

УДК 621.967.3

к.т.н. Уляницкий В. Н.,
к.т.н. Петров П. А.,
Орлов А. А.
(ДонГТУ, г. Алчевск, ЛНР)

ВЛИЯНИЕ СОСТОЯНИЯ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА НОЖНИЦ НА СИЛОВЫЕ ПАРАМЕТРЫ И КАЧЕСТВО РЕЗА ПРОКАТА

Выполнен анализ результатов производственного и лабораторного исследования износостойкости режущего инструмента ножниц прокатных цехов при обработке обычных и высокопрочных марок сталей. Показан характер износа кромки ножа и его влияние на качественные показатели порезки. Определён наиболее достоверный для обслуживающего персонала показатель необходимости замены изношенных ножей.

Ключевые слова: материал ножей, свойства ножей, режущая кромка, стадии и характер износа, относительный износ, настройка ножниц.

В процессе порезки толстолистного проката режущий инструмент ножниц испытывает значительные статические, динамические и тепловые нагрузки. Тяжёлые условия эксплуатации предъявляют определённые требования к материалу ножей: высокая прочность и вязкость, сохраняющиеся при нагреве; ножи не должны изменять форму режущей части и разрушаться под действием значительных ударных воздействий и локальных нагревов, сохранять полученную твёрдость и высокое сопротивление изнашиванию; недопустим чрезмерный разогрев рабочей поверхности; должен быть обеспечен ускоренный отвод тепла, перетекающего к режущим элементам от горячего металла; высокое сопротивление термической усталости, обусловленное многократными краткосрочными нагревами и охлаждениями рабочей поверхности ножа [1].

Многолетний опыт эксплуатации ножниц прокатного производства свидетельствует о неизбежности потери режущим инструментом заложенных в нём материалом и технологией изготовления вышеперечисленных требуемых свойств [2].

Основными причинами прекращения эксплуатации ножей являются: износ (затупление) режущей кромки; смятие рабочих участков зачастую у нового ножа; образование трещин, приводящих в итоге к локальному

выкрошиванию материала ножа; налипание (наволакивание) разрезаемого металла на рабочие грани режущего инструмента.

Исследования свидетельствуют о приоритетности влияния на изменение силовых нагрузок и качество реза износных показателей режущей кромки ножа. Рассмотрим эти свойства на примере плоского ножа для порезки толстолистного проката. При изготовлении ножей плоской формы, в том числе и дисковых, выполняют прямоугольную заточку (шлифовку) рабочей поверхности (рис. 1, а).

Имеются рекомендации угол заострения выполнить не 90° , а меньше ($89 \div 88,5^\circ$), что, по мнению авторов [3], уменьшит трение ножа о поверхность металла и снизит износ кромки. Однако подобная конструкция ножа ускоряет процесс затупления кромки и требует дополнительной настройки ножниц (регулировки зазоров между ножами).

Новые ножи обеспечивают хорошее качество реза: поверхность раздела ровная, перпендикулярная плоскости листа, без рванин и заусенцев.

В процессе работы ножниц, вследствие изменения условий резки (смена сортамента листов, температурного их состояния), режущая кромка затупляется (изнашивается), образуя криволинейный контур режущей части радиусом r (рис. 1, б).

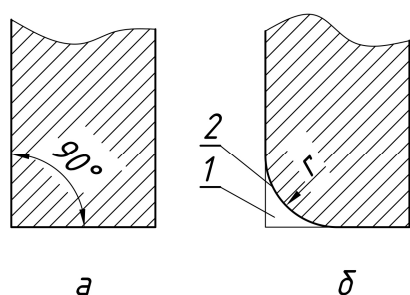


Рисунок 1 Профиль рабочей поверхности плоского ножа:
а — нового; б — изношенного

В результате износа режущих элементов верхнего и нижнего ножей происходит постепенное изменение диаметра исходной настройки ножниц — радиального и осевого перекрытий (зазоров). Характеристика этого явления представлена на рисунке 2. Обусловлено это явление тем, что вершины A и B режущих кромок ножей смещаются соответственно в новое положение — точки A_1 и B_1 . Первоначальный боковой (для дисковых ножей) зазор x увеличивается до значения x_1 , а первоначальное радиальное перекрытие y уменьшается до показателя y_1 . По мере изнашивания режущих кромок увеличивается радиус притупления r и, соответственно, возрастает площадь изношенного участка режущего элемента ножей.

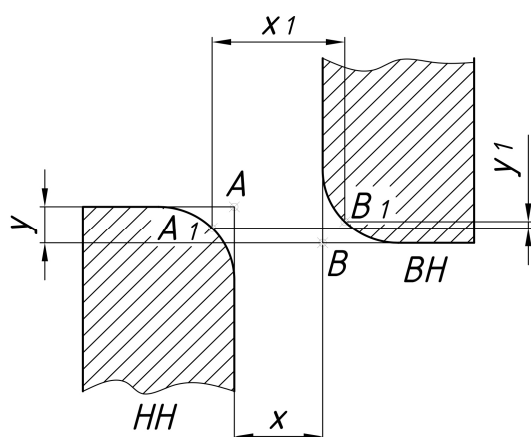


Рисунок 2 Схема изменения показателей настройки ножниц в результате износа режущей кромки: HH и BH — соответственно нижний и верхний ножи

Из рисунка 1, а следует, что изношенная часть режущей кромки в секущей плоскости представляет собой площадку в виде прямоугольного треугольника 1 с криволинейно вогнутой гипотенузой 2.

Скорость изнашивания режущей кромки ножа, очевидно, имеет непрямолинейный характер и обуславливается рядом факторов: материалом ножей и разрезаемого проката, усилиями и температурой в очаге реза, скоростью движения ножа (скоростью резки), наличием или отсутствием охлаждающей ножи жидкости.

Так, при горячей резке непрерывнолитых заготовок, блюмов и слябов, толстолистовых раскатов рабочая кромка ножа циклически контактирует с металлом, имеющим температуру $950\div 1100$ °С. Процесс резки сопровождается подачей на ножи охлаждающей жидкости.

Исследование многофакторного влияния на эксплуатационную надёжность ножей показывает, что процесс изнашивания режущих участков инструмента можно разделить на три последовательных временных периода [4].

В начале эксплуатации нового ножа процесс изнашивания режущей кромки происходит при больших удельных нагрузках на острые кромки, трении её о горячий металл и вследствие небольшого объёма новой кромки, её прямоугольная форма изменяется путём пластической деформации, сопровождающейся микроразрушениями.

Дальнейшая работа ножа в тех же тяжёлых условиях ускоряет изнашивание и скругление кромки. Ведущим фактором в этом случае является смятие со сдвигом макрослоёв поверхности режущего участка. Радиус закругления кромки постепенно увеличивается, обуславливая перераспределение параметров настройки ножниц (рис. 2).

Этот период можно классифицировать как механическое изнашивание совместно с пластическим деформированием.

Качество поверхности реза начинает заметно снижаться. При достижении допус-

тимой (для конкретного сортамента и условий резки) величины радиуса затупления изнашивание сопровождается разрушением поверхностного слоя, его коррозией и растрескиванием. Предполагается, что это коррозионно-механическое изнашивание. Ножи такого состояния подвергают перекантовке или, если все кромки использованы, отправляют на перешлифовку. Качество реза такими ножами низкое и недопустимо для товарной продукции [6].

На рисунке 3 представлено фото раската толщиной $h=25$ мм, надрезанного ножом с величиной изношенной кромки до $r=2,7$ мм. В выделенном пунктирной линией фрагменте видно, что состояние поверхности реза имеет задиры и заусенцы, что недопустимо.

С целью изучения кинетики износа режущей кромки ножей и определения критической величины их затупления были выполнены исследования на промышленных ножницах толстолистового стана 2800 (после реконструкции — стан 3000) АМК [5].

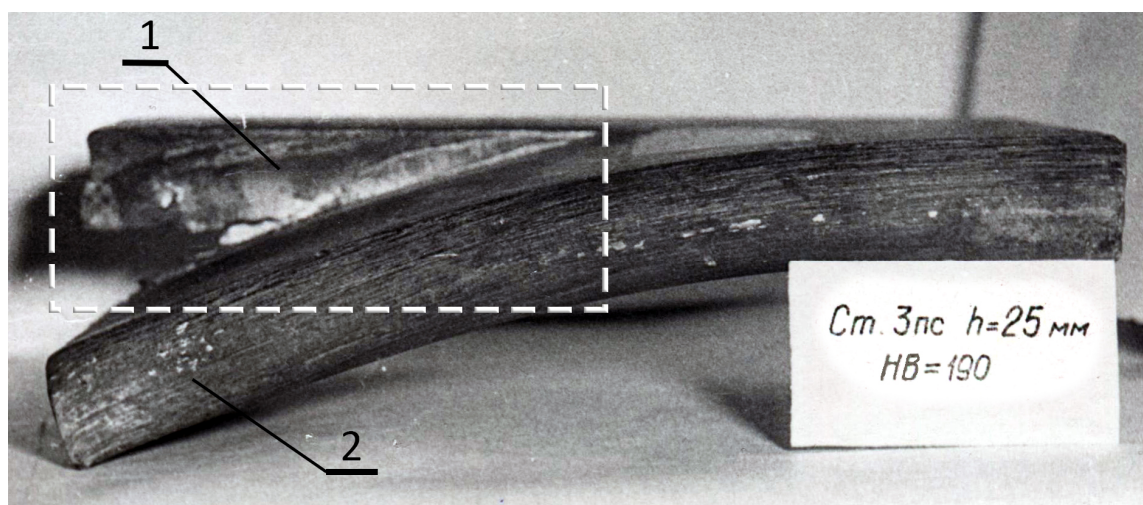
В процессе исследования контролировали изменение внешнего вида и формы режущей кромки, измеряли площадь износа режущей части ножа. Определение формы и величины площади износа кромки производили методом снятия гипсовых отпечатков в

строго установленном месте активной части ножа. Гипсовые слепки обрабатывали мелкой шлифовальной бумагой, после чего изготавливали снимки с 15-кратным увеличением. По снимкам площадку износа кромки измеряли планиметром типа ПП-2К. Одновременно со снятием отпечатков фиксировали сортамент и количество тонн порезанного металла.

На рисунке 4 приведены копии увеличенного изображения изношенного участка режущей кромки ножа, что позволило повысить точность измерения износа.

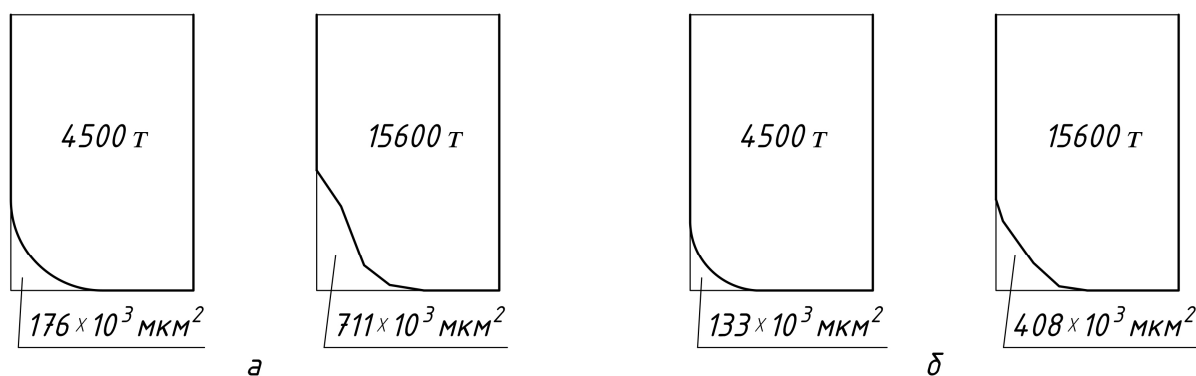
Из рисунка 4 следует, что после порезки 4,5 тыс. т металла режущая кромка имела явно выраженный радиус скругления у обеих ножей, изготовленных из разных марок сталей с применением различных технологий упрочнения. Однако радиус скругления оказался разным по величине: $r=0,41$ мм у первого ножа (рис. 4, а) и $r=0,33$ мм у второго (рис. 4, б). Дальнейшее увеличение тоннажа порезки металла свидетельствует, что форма износа рабочей поверхности ножа претерпевает изменения. Вместо скругленности образуется некоторая криволинейность, особенно у менее износостойкого ножа из стали 45ХН2Ф (рис. 4, а).

Результаты производственного эксперимента приведены в таблице 1.



1 — поверхность разделения листа; 2 — боковая кромка листового проката

Рисунок 3 Фотоснимок порезанного на ножницах толстолистового раската



а — нож изготовлен из стали марки 45ХН2Ф, с упрочнением кромки электроискровым легированием металлокерамическим сплавом Т5К10, HRC 50; б — нож изготовлен из стали 28Х3СНМВФА без упрочнения кромки электроискровым легированием, HRC 50

Рисунок 4 Формы и величины износа режущей кромки ножей

Анализ данных таблицы 1 показывает, что наиболее интенсивно изнашиваются режущие поверхности в начальный период эксплуатации ножей, когда на объём металла острой кромки действуют большие удельные силовые (а при обработке горячих раскатов — и температурные) нагрузки.

После порезки 1500 т проката площадка абсолютного износа режущей кромки составила 88×10^3 мкм², а его относительная величина была равна $58,67 \times 10^3$ мкм²/1000 т; у второго ножа соответственно $60,5 \times 10^3$ мкм² и $40,33 \times 10^3$ мкм²/1000 т. Затем эти показатели снижались у обоих ножей. Однако после порезки 8,8 тыс. т металла площадка износа несколько возросла, а при обработке 15,6 тыс. т наметилась тенденция к

уменьшению, о чём свидетельствуют показатели относительного износа — $45,58 \times 10^3$ мкм²/1000 т первого ножа и $26,15 \times 10^3$ мкм²/1000 т у второго.

Обоснованием этому служит разнообразный по марочному составу и размерам поперечного сечения сортамент листовых раскатов. В процессе выполнения производственного эксперимента порезке подвергались листовые раскаты толщиной от 14 до 50 мм, групп и марок сталей, приведённых в таблице 2.

Экспериментом установлена более высокая износостойкость ножа из стали 28Х3СНМВФА, чем из стали марки 45ХН2Ф.

Таблица 1

Абсолютные и относительные величины износа режущих кромок ножей

№	Количество часов работы от начала эксперимента	Порезано листовых раскатов, тыс. т	Абсолютная величина площади износа режущей кромки в сечении ножа, $F, \times 10^3$ мкм ²		Относительная величина износа режущей кромки в сечении ножа, $\Delta F, \times 10^3$ мкм ² /тыс. т.	
			нож 1	нож 2	нож 1	нож 2
1	72	1,5	88	60,5	58,67	40,33
2	264	4,5	176	133	39,11	29,56
3	368	6,8	222	223	32,65	32,79
4	432	8,8	488	333	55,45	37,84
5	624	15,6	711	408	45,58	26,15

Таблица 2

Данные о раскатах, порезанных на ножницах толстолистового цеха в процессе исследования

№	Наименование группы сталей	Марки сталей	Доля в общем тоннаже
1	Простые углеродистые	08кп, 3кп, 3сп, Сталь 10, 20к	15 %
2	Конструкционные	40, 45, 50	32 %
3	Низколегированные	14ХГС, 17ХГС, 09Г2С, 10Г2С, 15Г, 17ГС, 62ГС, 10НСНД	50 %
4	Высокопрочные и легированные	65Г, Н9Т, Х18Т, Х23Н18, 10ХН1М, Х18Н10Т	3 %
Итого			100 %

После порезки 15,6 тыс. т проката разница формы и размеров износа кромки у ножей очевидна. У ножа из стали 45ХН2Ф после порезки 4,5 тыс. т площадь износа составила 176×10^3 мкм², после 15,6 тыс. т — 711×10^3 мкм². Относительный износ рабочей кромки составил $39,11 \times 10^3$ мкм²/1000 т и $45,57 \times 10^3$ мкм²/1000 т соответственно. Отношение площадей износа после порезки 15,6 тыс. т и 4,5 тыс. т (F_{\max}/F_{\min}) для первого (рис. 4, а) ножа составляет 4,04, а у второго ножа (рис. 4, б) это соотношение равно 3,07.

Анализ полученных результатов показывает, что износостойкость ножа из материала 28Х3СНМВФА выше, чем у ножа из стали 45ХН2Ф с кромкой, упрочнённой электролегированием микрокерамическим сплавом Т5К10. Такой результат был получен в работе [5].

Для установления износостойкости режущей кромки ножей при порезке высокопрочных ($\sigma_b = 1000 \div 2100$ МПа) марок сталей были проведены эксперименты на лабораторных ножницах усилием резки 250 кН. Конструкция ножниц позволяла изменять наклон верхнего ножа на требуемый угол, что обусловило процесс порезки как плоскопараллельными, так и наклонными (гильотинными) ножами [7].

Ножи изготавливали из стали марки 55WCrV7 с твёрдостью после термообработки HRC 55. Здесь также величину износа ножа определяли путём снятия гипсовых отпечатков, как и на промышленных ножницах. Только в этом эксперименте отпечат-

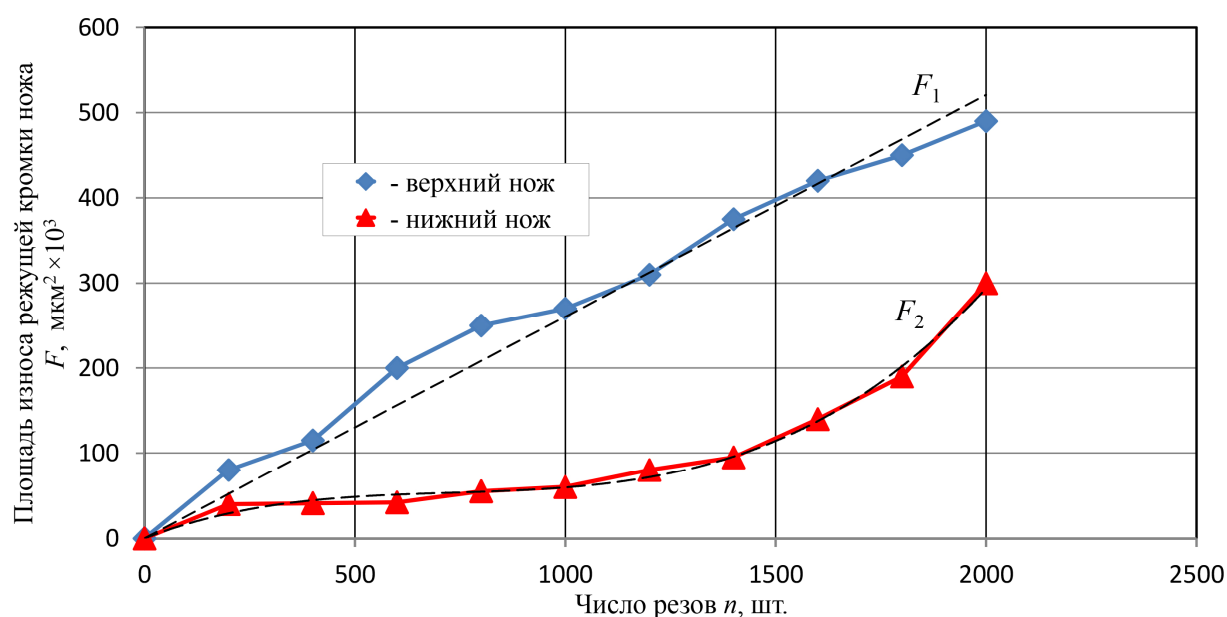
ки снимали при фиксированном числе резов по нарастающей с шагом в 200 единиц.

Зависимости площади износа режущей кромки верхнего и нижнего ножа от числа резов представлены на рисунке 5. Порезке подвергались полосы толщиной 8 мм из стали 28Х3СНМВФА с пределом прочности 1500 МПа.

Из рисунка 5 следует, что до 200 резов характер износа режущих участков обоих (верхнего и нижнего) ножей практически одинаков, хотя абсолютная величина износа несколько больше у верхнего ножа. Дальнейшая порезка обуславливает интенсификацию износа кромки верхнего ножа, в то время как нижний нож до 1200 резов подвержен незначительному износу. Однако после 1400 резов ускоряется износ нижнего ножа. При достижении 2000 резов площадь износа верхнего ножа составила 500 мкм², и опыт прекратили из-за неудовлетворительного качества резки.

Аналитически описанный выше характер износа может быть представлен зависимостями площади износа F режущей кромки ножа от количества резов n (рис. 5). Установлено, что износ режущих кромок верхнего ножа линейно зависит от количества резов $F_1 = 0,2605 \cdot n$ (критерий $R^2 = 0,98$), а износ рабочих участков нижнего ножа, возрастающий по мере увеличения числа вхождений ножей в заготовку, лучше аппроксимирует полином вида

$$F_2 = 1 \times 10^{-7} \cdot n^3 - 2 \times 10^{-4} \cdot n^2 + 0,189 \cdot n. \quad (1)$$



1 — верхний наклонный нож; 2 — нижний горизонтальный нож

Рисунок 5 Зависимости износа режущей кромки ножей от числа резов высокопрочной стали

При этом критерий $R^2=0,99$. Анализ значительного числа полученных графиков показывает, что во всех опытах (ножи из разных марок стали и с разной твёрдостью) более интенсивному износу подвержен наклонный нож — в этом эксперименте верхний.

Экспериментально установлено, что при недостаточной (ниже $58\div 60$ HRC) твёрдости ножа в процессе порезки высокопрочного материала ($\sigma_b > 1000$ МПа) наряду с механическим износом протекает в большей степени пластическая деформация режущей кромки. Имел место случай, когда порезка полос металла с пределом прочности 1500 МПа ножами из стали 55XBФ7 твёрдостью 55 HRC была прекращена при 1050 резах из-за пластической деформации режущей части верхнего наклонного ножа. Поверхность реза была неровной. Разделение полосы произошло по криволинейной поверхности.

Размер радиуса притупления кромки имел величину значительно меньшую, чем рекомендуется определять по зависимости

$$r = (0,18 \div 0,30) \cdot \varepsilon_{отр} \cdot h, \quad (2)$$

где $\varepsilon_{отр}$ — коэффициент относительного отрыва (скола); h — толщина полосы.

Величина r обусловлена многими факторами: материалом и технологией его изготовления, сортаментом и температурой проката, условиями порезки и пр. Установлено, что допустимый радиус износа различен для горячей и холодной резки металла. Достоверность его величины устанавливаются экспериментально для конкретных условий порезки. Более достоверным показателем пригодности ножей для процесса качественной порезки является относительный износ режущей кромки.

Выводы. При множестве факторов, влияющих на стойкость режущего инструмента ножниц, производственному персоналу участка резки цеха необходимо мониторить состояние кромки ножа, чтобы радиус износа не превышал допустимых пределов, обуславливающих низкое качество поверхности реза.

Замер величины износа кромки возможен только во время профилактики и внеплановой остановки ножниц, что снижает ритмичность работы оборудования участка резки.

Применённый в исследовании замер величины износа методом снятия гипсовых отпечатков с режущего участка ножа не является оперативным из-за временных затрат, необходимых для выполнения замеров и обработки результатов.

С учётом порезки разнообразного сортамента проката даже в течение смены, наиболее достоверным будет показатель износа

режущих кромок в зависимости от тоннажа обработанной продукции, который наиболее удобен в качестве ориентира для перекатовки или замены комплекта ножей.

Дальнейшее исследование позволит конкретизировать величину предложенного показателя, в границах которого ножи обеспечат качественную порезку листового металлопроката.

Библиографический список

1. Гребеник, В. М. *Повышение надёжности металлургического оборудования [Текст] : справочник* / В. М. Гребеник, А. В. Гордиенко, В. К. Цапко. — М. : Металлургия, 1988. — 688 с.
2. Геллер, Ю. А. *Инструментальные стали [Текст]* / Ю. А. Геллер. — М. : Металлургия, 1983. — 527 с.
3. Жуков, И. Б. *Исследование и оптимизация электромеханических систем управления комплексом резки листового проката : дис. ... канд. техн. наук : 05.09.03* / Жуков Илья Борисович. — Санкт-Петербург, 2006. — 279 с.
4. Журда, А. П. *Материалы и оборудование для наплавки ножей горячей резки металла [Текст]* / А. П. Журда, А. П. Ворончук, А. А. Фомакин, С. И. Великий // *Автоматическая сварка : международ. науч.-техн. и произв. журнал.* — 2015. — № 5/6. — С. 100–102.
5. Ульяницкий, В. Н. *Анализ эффективности методов повышения стойкости и долговечности режущего инструмента ножниц прокатного производства [Текст]* / В. Н. Ульяницкий, П. А. Петров, О. В. Ульяницкая, Г. А. Билан // *Сборник научных трудов ДонГТУ.* — Алчевск : ГОУ ВПО ЛНР «ДонГТУ», 2019. — Вып. 15 (58). — С. 78–86.
6. *Эксплуатация, обслуживание и уход за оборудованием района дисковых ножниц. Производственно-техническая инструкция.* — Алчевск : АМК, 2007. — 25 с.
7. Ульяницкий, В. Н. *Некоторые особенности порезки высокопрочных сталей [Текст]* / В. Н. Ульяницкий и др. // *Металлургическая и горнорудная промышленность.* — Днепропетровск, 1975. — № 3. — С. 17–21.

© Ульяницкий В. Н.

© Петров П. А.

© Орлов А. А.

Рекомендована к печати д.т.н., проф. каф. ММК ДонГТУ Харламовым А. Ю., д.т.н., проф., зав. каф. ПиХЛ ЛНУ им. В. Даля. Гутько Ю. И.

Статья поступила в редакцию 25.11.19.

к.т.н. Ульяницкий В. Н., к.т.н. Петров П. О., Орлов А. А. (ДонГТУ, м. Алчевськ, ЛНР) ВПЛИВ СТАНУ РІЗАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТУ НОЖИЦЬ НА СИЛОВІ ПАРАМЕТРИ І ЯКІСТЬ РІЗА ПРОКАТУ

Виконано аналіз результатів виробничого і лабораторного дослідження зносостійкості різального інструменту ножниць прокатних цехів при обробці звичайних і високоміцних марок сталей. Показано характер зносу кромки ножа і його вплив на якісні показники порізки. Визначено найбільш достовірний для обслуговуючого персоналу показник необхідності заміни зношених ножів.

Ключові слова: *матеріал ножів, властивості ножів, ріжуча кромка, стадії і характер зносу, відносний знос, налаштування ножниць.*

PhD in Engineering Ul'yanitskiy V. N., PhD in Engineering Petrov P. A., Orlov A. A. (DonSTU, Alchevsk, LPR)

INFLUENCE OF STATE OF SHEAR CUTTING TOOL ON THE POWER SETTINGS AND QUALITY OF ROLL STOCK CUTTING

The analysis of results of production and laboratory research of wear resistance of the shear cutting tool of rolling shops at processing of usual and high-strength steel grade is done. There has been shown the knife edge wear pattern and its influence on the quality factors of cutting. The most reliable factor of the necessity to replace worn-out knives for staffing was determined.

Key words: *knife material, knife properties, cutting edge, stages and nature of wear, relative wear, shear setting.*