

Скобло Т.С.

Автухов А.К.

Сидашенко А.И.

Цыганкова И.В.

Харьковский национальный технический  
университет сельского хозяйства имени Петра  
Василенка  
г. Харьков, Украина

## ХАРАКТЕР И ОСОБЕННОСТИ РАЗРУШЕНИЙ ОПОРНЫХ ВАЛКОВ СТАНА 2300/1700

УДК 621.746.55:621.771.07

*Скобло Т.С., Автухов А.К., Сидашенко А.И., Цыганкова И.В. «Характер і особливості руйнувань опорних валків стану 2300/1700»*

Надано аналіз експлуатаційної стійкості робочих опорних валків листових ширококутових станів гарячої прокатки. Показано, що за своїм функціональним призначенням - роботі в умовах зносу, задовольняє 61% опорних валків. Відмови валків по викрошкам, відшаруванням, сколам торців і руйнуванню бочки призводять до аварійних відмов, що викликає зниження продуктивності станів. Відзначено, що визначення закономірностей і механізму руйнувань опорних валків дозволить в залежності від вихідного профілювання розробити рекомендації, які сприятимуть збільшенню їх напрацювання і продуктивності листопркатних станів. Механізм зносу і руйнування робочої поверхні опорних валків визначали за стандартною методикою з допомогою пластикових реплік і використанням електронної фрактографії. Дослідження проводили на опорних валках кліті «кварто» з різною твердістю робочої поверхні, які використовували в комплекті з робочими валками, що мають увігнуте і циліндричне профілювання робочої поверхні. Дослідження проведені на найбільш характерних валках з розглянутої сукупності за ступенем пошкоджуваності. В результаті виконаних досліджень встановлено, що робоча поверхня опорних валків в процесі експлуатації зношується нерівномірно. Істотний вплив на характер руйнування поверхневого шару опорних валків надає профілювання робочих валків, з якими вони працюють в кліті. Встановлено закономірності формування мікрорельєфу і фактори, що впливають на пошкоджуваність поверхневого шару в залежності від розподілу контактних тисків по довжині бочки сталевих опорних валків. Представлені результати електроннофрактографічних досліджень робочих поверхонь залежно від характеру профілювання валків. Виконані дослідження показують, що шляхом зміни знака і радіуса кривизни профілю бочки валків є можливість зменшувати їх знос і збільшувати ресурс при експлуатації.

**Ключові слова:** прокатні валки, профілювання поверхні, електроннофрактографічні дослідження, робоча поверхня, характер пошкоджуваності.

*Скобло Т.С., Автухов А.К., Сидашенко А.И., Цыганкова И.В. «Характер и особенности разрушений опорных валков стана 2300/1700»*

Дан анализ эксплуатационной стойкости рабочих опорных валков листовых широкополосных станов горячей прокатки. Показано, что по своему функциональному назначению – работе в условиях износа, удовлетворяет 61% опорных валков. Нарушение работоспособности валков по викрошкам, отслоениям, сколам торцов и разрушению бочки приводят к аварийным отказам, что вызывает снижение производительности станов. Отмечено, что определение закономерностей и механизма разрушения опорных валков позволит в зависимости от исходной профилировки разработать рекомендации, способствующие увеличению их наработки и производительности листопркатных станов. Механизм износа и разрушения рабочей поверхности опорных валков определяли по стандартной методике с помощью пластиковых реплик и использованием электронной фрактографии. Исследования проводили на опорных валках клетки «кварто» с различной твердостью рабочей поверхности, которые использовали в комплекте с рабочими валками, имеющими вогнутую и цилиндрическую профилировку рабочей поверхности. Исследования проведены на наиболее характерных валках из рассмотренной совокупности по степени повреждаемости. В результате выполненных исследований установлено, что рабочая поверхность опорных валков в процессе эксплуатации изнашивается не равномерно. Существенное влияние на характер разрушения поверхностного слоя опорных валков оказывает профилировка рабочих валков, с которыми они работают в клетке. Установлены закономерности формирования микрорельефа и факторы, влияющие на повреждаемость поверхностного слоя в зависимости от распределения контактных давлений по длине бочки стальных опорных валков. Представлены результаты электроннофрактографических исследований рабочих поверхностей в зависимости от характера профилировки валков. Выполненные исследования показывают, что путем изменения знака и радиуса

кривизны профиля бочки валков имеется возможность уменьшать их износ и увеличивать ресурс при эксплуатации.

**Ключевые слова:** прокатные валки, профилировка поверхности, электроннофрактографические исследования, рабочая поверхность, характер повреждаемости.

**Skoblo, TS, Avtukhov, A.K., Sidashenko, A.I., Tsygankova, I.V. "The nature and destruction characteristics of the back-up rolls of the mill 2300/1700"**

An analysis of the operational durability of the working back-up rolls of sheet hot-strip mill was given. It was shown that their function - in the runout conditions, satisfies 61% back-up rolls. The failures of the rolls on the chips, delaminations, chipped ends and the destruction of the barrel lead to crashes which causes a decrease in the performance of the mills. It was noted that the definition of patterns and the mechanism of the destruction of the back-up rolls will allow, depending on the initial profiling, to develop recommendations that will increase their production and productivity of the rolling mills. The mechanism of runout and destruction of the working surface of the back-up rolls was determined by the standard method using plastic replicas and electronic fractography. The research was carried out on the back-up rolls of the quarto cage with different hardness of the working surface, which were used in combination with work rolls with concave and cylindrical profiling of the working surface. The temperature of the rolled metal was in the range of  $1050 \pm 50$  °C, the rolling speed was 2.0-3.0 m / s, the maximum rolling force was 18.46 mN. Studies were carried out on the most characteristic rolls of the considered totality according to the degree of damage. As a result of the research performed, it was found that the working surface of the back-up rolls wears out unevenly during operation. Significant impact on the character of destruction of the surface layer of the back-up rollers exerts profiling working rolls with which they operate in the stand. Regularities of microrelief formation and factors affecting the damageability of the surface layer depending on the distribution of contact pressures along the length of the barrel of steel back-up rolls have been established. The results of electron-diffraction studies of working surfaces were presented depending on the nature of roll profiling. In the middle of the back-up rolls, which worked complete with workers with concave barrel profiling, traces of oxidative and abrasive wear in the mechanochemical form were revealed. In the same zones of the rolls, in an insignificant amount, the detachment of secondary protective structures of the oxide type takes place with exposure of the subsurface carbide phases. On the section of the working surface near the edge of the barrel, the mechanochemical form of abrasive wear prevails. This indicates that the contact pressure along the length of the roll barrel increases from the middle to its edge, i.e. the middle is underloaded, the edge is overloaded. Studies have shown that by changing the sign and the radius of curvature of the profile of the roll barrel, it is possible to reduce their wear and increase the service life.

**Keywords:** rolls, surface profiling, electron-diffraction studies, working surface, damage pattern.

### **Актуальность проблемы.**

Основной задачей металлургической промышленности является повышение эффективности и улучшение качества выпускаемой продукции. В прокатном производстве это связано с расширением сортамента металлопроката, сокращением расхода металла формующего инструмента и улучшением его качества.

Валки прокатных станов являются основным технологическим инструментом производства. В процессе прокатки валки деформируют металл, придавая ему требуемую форму и размеры, при этом они воспринимают давление и передают его на подшипники и нажимные механизмы рабочих клетей. На конструкцию, размеры и свойства валков влияют форма прокатываемого профиля и марочный состав стали, из которых изготавливают эти профили. Более износостойкие валки обеспечивают прокатку профилей повышенной жесткости и лучшего качества. От срока службы валков зависят производительность и технико-экономические показатели работы станов. Повышение износостойкости и прочности валков позволяет более эффективно использовать время работы стана за счет сокращения времени, идущего на его настройку, снижение простоев, а также уменьшить их расход на тонну годного проката.

**Анализ публикаций.** Анализ эксплуатационной надежности рабочих и опорных валков листовых широкополосных станов горячей прокатки показал, что по своему функциональному назначению – работе в условиях износа, удовлетворяет 52% рабочих и 61% опорных валков. Отказы валков по другим причинам: выкрошкам, отслоениям, сколам торцов и разрушению бочки приводят к аварийным отказам, что вызывает

снижение производительности станов [1].

К основным факторам, влияющим на поперечный профиль и форму полосы в клетях «кварто», относятся упругий прогиб опорного валка, собственный прогиб рабочего валка и неравномерный их износ по длине бочки. Для компенсации влияния этих факторов выполняют станочную профилировку образующих бочек валков (выпуклая, цилиндрическая, вогнутая).

На рис. 1 показаны различные профилировки опорных (а) и рабочих (б) валков.

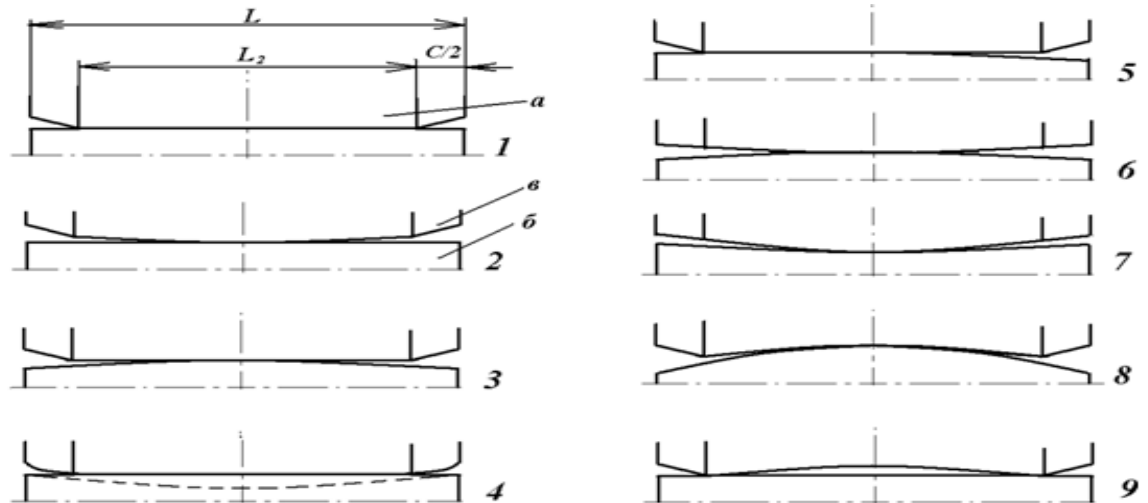


Рис.1. Виды профилировок (форм образующих) валков. а - опорный валок; б - рабочий валок; в - скос (врез)

Варианты 1-7 относятся к типам исходных профилировок опорных и рабочих валков, а варианты 8, 9 характеризуют условия контактирования в случае использования изношенных на вогнутость опорных валков и новых – рабочих. В ряде случаев опорные валки при эксплуатации получают выработку в форме выпуклости и этим условиям соответствуют формы образующих по вариантам 2,6,7. Цилиндрические рабочие валки под воздействием полосы получают всегда максимальную выработку в середине длины бочки, а на выпуклых валках уменьшается величина выпуклости [2].

Исследованиями [2] установлено, что тип исходной профилировки валков клетки кварто во многом обуславливает распределение давлений и форму их неравномерного износа. В выполненных ранее научных исследованиях большое внимание уделяется анализу причин выхода из строя прокатных валков и методам их неразрушающего контроля [3], разработкам последовательности изменения напряжений в опасных зонах валков [4] и изучению уровня внутренних напряжений [5]. Характер и особенности разрушений опорных валков изучены недостаточно.

Определение закономерностей и механизма разрушения опорных валков позволит в зависимости от исходной профилировки разработать рекомендации, способствующие увеличению их наработки и производительности листопркатных станов.

**Цель исследований.**

Целью работы явилось определение закономерностей и механизма разрушений опорных валков стана 2300/1700 в процессе эксплуатации.

**Методология исследований.**

На станах 2300/1700 применяют опорные валки, производства НКМЗ изготовленные из кованой стали марки 9ХФ. Характеристика валков стана 2300/1700 и режимы их нагрузки представлены в табл. 1.

Механизм износа и разрушения рабочей поверхности опорных валков определяли по стандартной методике с помощью пластиковых реплик и использованием электронной фрактографии [6].

Пробы изучали с поверхности бочки опорного валка, которые отбирали на участках по ее длине на расстоянии 100 мм от края и в центре валка. При этом, с каждого исследуемого участка снимали по три отпечатка, расположенных по окружности под углом 120°. Материал отпечатка – пластиковая пленка размером 20x25мм.

Таблица 1

**Условия, характеризующие режимы эксплуатации валков стана 2300/1700**

№ п/п	Клетки	Размеры валков, мм		Условия эксплуатации валков			
		Диаметр бочки рабочих, опорных мм	Длина бочки рабочих, опорных мм	Температура прокатываемого материала, °С	Скорость прокатки м/с	Максимальное усилие прокатки, мН	Максимальный момент прокатки и мН.м/т
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Черновой вертикальный окалино-ломатель нереверсивный двухвалковый	900- 1000	700	1360-1110	1,0 - 1,4	2,9 (300т)	2,90
2	Уширительная клеть дуо, нереверсивная	980- 1100	2300	1320-1100	1,0-1,4	26,4 (2700т)	29,04
3	Универсальная, дуо	550-600	250	1280- 800	1,5-2,5	23,4 (2400т)	14,04
4	Горизонтальная, кварто Чистовая непрерывная группа 1700	<u>700-750</u> 1300-1400	<u>2300</u> 2300	100-90	1,5-5,1		

Продолжение таблицы 1

5	Чистовой окалиноломатель, дуо, нереверсивный	570-600	1700	1150-800	1,0-1,3	29,4 (3000т)	17,64
6	Кварто	<u>700-650</u> 1400-1300	<u>1700</u> 1700	1050±50	1,0-2,0	20,0	14,0
7	Кварто	<u>700-650</u> 1400-1300	<u>1700</u>		2,0-3,0	18,46	12,9
8	Кварто	<u>700-650</u> 1400-1300	<u>1700</u> 1700		3,0-4,0	11,42	8,0
9	Кварто	<u>700-650</u> 1400-1300	<u>1700</u> 1700		4,0-5,7	7,1	5,0
10	Кварто	<u>700-650</u> 1400-1300	<u>1700</u> 1700		5,7-8,0	5,7	4,0
11	Кварто	<u>700-650</u> 1400-1300	<u>1700</u> 1700	950±50	8,0-10,0	4,3	3,0

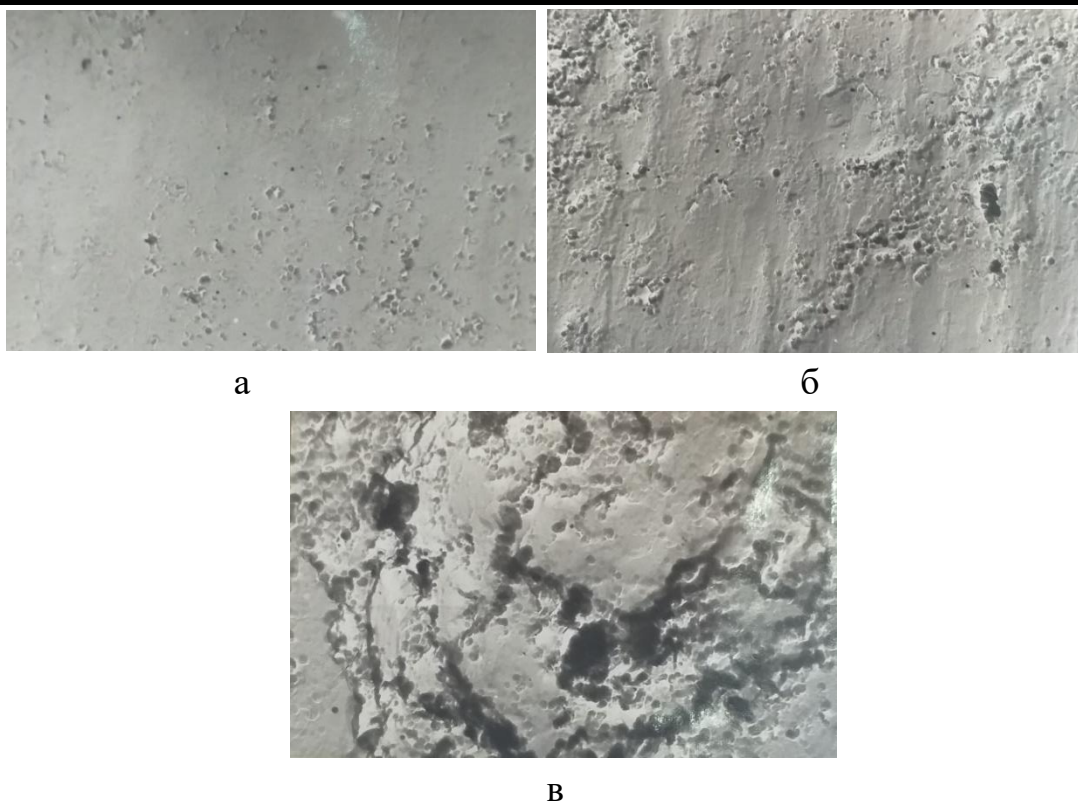
Исследования реплик осуществляли с использованием микроскопа ВF-613 фирмы «Тесла». По эталонам видов износа и особенностям разрушения устанавливали доминирующий износ на каждом из исследуемых участков поверхности, а также – причину разрушения поверхностного рабочего слоя бочки опорного вала.

Электроннофрактографические исследования микрофотографии рабочей поверхности опорных валков, выполненные в соответствии с описанной выше методикой, позволили установить общие закономерности формирования микрорельефа в зависимости от распределения контактных давлений по длине бочки вала.

Исследования проводили на опорных валках клетки «кварто» с различной твердостью рабочей поверхности, которые использовали в комплекте с рабочими валками, имеющими вогнутую и цилиндрическую профилировку рабочей поверхности. Температура прокатываемого металла находилась в пределах 1050±50 °С, скорость прокатки составляла 2,0-3,0 м/с, максимальное усилие прокатки 18,46 мН.

Исследования проведены на наиболее характерных валках из рассмотренной совокупности по степени повреждаемости. Опорные валки с условным номером №1 устанавливали в паре с рабочими валками, имеющими вогнутую профилировку рабочей поверхности (вариант 4, рис.1), Валки с условным номером №2 комплектовали с рабочими, имеющими цилиндрическую профилировку (вариант 5, рис.1).

**Результаты исследований.** В результате выполненных исследований было установлено, что на середине вала № 1 имеются признаки окислительного (до 70% поверхности) износа (рис. 2,а) и абразивного в механохимической форме (рис. 2,б) (до 5%). В незначительном количестве имеет место отслоение вторичных структур оксидного типа (рис. 2,в) с обнажением подповерхностных карбидных фаз.

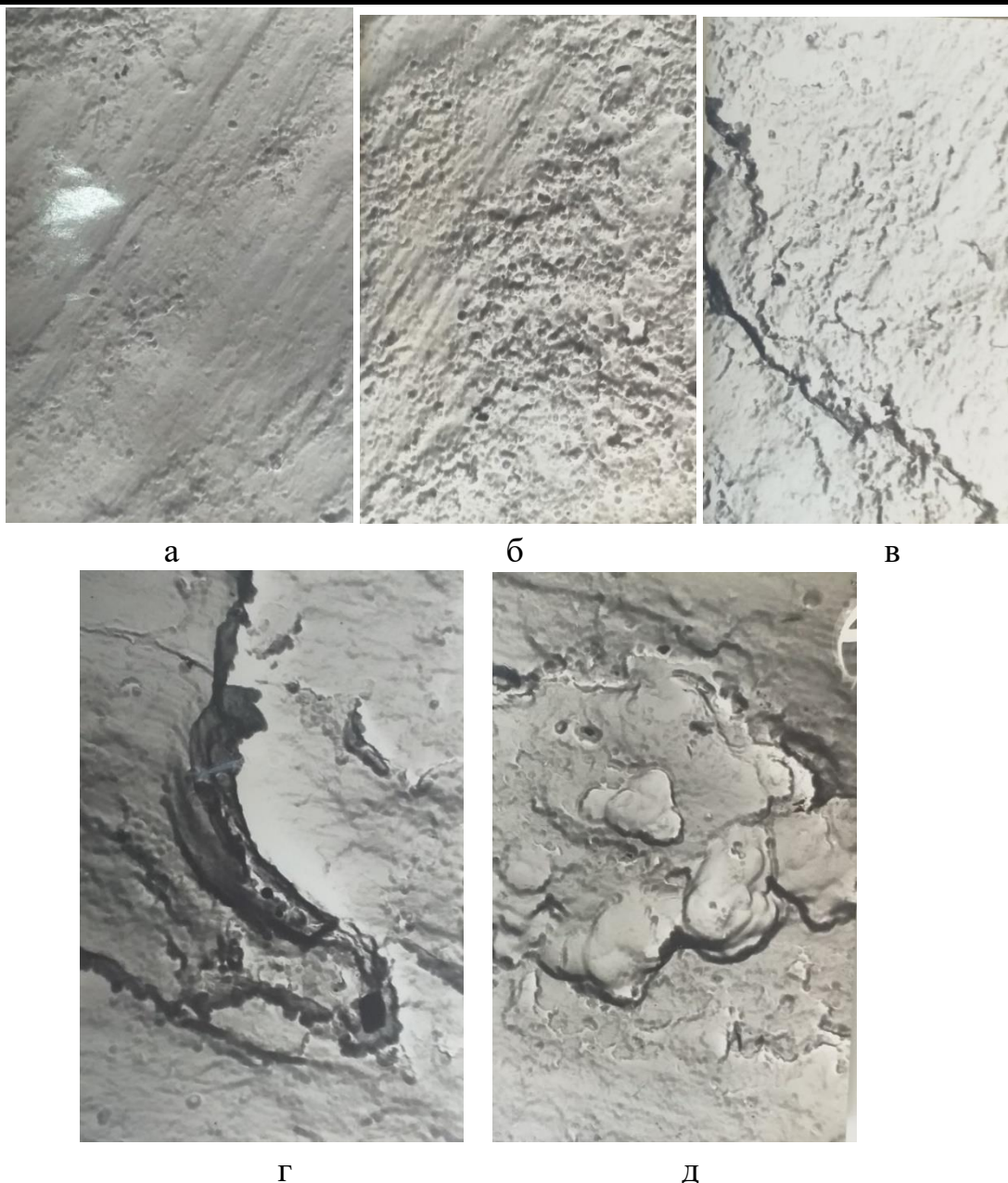


**Рис.2. Анализ рабочей поверхности середины вала №1, ×4700**

На участке рабочей поверхности возле края бочки рельеф более развит, большую часть поверхности (до 80%) занимает механохимическая форма абразивного износа (рис. 3 а).

В ряде случаев такая форма абразивного износа завершалась формированием дисперсных карбидов трения (рис. 3,б). На поверхности бочки имеется значительное количество микротрещин, в том числе, фрикционной усталости (рис. 3,в). Интенсивность развития рельефа возрастает к краю опорного вала. В этих зонах происходит смятие металла с трещинообразованием (рис. 3,г), а также наплывами металла валков со схватыванием (рис. 3,д).

Если сопоставить особенности микротопографии и условия работы в очаге трения, при которых они реализуются, то можно сделать вывод, что контактные давления по длине бочки валков возрастают от середины к ее краю, т.е. середина недогружена, край – перегружен.



**Рис.3. Анализ рабочей поверхности на расстоянии 100мм от края бочки вала №1, ×4700**

Анализ опорных валков, которые работали в комплекте с – рабочими, имеющими цилиндрическую профилировку рабочей поверхности и имели твердость 45HS показал, что на середине имеются следы усталостного разрушения вторичных структур (рис. 4, а). Рельеф у края вала такой же, как и на средней части поверхности бочки вала (рис. 4 б). Редко встречаются участки с выкрашиванием (рис. 4,в).

Характерным для опорного вала № 2 является то, что он был установлен в комплекте с – рабочим, имеющим цилиндрическую профилировку. Поэтому следы усталостного разрушения вторичных структур (рис. 4,а) на середине сформированы и закреплены на опорном валке в период контакта с – рабочим. В дальнейшем же в результате износа рабочих валков в процессе деформации раската контакт опорного вала с рабочим имел место только у их края.





4. С.В. Белодеденко, В.М. Горяной, И.Бух, А.В. Яцуба. Прогнозирование работоспособности листопркатных валков. *Проблемы машиностроения*. 2014. №5. С.89-95.
5. В.Л. Бусов, Д.Ю. Михиенко. О механизме разрушения прокатного вала. Теоретическая модель. *Физическая мезомеханика*. 2015 №2. с.72-78
6. Фрактографии и атлас фрактограм: Справочное издание. Пер. с англ./Под. ред. Дис. Феллоуза – Москва: Металлургия, 1982. 489с.

### **References**

1. Proizvodstvo i primeneniye prokatnykh valkov: spravochnik / Т. S. Skoblo i dr. Red. Т. S. Skoblo. Khar'kov, 2013. TSD № 1. 572 s.
2. Nikolayev V. A. Profilirovaniye i iznosostoykost' listovykh stanov. Kiyev: Tekhnika, 1992. 160 s.
3. Vafin R.K., Pokrovskiy A. M., Leshkovtsev V. G. Prochnost' termoobrabotannykh prokatnykh valkov. Moskva: MGTU im. N.E. Baumana.2004. 264s.
4. S.V. Belodedenko, V.M. Goryanoy, I.Bukh, A.V. Yatsuba. Prognozirovaniye rabotosposobnosti listoprokatnykh valkov. Problemy mashinostroyeniya. 2014. №5. S.89-95.
5. V.L. Busov, D.YU. Mikhiyenko. O mekhanizme razrusheniya prokatnogo valka. Teoreticheskaya model'. Fizicheskaya mezomekhanika. 2015. №2 s.72-78
6. Fraktografii i atlas fraktogram: Spravochnoye izdaniye. Per. s angl./Pod. red. Dis. Fellouza – Moskva: Metallurgiya, 1982. 489s.