ НА ЛЕТАЛЬНОСТЬ ПАЦИЕНТОВ С ПОЛИТРАВМОЙ.....	148
В.В. Агаджанян, А.Х. Агаларян	
ЭНЦИКЛОПЕДИЧЕСКИЕ ЗНАНИЯ И ГУМАНИТАРНЫЕ НАУКИ.....	151
РАЗВИТИЕ АМБИЕНТНОЙ СРЕДЫ ГОРОДА КАК ОСНОВЫ ЕГО ВОЗРОЖДЕНИЯ.....	151
Ю.С. Серенков, Е.А. Благиных, И.В. Шимлина, В.Е. Хомичева	
ИСТОРИКО-КУЛЬТУРНЫЕ ОСНОВАНИЯ МНОГООБРАЗИЯ МОДЕЛЕЙ ТРАНСФОРМАЦИИ УНИВЕРСИТЕТА.....	167
Н.А. Иванова	
ЮБИЛЕИ.....	174
РЕФЕРАТЫ.....	183

УДК 621.771.65

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРНЫХ РЕЖИМОВ
ПРОКАТКИ МЕЛЮЩИХ ШАРОВ ИЗ ОТБРАКОВКИ
РЕЛЬСОВОЙ СТАЛИ НА ИХ УДАРНУЮ СТОЙКОСТЬ***

А.А. Уманский, А.Б. Юрьев, А.С. Симачев, Л.В. Думова

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет»,

г. Новокузнецк

Введение

Значительное повышение требований к качеству и эксплуатационным характеристикам железнодорожных рельсов, произошедшее в последние десятилетия, обусловили высокий уровень отбраковки непрерывнолитых заготовок рельсовых сталей на предприятиях, производящих рельсовую продукцию [1]. В связи с этим с целью уменьшения потерь закономерно возникла необходимость переработки таких заготовок в нерельсовые виды проката. В отечественной металлургии отбракованные слитки и заготовки рельсовых сталей традиционно перекачивались в мелющие шары [2, 3], что обусловлено схожестью химического состава рельсовых и шаровых сталей. Также имеется и зарубежный опыт производства мелющих шаров из отбраковки рельсовых сталей [4-6].

В последние годы массовое производство мелющих шаров из отбраковки заготовок рельсовой стали марки К76Ф, поставляемых компанией «Мечел», освоено в ОАО «Гурьевский металлургический завод» (ОАО «ГМЗ»). На данном заводе из указанной отбраковки непрерывнолитых заготовок рельсовой стали ежегодно производится 25-40 тыс. т шаров, что составляет 30-50% от общего объема выпуска данного вида продукции на предприятии. При этом следует отметить, что ОАО «ГМЗ» является одним из ведущих производителей мелющих шаров в России (доля мелющих шаров, производимых на данном предприятии, превышает 20% от общероссийского их производства).

Необходимо отметить, что в настоящее время производство мелющих шаров из отбраковки рельсовых сталей связано с рядом объективных трудностей, в значительной степени связанных с произошедшими в последние годы изменениями химического состава и структуры рельсовых сталей, а также с повышением требований к характеристикам мелющих шаров. Наиболее значимой эксплуатационной характеристикой мелющих шаров является их ударная стойкость, которая, как показано рядом исследователей [7], в наибольшей степени определяется качеством их макроструктуры. При этом одним из эффективных методов снижения вероятности образования и уменьшения интенсивности развития внутренних дефектов мелющих шаров является совершенствование температурных режимов их прокатки. Таким образом, выбранное направление исследований, связанное с анализом влияния температурных условий прокатки на их ударную стойкость является актуальным.

Методика исследований

Исследования проводили в два этапа.

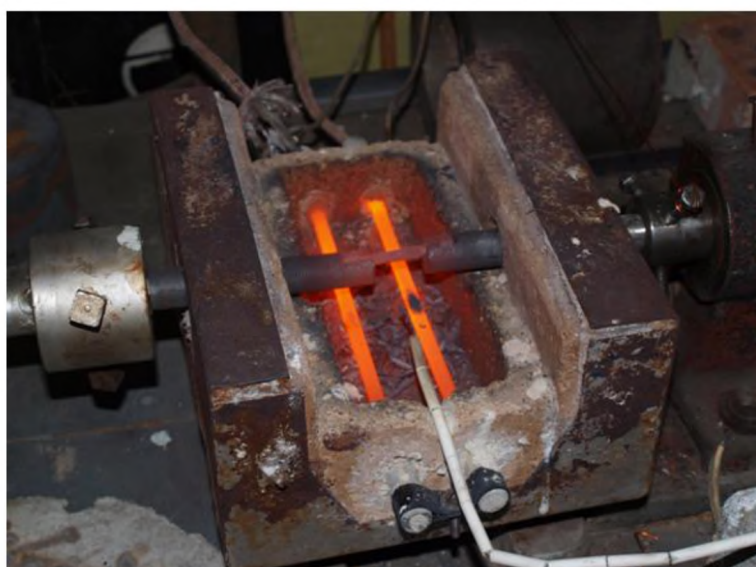
На первом этапе проведены экспериментальные исследования пластичности непрерывнолитых заготовок рельсовой стали К76Ф производства «Мечел» методом горячего кручения с использованием специализированной лабораторной установки (рисунок 1 а). При использовании данной установки образец, имеющий цилиндрическую форму с головками с обеих сторон, помещается в предварительно нагретую до нужной температуры печь сопротивления (рисунок 1 б), где фиксируется в пазах подвижного и неподвижного валов. После выдержки образца в течение 10 мин. для полного и равномерного нагрева образца подвижный вал приводится в движение электродвигателем и вращается вплоть до разрыва образца. Фиксация количества оборотов до разрыва позволяет определить критерий пластичности стали:

$$\lambda_p = \frac{\pi \cdot d_0 \cdot z}{l_0} \quad (1)$$

где z – число оборотов до разрушения; l_0 , d_0 – длина и диаметр исходных цилиндрических образцов соответственно, мм.



а



б

а – общий вид; б – размещение образца в печи сопротивления

Рисунок 1. Лабораторная установка для определения сопротивления пластической деформации методом горячего кручения

Температурный интервал проведения испытания составил 900-1150°C с шагом 50°C. Отбор проб для изготовления образцов проводили из различных зон кристаллизации непрерывнолитых заготовок анализируемой стали, что дало возможность получения более полной информации о ее пластичности.

Второй этап исследований проведен в условиях промышленного шаропрокатного стана ОАО «ГМЗ». В рамках данного этапа анализировали

ударную стойкость мелющих шаров, прокатанных по различным температурным режимам. Ударную стойкость определяли на копровой установке, имеющейся на стане. При выборе температурных режимов руководствовались полученной в ходе первого этапа зависимостью пластичности рельсовой стали К76Ф от температуры ее деформации и технико-экономической эффективностью изменения температурных режимов прокатки, а именно влиянием температуры прокатки на производительность стана. Исследования структуры шаров, прокатанных по различным температурным режимам, проводили с использованием оптического металлографического микроскопа «OLYMPUS GX-51».

Результаты исследований и их обсуждение

На основании экспериментальных исследований пластичности рельсовой стали К76Ф установлено, что зависимость критерия пластичности от температуры деформации является нелинейной (рисунок 2). Так при увеличении температуры деформации от 900°C до 1100-1150°C критерий пластичности возрастает, после чего происходит снижение его величины. Таким образом, при температурах 1100-1150°C наблюдается выраженный максимум пластичности (большее значение температуры максимальной пластичности характерно для корковой зоны непрерывнолитых заготовок, меньшее значение – для зоны столбчатых кристаллов и осевой зоны заготовок).

Температура прокатки шаров в условиях ОАО «ГМЗ» ограничена пределами не более 980°C, что связано с необходимостью достижения температуры последующей закалки шаров, проводимой с прокатного нагрева (температура закалки составляет 780-860°C) и фактически находится в пределах от 900°C до 980°C. Поскольку пластичность стали напрямую определяет вероятность образования дефектов и интенсивность их развития, то повышение температуры прокатки закономерно должно обусловить снижение трещинообразования и, как следствие, повышение ударной стойкости шаров.

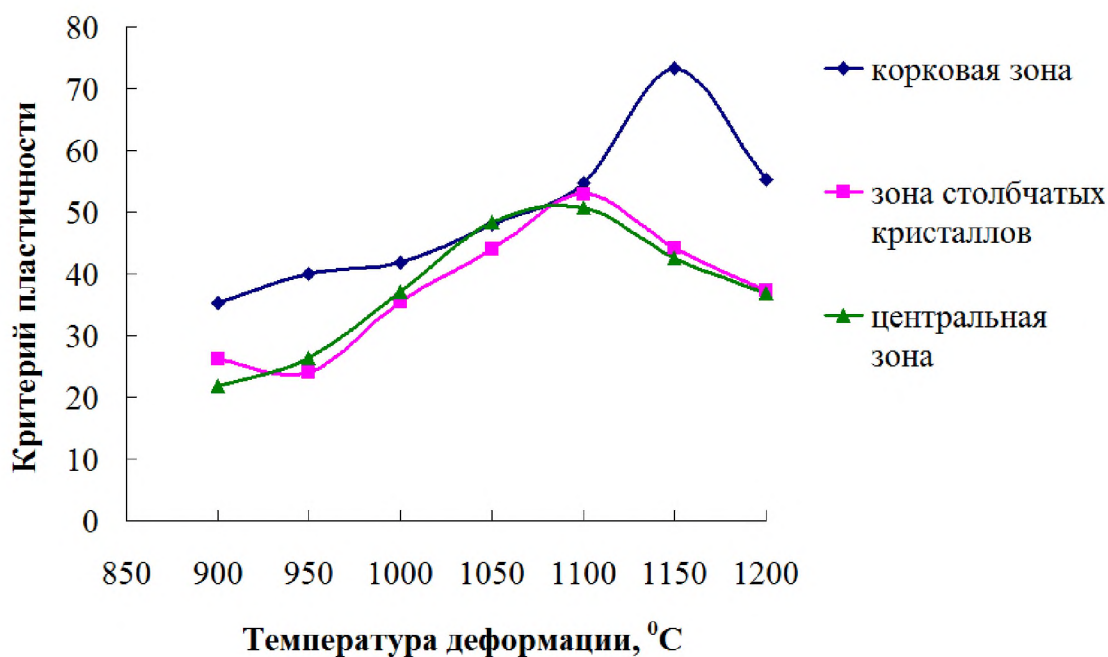


Рисунок 2. Зависимость пластичности непрерывнолитых заготовок стали марки К76Ф от температуры деформации

На основании проведенной статистической обработки данных, установлено, что, действительно, увеличение температуры прокатки в существующем интервале ее изменения (900-980°C) обуславливает снижение отбраковки шаров по результатам копровых испытаний, то есть повышает их ударную стойкость:

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

где $B_{\text{КОПР}}$ – отбраковка шаров по результатам копровых испытаний, %;
 t – температура начала прокатки шаров, °C.

Исходя из полученных данных повышение температуры прокатки шаров до достижения температур максимальной пластичности (1100-1150°C) приведет к повышению ударной стойкости шаров, однако при этом произойдет снижение производительности прокатного стана, так как увеличится время охлаждения шаров перед закалкой и, кроме того, увеличится продолжительность нагрева заготовок под прокатку.

С целью определения оптимальной температуры прокатки шаров проведены расчеты производительности шаропрокатного стана при изменении

температуры прокатки в рамках интервала 900-1150°C. При проведении расчетов производительности использован «тактовый» подход, когда производится расчет тактов работы отдельных независимых участков (нагрева, прокатки, термообработки и т.д.), а затем из полученных тактов выбирается максимальный, выступающий в роли такта работы всего прокатного стана:

$$T_{\text{ст}} = T_{\text{max}} \{T_1; T_2; \dots T_n\} \quad (3)$$

где $T_{\text{ст}}$ – такт работы прокатного стана, с;

T_1, T_2, T_n – такт работы участков прокатного стана, с.

С использованием полученного такта работы стана далее рассчитывается его производительность:

$$A_{\text{ст.}} = \frac{3600 \cdot m}{T_{\text{ст}}} k_{\text{и}} \quad (4)$$

где m – масса исходной заготовки, т;

$k_{\text{и}}$ – коэффициент использования стана.

Полученные данные свидетельствуют о нелинейном характере зависимости производительности стана от температуры прокатки шаров (рисунок 3). Повышение температуры прокатки на каждые 10°C в интервале 900-1030°C приводит к снижению производительности шаропрокатного стана на 1,0-1,2% в зависимости от конкретной температуры закалки в рамках допустимого интервала (780-860°C). Дальнейшее увеличение температуры до достижения верхней границы рассматриваемого интервала (1150°C) обуславливает уменьшение производительности стана на 2,2-2,5% на каждые 10°C повышения температуры прокатки.

Характер полученной зависимости производительности стана от температуры прокатки шаров (рисунок 3) обусловлен одновременным влиянием температуры прокатки на такты работы участков нагрева заготовок и термообработки шаров.

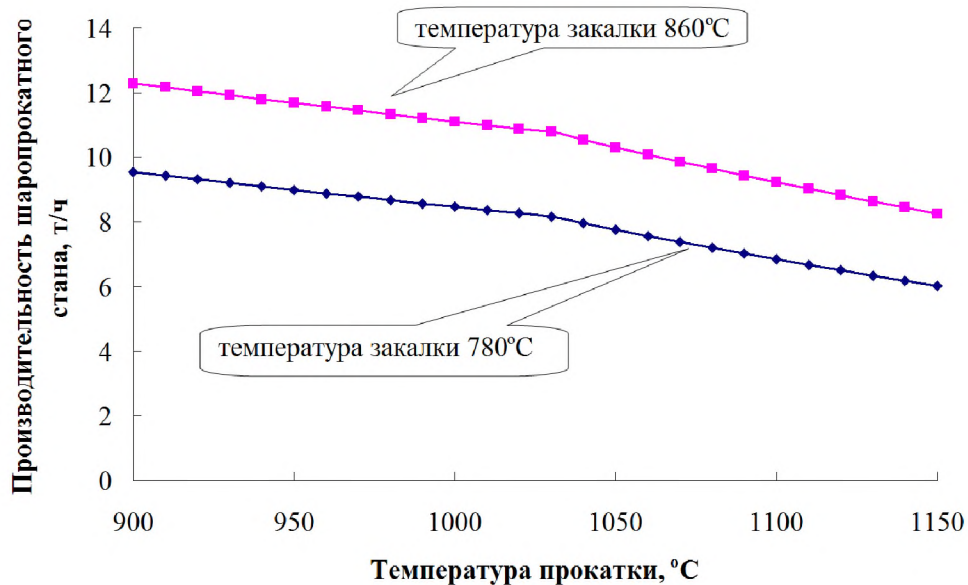


Рисунок 3. Влияние температуры начала прокатки на производительность шаропрокатного стана

Таким образом, полученные результаты теоретических расчетов свидетельствуют, что оптимальной температурой прокатки шаров в условиях ОАО «ГМЗ» является 1030°C.

Для подтверждения полученных результатов на практике проведен опытно-промышленный эксперимент, в ходе которого заготовки рельсовой стали марки К76Ф одной плавки прокатаны на шары диаметром 60 мм по базовому режиму (температура прокатки 980°C) и разработанному режиму (температура прокатки 1030°C).

Результаты металлографических исследований структуры шаров после прокатки (до термообработки) свидетельствуют о значительном снижении трещинообразования при использовании режима с температурой прокатки 1030°C; также зафиксировано повышение ударной стойкости шаров (таблица 1).

Таблица 1 – Влияние температуры прокатки шаров из рельсовой стали К76Ф на качество их макроструктуры и ударную стойкость

Температура прокатки шаров, °C	Доля шаров с трещинами после прокатки, %	Доля шаров выдержавших 75 ударов, %	Доля шаров, не выдержавших испытания, % (количество ударов до разрушения)
980	12	86	14 (12-29)
1030	0	100	0

Исследованиями микроструктуры шаров после полного цикла термообработки (закалка + отпуск) установлено, что применение режима прокатки с повышенной температурой деформации обуславливает незначительное увеличение размера зерна на поверхности по сравнению с использованием базового режима (таблица 2). Однако при этом изменение среднего размера зерна крайне незначительно, что обусловило отсутствие различий в поверхностной твердости шаров (таблица 2).

Таблица 2 – Влияние температуры прокатки шаров из рельсовой стали К76Ф на качество их микроструктуры и твердость после термообработки

Температура прокатки шаров, °С	Балл зерна по ГОСТ 5639-82		Поверхностная твердость, HRC
	максимальный	средний	
980	6	5,8	56
1030	5	5,2	56

Заключение

На основании комплекса экспериментальных и теоретических исследований установлено, что повышение температуры прокатки мелющих шаров из отбраковки рельсовой стали марки К76Ф в условиях шаропрокатного стана ОАО «ГМЗ» в рамках существующего интервала ее изменения (900-980°С) обуславливает снижение трещинообразования и повышение ударной стойкости шаров за счет повышения пластичности заготовок при деформации.

Обоснована оптимальная температура прокатки мелющих шаров из отбраковки рельсовой стали марки К76Ф в условиях ОАО «ГМЗ» (1030°С) позволяющая повысить ударную стойкость шаров при сохранении высокой поверхностной твердости (на уровне не ниже 60 HRC) и минимальном снижении производительности шаропрокатного стана.

Список использованных источников

1 Головатенко, А. В. Ввод в эксплуатацию универсального рельсобалочного стана и освоение технологии производства рельсов на современном оборудовании в рельсобалочном цехе ОАО «ЕВРАЗ ЗСМК» / А. В. Головатенко, К. В. Волков, И. В. Александров, Е. П. Кузнецов, В. В.

Дорофеев, О. И. Сапелкин // Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации. – 2014. – №6 (1374). – С. 32-38.

2. Крутилин, А. Н. 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.

3. 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. 96-111.

4. 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.

5. 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.

6. 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.

7. 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.

** Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-29-20170, <https://rscf.ru/project/22-29-20170/>.*