

преобладанием процесса деструкции резины. Коэффициент диссипации в условиях агрессивной среды сохраняет закон в соответствии с которым он изменяется при старении в обычных условиях, однако скорость этого изменения возрастает, что также связано с активизацией процессов деструкции.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Булат А.Ф. Эластомеры в горном деле/ А.Ф. Булат, В.И. Дырда, Е.Л. Звягильский, А.А. Логинова, В.Н. Пухальский, В.П. Надутый, Н.И. Лисица, В.Л. Морус. – К.: Наукова думка, 2016 – 383 с.
2. Логинова А.А. Влияние процесса старения в условиях агрессивной среды на упруго-диссипативные свойства резиновых элементов/А.А. Логинова// Геотехническая механика: Межвед. сб. научн. тр./ ИГТМ НАН Украины – Днепр, 2017-№130.
3. Логинова А.А. Расчёт систем виброизоляции горных машин с учётом эффекта старения/А.А. Логинова, В.Г. Шевченко, В.И. Дырда// Геотехническая механика: Межвед. сб. научн. тр./ ИГТМ НАН Украины – Днепр, 2015-№125.
4. Дырда В.И. Определение реологических характеристик и параметров резиновых элементов горных машин/ В.И. Дырда, А.А. Логинова, В.Г. Шевченко// Научно-техническое обеспечение горного производства/ ИГД им. Д. А. Кунаева – Казахстан, 2016 – №88.
5. Зиборов К.А. Влияние эффекта старения на амплитуду колебаний резиновых виброизоляторов горных машин / К.А. Зиборов, А.А. Логинова // Современные инновационные технологии подготовки инженерных кадров для горной промышленности и транспорта 2016» / ДВНЗ "НГУ" – Днепропетровск, 2016.

УДК 669.15-194.2

## СВОЙСТВА И СТРУКТУРА СТАЛИ 08Ю ДЛЯ ГРУЗОВОГО АВТОМОБИЛЕСТРОЕНИЯ

С.А. Пахомова<sup>1</sup>, Е.М. Симич-Лафицкая<sup>2</sup>

<sup>1</sup> кандидат технических наук, доцент, e-mail: [mgtu2013@yandex.ru](mailto:mgtu2013@yandex.ru)

<sup>2</sup> студент, e-mail: [vladisl-2013@yandex.ru](mailto:vladisl-2013@yandex.ru)

<sup>1, 2</sup> кафедра «Материаловедение», Московский Государственный Технический Университет им. Н. Э. Баумана, Россия

**Аннотация.** Цель работы - установление закономерностей влияния параметров рекристаллизационного отжига при различных содержаниях примесных элементов на механические свойства низкоуглеродистой стали 08Ю. Уточнение допустимых пределов содержания каждого элемента и обеспечение уровня свойств необходимо для уточнения требований к прокату для автомобильных сталей, применяемых для горной и карьерной техники.

Ключевые слова: низкоуглеродистая, рекристаллизационный отжиг, механические свойства, автомобильная сталь.

## PROPERTIES AND STRUCTURE OF STEEL 08Yu FOR THE TRUCK AUTOMOTIVE INDUSTRY

S.A. Pakhomova<sup>1</sup>, E. Simich-Laphitskaya<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Ph.D., assistant Professor, e-mail: [mgtu2013@yandex.ru](mailto:mgtu2013@yandex.ru)

<sup>2</sup> student, e-mail: [vladisl-2013@yandex.ru](mailto:vladisl-2013@yandex.ru)

<sup>1,2</sup> Bauman Moscow State Technical University, Materials Department, Russia

**Abstract.** The purpose of the paper is the establishment of laws of influence recrystallization annealing parameters for different contents of impurity elements on the mechanical properties of low carbon steel 08Yu. Refining margins content of each item and ensuring the necessary level of properties to clarify the requirements for rental for automotive steels for mining and quarry equipment.

*Keywords:* low carbon steel, recrystallization annealing, mechanical properties, automotive steels.

**Введение.** Холоднокатаная листовая сталь с пределом текучести до 200 МПа (тип "мягкой" стали) по-прежнему находит широкое применение для изготовления лицевых деталей кузова: крылья, панель капота, панель крыши багажника, передняя и задняя панель, панель пола, боковина; доля металла лицевых деталей по массе составляет примерно седьмую часть всего кузова автомобиля. Причина этого кроется в том, что замена "мягкой" стали на стали повышенной прочности (СПП) неизбежно повлечет за собой необходимость установки нового, более мощного прессового оборудования. Но модернизация цехов автомобилестроительных предприятий требует обычно огромных инвестиций, что не всегда возможно в условиях ограниченного рынка автомобилей, который может еще более сузиться из-за подорожания машин из СПП [1, 7].

За последние 20-30 лет, благодаря проведению целого ряда научных и технологических работ, удалось существенно повысить уровень показателей штампуемости холоднокатаного проката из стали 08Ю, освоить производство проката наиболее высоких категорий вытяжки с низким пределом текучести. В то же время, в первом десятилетии XXI века в отдельные периоды стали возникать проблемы, связанные с резким снижением показателей штампуемости отдельных партий проката, в частности, с получением более высоких значений предела текучести и более низких значений относительного удлинения, чем требуемые для стали высших категорий вытяжки [1, 5].

Наблюдаемые отклонения свойств могут быть связаны с коренными изменениями металлургических технологий. В результате, наблюдается снижение содержания азота и серы в стали, изменяются температурные и скоростные параметры горячей прокатки [2, 8]. Снижение содержания серы менее 0,010 % и азота мене 0,003 в стали 08Ю приводит к формированию частиц MnS и AlN неблагоприятной морфологии, а, следовательно, к измельчению зерна, вследствие чего снижаются показатели штампуемости стали. Однако, управление количеством и морфологией избыточных фаз, и соответствующая корректировка параметров технологии позволяет не только предупредить снижение комплекса свойств, но и обеспечить его существенное повышение.

**Цель работы** – установить закономерности влияния примесей (V, P, Al, N, Cr, Ni, Cu) на свойства стали 08Ю, а также на режимы ее термической обработки. Разработать технологические решения, позволяющие получать прокат, обеспечивающий улучшение показателей штампуемости стали с повышенным содержанием примесей

**Материалы и методика исследования.** Для проведения исследования влияния микролегирования ванадием и молибденом на микроструктуру стали 08Ю были отобраны карты холоднокатаного проката плавок конвертерного производства ОАО «Северсталь» с содержанием указанных элементов на нижнем и верхнем пределах диапазона их содержания в текущем прокате. Химический состав стали 08Ю по ГОСТ 9045 [3] приведен в таблице 1.

Таблица 1 - Химический состав стали марок 08Ю, 08пс по ГОСТ 9045-93

Марка стали	Массовая доля элементов, %					
	C	Mn	S	P	Si	Al
08Ю	≤0,07	≤0,35	≤0,025	≤0,020	≤0,03	0,02-0,07

Содержание элементов, не указанных в таблице (одинаковое для всех плавок): Nb ≤ 0,002; В = 0,0003; Са ≤ 0,0006; Pb < 0,001. Содержание микролегирующих элементов варьировалось в следующих пределах: 0,0015 < V > 0,0030; 0,022 <Cu > 0,066; 0,0013 < Ti > 0,0019.

Горячая прокатка слэбов на размер 3,5 мм осуществлялась на непрерывном широкополосном стане 2000. После охлаждения рулонов ниже 80 °С производили травление полос на НТА-3. Холодную прокатку осуществляли на 5-ти клетевом непрерывном стане бесконечной прокатки [6, 7, 9].

Исследование микроструктуры проводили на оптическом горизонтальном микроскопе *NEORHOT-21*. Для выявления микроструктуры шлифов использовали 4%-ный раствор азотной кислоты в этиловом спирте

(ниталь). Для определения величины зерна использовали метод определения величины зерна сравнением с эталонными шкалами, а также метод подсчета пересечений границ зерен отрезками прямых, согласно ГОСТ 5639. Метод состоит в подсчете зерен, пересеченных отрезком прямой, и определении среднего условного диаметра.

Подсчет пересечений зерен проводили на матовом стекле микроскопа или микрофотографиях, на которых проводили несколько отрезков произвольной длины (например, 100 мм при увеличении 100, что соответствует 1 мм на шлифе). Длину отрезков выбирали с таким расчетом, чтобы каждый из них пересекал не менее 10 зерен, при этом увеличение подбирают так, чтобы на исследуемой поверхности было не менее 50 зерен. Подсчитывали точки пересечений отрезков прямых линий с границами зерен. Зерна на концах прямой, не пересеченные ею целиком, принимают за одно зерно. Определяли суммарную длину отрезков  $L$ , выраженную в миллиметрах натуральной величины на шлифе, и суммарное число пересеченных зерен  $N$ .

Измерения проводили не менее чем в пяти характерных мест шлифа. При этом подсчет количества пересечений проводили на отрезках прямых, проведенных в каждом из пяти мест для указанных зон шлифа. Допускаемые расхождения результатов пяти определений при подсчете пересечений должны быть не более 50 %.

Средний условный диаметр зерна ( $dL$ ) в мм вычисляют по формуле:

$$dL = L / N, \quad (1)$$

где:  $L$  — суммарная длина отрезков, мм;  $N$  — общее число зерен, пересеченных отрезками длиной  $L$ .

Определение механических характеристик исследуемых сталей проводили при испытаниях на растяжение на универсальной электромеханической испытательной машине *INSTRON-1185* в полуавтоматическом режиме с тензомером продольной деформации (база тензометра 26 мм). Скорость растяжения составляла 20 мм/мин, а скорость деформирования  $\approx 10^{-3} \text{ с}^{-1}$ . Относительная погрешность измерений составляла 0,5 %. Испытания проводили в соответствии с рекомендациями ГОСТ 11701-84. Использовали образцы длиной 220 мм и шириной 20 мм. Испытывали не менее двух образцов на каждое направление вырезки относительно направления прокатки ( $0^\circ$  и  $90^\circ$ ).

**Экспериментальные результаты и их обсуждение.** Образцы размером 30x15 мм (для исследования микроструктуры) и 200x20 мм (для механических испытаний) подвергали термообработке по четырем режимам, представленным в таблице 2 и на рис. 1.

Имитировали режим колпакового отжига с варьированием температуры первой ступени: 350, 400, 450 и 500 °С и с одинаковой температурой второй ступени, равной 700 °С. Время лабораторной выдержки корректировали с учетом масштабного фактора. Режимы отжига отличаются временем нагрева до температуры выдержки при первой ступени, так как возможности печи не позволяют осуществить нагрев до разных температур выдержки за одинаковый промежуток времени. Время выдержки для всех режимов одинаково. Охлаждение проводили с печью. Для предотвращения окисления образцы были засыпаны корундом.

Таблица 2 - Параметры режимов термической обработки

Режим	$\tau_1$ нагр, мин	$T_{\text{нагр}}$ , °С	$\tau_1$ выд, мин	$T_{\text{выд}}$ , °С	$\tau_2$ нагр, мин	$T_{\text{нагр}}$ , °С	$\tau_2$ выд, мин	$T_{\text{выд}}$ , °С
1	30	350	30	350	60	700	60	700
2	35	400	30	400	60	700	60	700
3	40	450	30	450	60	700	60	700
4	45	500	30	500	60	700	60	700

Характеристики зерна: размер зерна по горизонтали  $d_g$  и вертикали  $d_v$ , вытянутость зерна  $d_g / d_v$  и размер среднего зерна представлены в таблице 3.

На рисунке 3 схематически показана зависимость среднего размера и вытянутости зерна феррита от температуры первой ступени отжига.

Анализ представленных результатов показывает, что наблюдается зависимость температуры рекристаллизации от чистоты металла по примесям и степени обжатия при холодной прокатке.

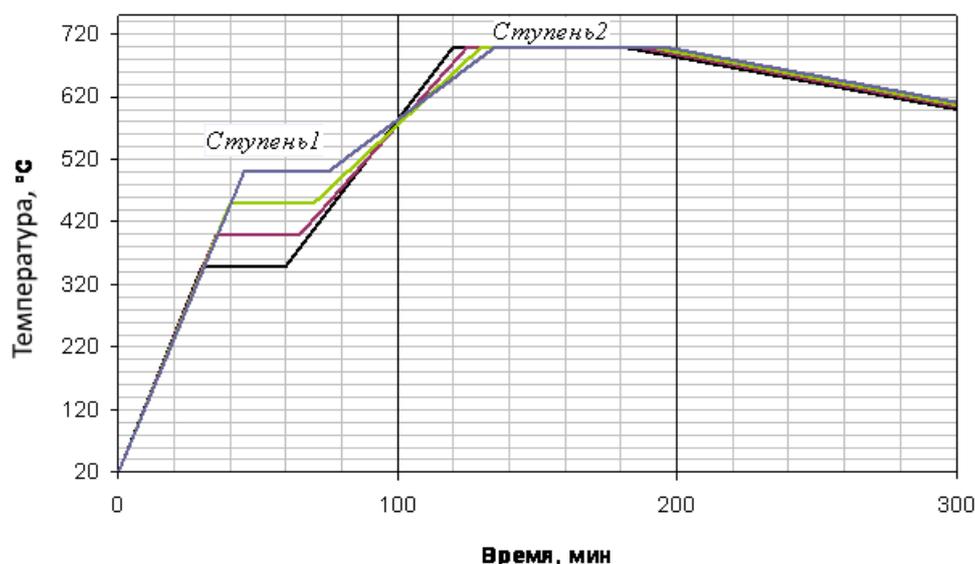


Рис. 1. – Схема термической обработки образцов

На рисунке 2 представлена микроструктура образцов после отжига, проведенного по первому режиму.

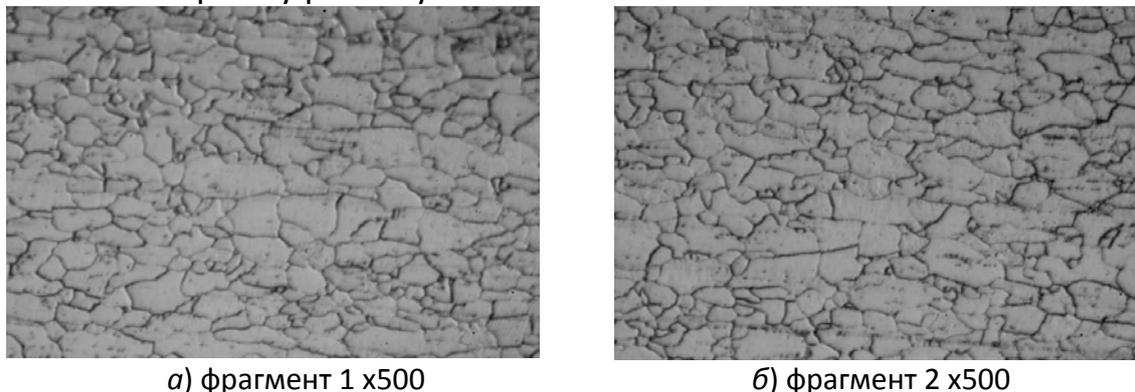


Рис. 2. – Микроструктура образца № 11 после отжига по режиму 1

Так, после обработки по режиму 3, который характеризуется высокой степенью обжатия при холодной прокатке, равной 79 %, а также низким содержанием примесей ( $V = 0,0015$  %,  $P = 0,011$  %,  $\Sigma Cr+Ni+Cu = 0,08$  %), рекристаллизация осуществляется уже при температуре 350 °С. Об этом свидетельствует максимальное для этой плавки значение среднего размера зерна феррита, полученное при температуре первой ступени 350 °С.

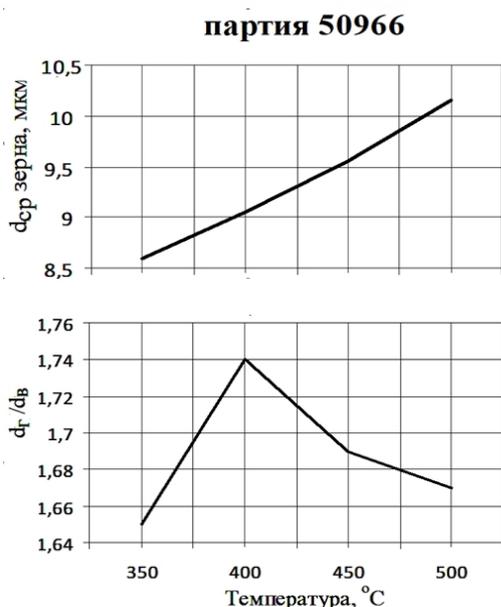
Таблица 3 - Зерно после термической обработки

№ образца	$d_f$ , мкм	$d_b$ , мкм	$d_f / d_b$	$d_{cp}$ , мкм
режим 1				
11	10,7	6,5	1,65	8,6
12	9,8	6,4	1,53	8,1
13	13,9	7,8	1,78	10,9
14	13,1	7,6	1,72	10,4
режим 2				
21	11,5	6,6	1,74	9,05
22	10,3	6,8	1,51	8,55
23	11,9	7,4	1,61	9,65
24	12,0	8,1	1,48	10,05
режим 3				
31	12,0	7,1	1,69	9,55
32	11,0	7,1	1,54	9,05
33	12,0	7,3	1,64	9,65
34	13,4	8,1	1,65	10,75
режим 4				
41	12,7	7,6	1,67	10,15
42	12,8	7,4	1,73	10,1
43	12,5	7,6	1,64	10,05
44	13,3	8,2	1,62	10,75

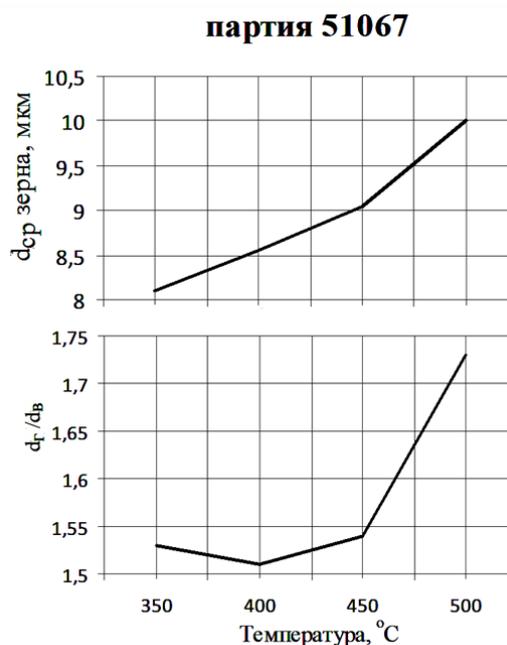
Температура рекристаллизации для режима 1 с более низкой степенью обжатия (75 %), но с содержанием примесей наименьшим из всех исследуемых плавок ( $V = 0,0015\%$ ,  $P = 0,009\%$ ,  $\sum Cr+Ni+Cu = 0,05\%$ ), составляет около  $400\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Дальнейшее повышение температуры первой ступени, хотя и приводит к некоторому увеличению среднего размера зерна, но при этом снижает его вытянутость, что несколько уменьшает штампуемость деталей.

Режимы 2 и 4 характеризуются наиболее высоким содержанием примесей (соответственно  $V = 0,005$  и  $0,003\%$ ,  $P = 0,015$  и  $0,012\%$ ,  $N = 0,004\%$  в обоих вариантах,  $\sum Cr+Ni+Cu = 0,13$  и  $14\%$ ). Степень деформации при холодной прокатке для этих режимов составила соответственно 75 и 77 %, а начало процессов рекристаллизации сместилось в область более высоких температур. Оптимальные температуры первой ступени для указанных вариантов составляют соответственно 500 и  $450\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Следует отметить, что сталь, обработанная по режиму 2, отличается повышенным содержанием цинка. Возможно, это является одной из причин наиболее высокого оптимального значения температуры первой ступени –  $500\text{ }^{\circ}\text{C}$  (при этом растет и средний размер ферритного зерна) [4, 5, 10-12].

Таким образом, видно, что с уменьшением степени деформации при холодной прокатке и увеличением содержания примесей в стали температура рекристаллизации повышается. При этом получение более благоприятной структуры обеспечивается при повышении температуры первой ступени.



а) режим 1



б) режим 2

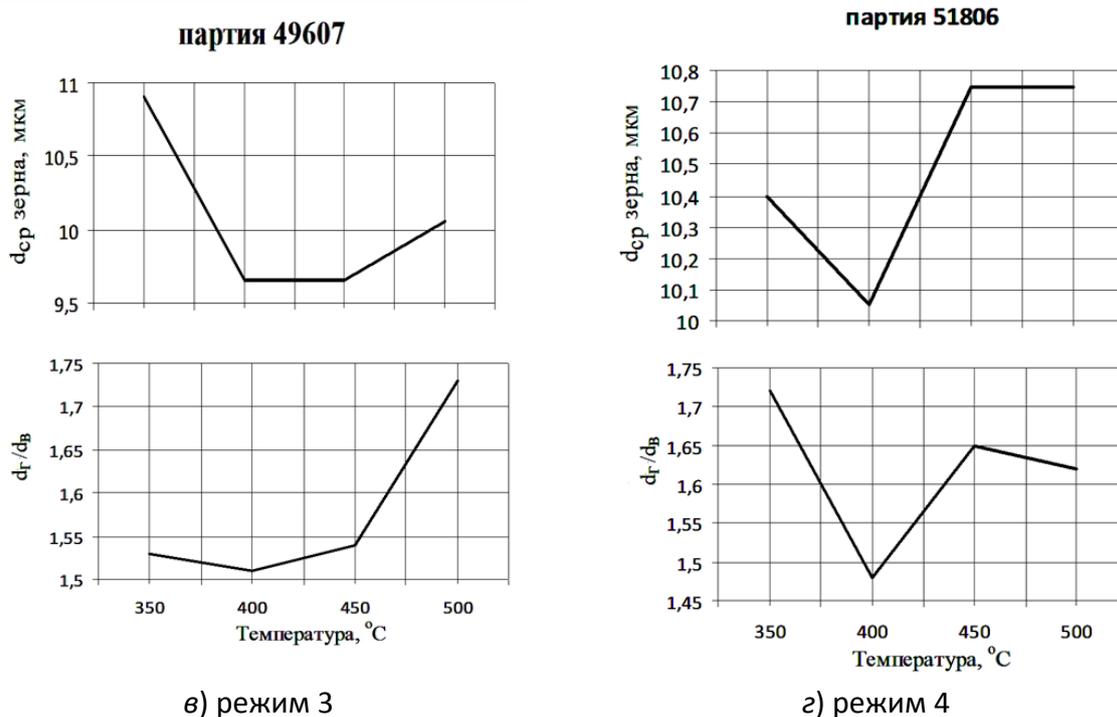


Рис. 3. – Зависимость среднего размера  $d_{cp}$  и вытянутости зерна  $d_r / d_b$  феррита от температуры первой ступени отжига: а - г – режимы отжига 1 – 4

В таблице 4 представлены результаты механических испытаний разрывных образцов после термической обработки, имитирующей колпаковый отжиг при двух температурах первой ступени: 400 и 500 °С.

Таблица 4 - Результаты механических испытаний

№ образца	$t$ , °С первой/второй ступени	$n_{10-17}$	$\sigma_{0,2}$	$\sigma_B$	$\delta_4$ , %	$R$
21	400/700	0,210	234	320	35,8	1,358
22		0,213	231	314	35,4	1,368
23		0,206	236	326	37,5	1,289
24		0,220	233	321	41,3	1,454
41	500/700	0,202	230	320	33,8	1,419
42		0,205	231	323	35,8	1,397
43		0,218	217	312	40	1,589
44		0,224	211	310	42,6	1,590

Видно, что для стали, чистой по примесям (режим 2), с повышением температуры ступени значения предела текучести и относительного удлинения либо не меняются, либо несколько снижаются. Для режима 4 с повышенным содержанием примесей увеличение температуры первой

ступени приводит к улучшению свойств (снижению предела текучести и возрастанию относительного удлинения).

**Выводы.** 1). С учетом масштабного фактора, результаты эксперимента по лабораторному моделированию подтверждают целесообразность использования для сталей с повышенным содержанием примесей более высокие температуры первой ступени при отжиге.

2). Для стали 08Ю с повышенным содержанием примесей увеличение температуры первой ступени отжига приводит к улучшению свойств: снижению предела текучести и возрастанию относительного удлинения.

3). С уменьшением степени деформации при холодной прокатке и увеличением содержания примесей в стали 08Ю температура рекристаллизации повышается. При этом получение более благоприятной структуры обеспечивается при повышении температуры первой ступени отжига.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Беняковский М.А., Масленников В.А. Автомобильная сталь и тонкий лист. - Издательский дом «Череповец», 2007. - 636 с.
2. Шахпазов Е.Х., Зайцев А.И., Родионова И.Г. Современные тенденции развития металлургической технологии и аспекты повышения свойств и надежности металлопродукции. Проблема неметаллических включений в стали // Проблемы черной металлургии и материаловедения. 2009. № 3. С. 11-20.
3. ГОСТ 9045-93. Прокат тонколистовой холоднокатаный из низкоуглеродистой качественной стали для холодной штамповки. М.: ИПК Издательство стандартов, 2003.
4. Pakhomova S.A., Ryzhov N.M. Change of structure and properties of iron-nickel alloys in shot-impact hardening // Metal Science and Heat Treatment. 1990. Т. 32. № 5-6. С. 422-426.
5. Ускова Е.А., Ключев М.П., Казаков С.В. Современное состояние и тенденции развития производства сталей для автомобилестроения в РФ и за рубежом // Тр. VIII Конгресса сталеплавильщиков. М., 2005 г.
6. Гресс М.А., Пахомова С.А., Симич-Лафицкая Е.М. Исследование влияния рекристаллизационного отжига в колпаковых печах на свойства и структуру стали марки 08Ю с различным содержанием микролегирующих элементов // В сборнике: Прогрессивные технологии и процессы. Сборник научных статей 2-й международной молодежной научно-практической конференции: в 3-х томах. – Курск: изд-во «Университетская книга». Т. 1. 2015. - С. 256-257.
7. Тарасенко Л.В., Пахомова С.А., Унчикова М.В. Материаловедение. - М.: Инфра-М, 2013. 267 с.
8. Быков Ю.А., Пахомова С.А., Помельникова А.С. Методика выбора материала и технологии термической обработки деталей машиностроения // Заготовительные производства в машиностроении. 2015. № 8. С. 43-47.
9. Пахомова С.А. Особенности преподавания курса «Инженерия поверхности» студентам по направлению «материаловедение и технологии материалов» // Инженерный вестник. 2015. № 9. С. 19.

10. Пахомова С.А., Рыжов Н.М. Изменение структуры и свойств мартенсита железо-никелевых сплавов дробеударном упрочнении / *Металловедение и термическая обработка металлов*. 1990. № 11. С. 23.

11. Pakhomova S.A., Ryzhov N.M., Vasil'ev V.R. The variation of martensite substructure of iron nickel alloys under heat shot peening treatment // *Металловедение и термическая обработка металлов*. 2001. № 11. С. 29.

12. Pakhomova S.A., Ryzhov N.M., Vasil'ev V.R. Changes in the structure of martensite of iron-nickel alloys under the action of thermal shotblast treatment // *Metal Science and Heat Treatment*. 2001. Т. 43. № 11-12. С. 438-439.

УДК 629.42

## ВЛИЯНИЕ КАЧЕСТВА НАСТРОЙКИ ФАСОННЫХ ФРЕЗ ДЛЯ СТАНКА КЖ-20 НА КАЧЕСТВО ОБРАБОТАННОЙ ПОВЕРХНОСТИ КАТАНИЯ КОЛЕСНЫХ ПАР МАШИН РЕЛЬСОВОГО ТРАНСПОРТА

Л.К. Похилько<sup>1</sup>, В.Н. Рубан<sup>2</sup>

<sup>1</sup>кандидат технических наук, доцент кафедры прикладной механики, Национальная металлургическая академия Украины (НМетАУ), г. Днепропетровск, Украина, e-mail: [kaf.prikmeh@metal.nmetau.edu.ua](mailto:kaf.prikmeh@metal.nmetau.edu.ua)

<sup>2</sup>старший преподаватель кафедры прикладной механики, Национальная металлургическая академия Украины (НМетАУ), г. Днепропетровск, Украина, e-mail: [kaf.prikmeh@metal.nmetau.edu.ua](mailto:kaf.prikmeh@metal.nmetau.edu.ua)

**Аннотация.** Выполнен анализ шероховатости поверхности катания колесных пар рельсового транспорта после восстановительного ремонта на колесофрезерных станках КЖ-20 комплектом фасонных фрез с профилем ДМетИ, имеющими 130 и 182 чашечных резцов.

*Ключевые слова:* колесофрезерный станок КЖ-20, фасонная фреза, поверхность катания колесных пар.

## INFLUENCE OF QUALITY OF TUNING OF THE SHAPED MILLING CUTTERS FOR MACHINE-TOOL OF KG-20 ON QUALITY OF A TREATED SURFACE OF ROLLING OF PAIRS WHEELS OF MACHINES OF RAILWAY TRANSPORT

Leina Pokhilko<sup>1</sup>, Vladislav Ruban<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Ph.D., Associate professor, department of applied mechanics, National Metallurgical Academy of Ukraine (NMetAU), Dnepro, Ukraine, e-mail: [kaf.prikmeh@metal.nmetau.edu.ua](mailto:kaf.prikmeh@metal.nmetau.edu.ua)

<sup>2</sup> senior lecturer, department of applied mechanics, National Metallurgical Academy of Ukraine (NMetAU), Dnepro, Ukraine, e-mail: [kaf.prikmeh@metal.nmetau.edu.ua](mailto:kaf.prikmeh@metal.nmetau.edu.ua)

**Abstract.** It is analyzed of roughness of a surface of rolling of pairs of wheels of railway transport after regenerative repair on machine tools KG-20 by the set of shaped milling cutters with shape of DMetI with 130 and 182 a cutters.