

УДК 621.967.3

*к.т.н. Ульяницкий В. Н.,
к.т.н. Петров П. А.,
к.э.н. Ульяницкая О. В.,
Билан Г. А.
(ДонГТУ, г. Алчевск, ЛНР)*

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕТОДОВ ПОВЫШЕНИЯ СТОЙКОСТИ И ДОЛГОВЕЧНОСТИ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА НОЖНИЦ ПРОКАТНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Выполнен анализ исследований и практических методов повышения эксплуатационной стойкости и долговечности режущего инструмента ножниц прокатного производства и экономической эффективности процесса резания металлопроката.

***Ключевые слова:** износостойкость, форма ножа, ножевой материал, эксплуатационная надёжность, наплавка, криогенная обработка.*

На современном этапе развития металлургической отрасли главной задачей в чёрной металлургии является снижение себестоимости товарного проката при значительном повышении качественных показателей металлопродукции.

Технологический процесс производства металлопроката включает операцию его порезки с целью получения заготовок (блюд, слябов) определённой длины, листовых раскатов для получения стандартных или заказных размеров товарного листа, сортовых профилей проката необходимых длин.

Удовлетворение повышенных требований потребителей (заказчиков) к свойствам прокатной продукции невозможно без выполнения операций качественной порезки, которая во многом зависит от ритмичной и надёжной работы участков резки, оборудованных комплексом режущих устройств или отдельными (обжимные цехи, сортовые МНЛЗ) машинами.

Механическую резку проката выполняют ножницы многих конструктивных моделей, обусловленных функциональным назначением, характеристиками разрезаемого металла и условиями процесса резки.

Межремонтный срок службы ножниц на большинстве металлургических предприятий сравнительно небольшой и определяется в основном износостойкостью

режущего инструмента — плоских и дисковых ножей [1]. Количество переточек ножа до полного (допустимого) износа на большинстве предприятий составляет: для гильотинных ножниц — 4...6, для дисковых — 10...12.

Эксплуатационная надёжность ножей обуславливается условиями, в которых работают ножницы — это порезка горячего металла (обжимные, заготовочные и крупносортные цехи, сортовые МНЛЗ) и порезка листового проката.

Наряду с недостаточной износостойкостью ножей, выражающейся в затуплении режущих кромок, проявляются и такие часто встречающиеся дефекты, как трещины и выкрошивание участков рабочей поверхности ножа. Замена дефектного режущего инструмента требует остановки оборудования участка резки, что отрицательно сказывается на производственной программе цеха.

Поэтому выбор материала и технологии изготовления режущего инструмента для ножниц прокатных цехов и сортовых МНЛЗ имеет первостепенное значение с точки зрения его износных свойств и прочностных характеристик [2].

Конструктивно ножи изготавливают следующих форм и модификаций. Согласно функциональному назначению режущей машины — плоские параллельные у

ножниц обжимных и заготовочных станов, плоские наклонные для резки листов на ножницах гильотинного типа и ножницах с дуговым верхним ножом («катящийся» рез). Для порезки простого сортового и фасонного проката, а также непрерывнолитых заготовок МНЛЗ применяют про-

филированные одно- или многоручьевые ножи. В случае продольной резки листового металлопроката наибольшее распространение получили дисковые одно-, двух- и многопарные ножницы. Схемы поперечного и продольного резания проката представлены на рисунке 1.

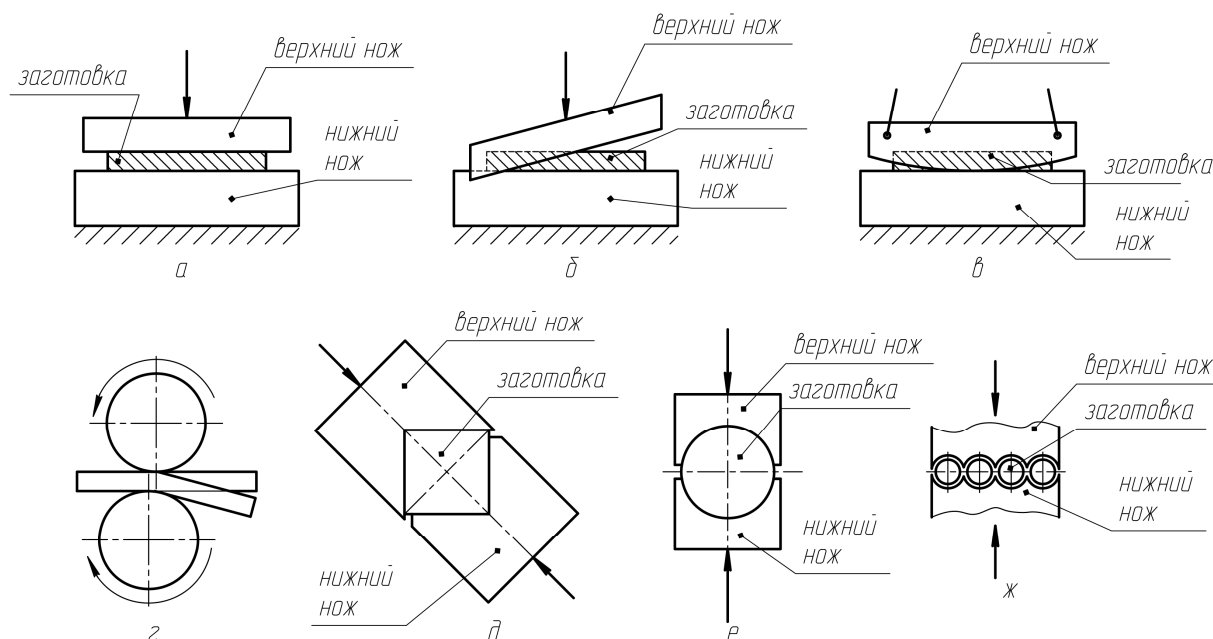


Рисунок 1 Схемы порезки проката ножами различных конструктивных форм:
 а — плоские параллельные (прямые ножи); б — плоские наклонные (гильотинный рез);
 в — с дуговым верхним ножом («катящийся» рез); г — продольная резка дисковыми ножами;
 д — сортовые ножи (д — резка квадрата, е — резка круглой стали); ж — пакетная резка

В основном ножи для режущих машин прокатных цехов и МНЛЗ изготавливают цельными. Характеристики разрезаемого металла и условия выполнения операции резки (большие усилия резки, тепловые нагрузки на инструмент) ограничивают использование составных ножей. Особенно они недостаточно эффективны при обработке высокопрочных ($\sigma_B > 1000$ МПа) сталей и сплавов в холодном состоянии из-за случаев разрушения конструкции.

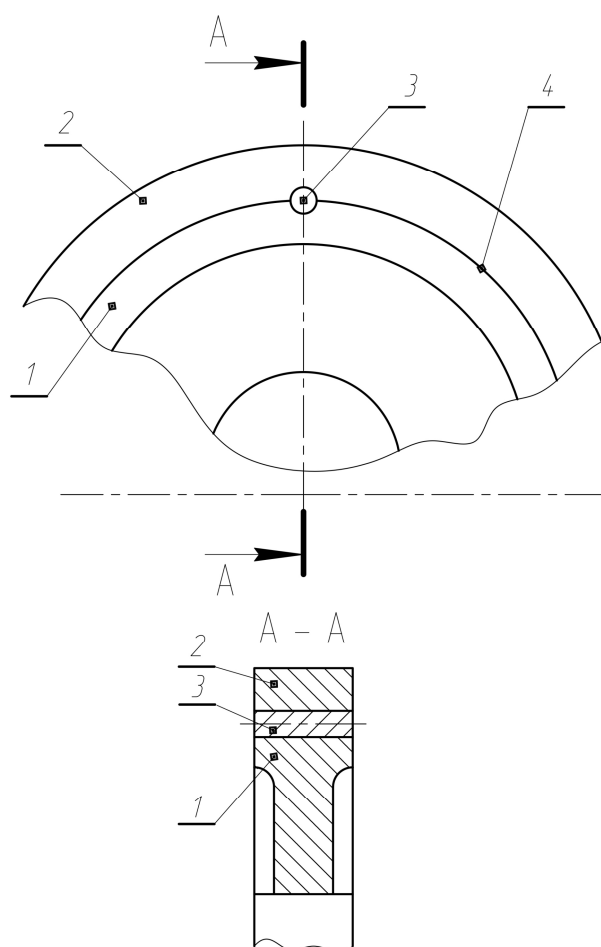
Принципиальные схемы изготовления составных и бандажированных ножей представлены на рисунках 2 и 3.

Однако авторы работы [3] отмечают экономическую невыгодность изготовления ножей цельными из-за большого рас-

хода дорогостоящих марок ножевого металла. Утверждается, что в процессе эксплуатации используется только 7–10 % массы цельного ножа из-за переточек, а остальное отправляется на переплав.

Подтверждением этому служат ножи двухпарных дисковых ножниц для порезки холодных и частично горячих листовых раскатов в толстолистовом цехе Алчевского металлургического комбината (АМК). Основные сведения об эксплуатационных характеристиках ножей дисковых ножниц приведены в таблице 1.

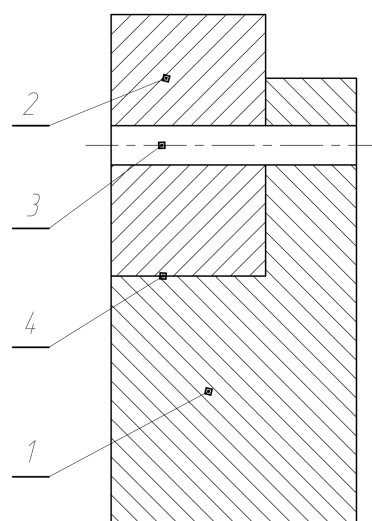
Ножи с затупленной режущей кромкой подлежат переточке, а если восстановление рабочей поверхности невозможно, ножи перешлифовывают на следующий ремонтный размер.



1 — обод; 2 — бандаж из высокопрочного износостойкого материала; 3 — цилиндрический стержень (шпонка); 4 — поверхность сопряжения

Рисунок 2 Один из вариантов бандажирования дискового ножа

Единственным изготовителем и поставщиком дисковых ножей для ножниц толстолистого стана 3000 (до 2006 г. — стан 2800) АМК был и остается ЗАО «ГМЗ-Гедумекс», г. Нижний Новгород (в СССР — Горьковский металлургический завод). За годы эксплуатации (с 1958 г.) дисковых ножниц поставщик использовал для ножей стали марок 55ХНВ, 5ХВН, 5ХВС.



1 — корпус; 2 — высокопрочный износостойкий материал; 3 — элемент крепления; 4 — поверхность сопряжения

Рисунок 3 Фрагмент конструкции составного ножа для резки металла

Таблица 1

Некоторые данные о дисковых ножах АМК

Дисковый нож			Среднее число переточек	Потери на переточках		Цена нового ножа	Стоимость одной переточки, руб.	Цена ножа на 1 т порезанного металла, руб./т
Диаметр, мм	Материал	Масса, кг		Абсолютный показатель, кг	Относительный показатель, %			
$\frac{1000^*}{920}$	6ХВ2С 5ХВ2С	$\frac{405}{330}$	16	$\frac{75}{4,6...4,7}$	$\frac{16-17^{**}}{1,0...1,06}$	$\frac{36500^{***}}{570,3}$	208,2	0,024

* числитель — показатель нового, знаменатель — перешлифованного ножа;

** числитель — показатель всех переточек, знаменатель — одной переточки;

*** цена по курсу 2019 года: числитель — в рублях, знаменатель — в долларах США.

Рабочие поверхности режущей части ножей имеют твёрдость HRC 52–56. До распада СССР комбинат ежегодно закупал 135 дисковых ножей по цене 757,35 руб. за штуку. В 2011 г. цена одного ножа составила 18574 руб. (\$ 570,3). После известных событий 2014 г. в Донбассе производственный процесс комбината лишился стабильности, возникли проблемы с поставками сырья и реализацией продукции. С того времени новые ножи не приобретались.

Для изготовления режущего инструмента, используемого в прокатном производстве и цехах машиностроительных предприятий, наиболее применяемыми являются стали марок 5ХВА, 5ХНВ, 5ХВС, 55ХНВ, 5ХВ2С, 6ХВ2С, 55ХНМ, Х10С2М, 6ХНМ, 45ХН2Ф, 25ХНФА, 5Х2МНФ [3]. Наблюдаемое разнообразие материалов ножей, видимо, обусловлено отсутствием полной централизации их изготовления и различными требованиями потребителей к свойствам ножевого материала.

С течением времени ряд специальных сталей для ножей расширялся. Совместными исследованиями специалистов АМК и учёными ДонГТУ была доказана целесообразность использования для ножей спецсплава СП-28 (кодировка до введения на него госстандарта). Теперь он известен как сталь марки 28Х3СНМВФА. Ножи, изготовленные из СП-28 и упрочнённые по рабочим граням электроискровым легированием сплавом Т5К10, в разы меньше изнашиваются, нежели инструмент из сталей 6ХВ2С и 45ХН2Ф [4].

Изготовление цельных ножей из высококачественных сталей с последующими разноступенчатыми технологиями термоупрочнения позволяет несколько повысить износостойкость инструмента, улучшая его эксплуатационные показатели. Однако высокая себестоимость и минимальный расход (7–17 %) массы до списания на переплав вынудили специалистов к ещё одному направлению изготовления ножей из относительно дешёвых сталей с наплавкой их рабочих поверхностей композитными материалами.

Износостойкая наплавка ножей не только существенно увеличивает ресурс их работы, но и даёт возможность избежать или значительно снизить повреждение товарной продукции (неровность поверхности реза, появление заусенцев, зарождение трещин).

В отечественной металлургии наплавка ножей имеет достаточно длительную практику, обусловленную поиском необходимых наплавочных материалов и разработкой эффективных технологий нанесения их на режущие элементы ножей [5].

Требования, предъявляемые к ножам горячей резки, сводятся к следующему: материал ножа должен характеризоваться высокими режущими свойствами, т. е. сохранять высокие прочность и твёрдость при значительных температурах (800–1200 °С), а также высокую термическую выносливость. Эти свойства в определённой степени присущи сталям 6ХВ2С, 5ХВ2С, 37ХН3А, 5ХНТ и др. после закалки и соответствующего отпуска. Однако использование для ножей дорогостоящих и труднообрабатываемых сталей, содержащих значительный процент вольфрама, никеля и других легирующих элементов, нецелесообразно, так как рабочие участки ножа составляют не более 5–7 % от массы всей детали. Срок службы ножей относительно мал — 7...8 суток.

Все попытки повысить стойкость ножей изменением режима термообработки не дали значимого положительного результата.

Наиболее эффективным методом повышения стойкости ножей является наплавка режущих кромок металлом, соответствующим поставленным требованиям, что позволяет заменить названные выше марки обычной углеродистой сталью, например, ковеной марки 45. Так, стойкость одной наплавленной кромки ножа для резки блюмов составила 10–27 смен, а стойкость ножа — от 15 до 40 суток [5]. Технология изготовления ножей упростилась, а их работоспособность повысилась.

Продолжаются работы по созданию новых наплавочных материалов, технологии

наплавки и оборудования для реализации процесса. Базой для таких исследований являются анализ условий работы ножей и кинетика износа их рабочих кромок [3, 6, 7].

В качестве примера на рисунке 4 приведена конструктивная схема наплавленного ножа для ножниц обжимного стана АМК.

При многовариантных разработках новых электродных материалов для наплавки ножевого инструмента использовали композиты, представленные в таблице 2, составленной по данным [3, 6, 7].

Применение наплавочного материала в виде порошковой ленты ПЛ-АН183 повышает в 1,5...2,0 раза стойкость ножевого материала по сравнению с ножами, наплавленными порошковой проволокой ПП-Нп-35В9Х3СФ.

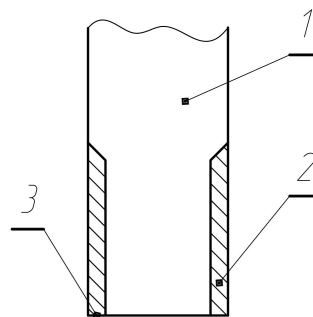
На основании полученных эксплуатационных и экономических данных предпочтение отдано наплавочному материалу 40Х2Н6Г2С2М2ФБ. Твёрдость наплавленного слоя кромки составила HRC 47...54 [3]. Использование для наплавки режущих кромок износостойким сплавом 110Х5М8В2С2ТЮ обеспечило срок эксплуатации ножей в 1,7...2,1 раза больший, чем у цельного ножа из хромовольфрамовой стали марки 5ХВ2С [8].

Поиск износостойкого ножевого материала для порезки высокопрочно-

го ($\sigma_b > 1000$ МПа) толстолистового проката в холодном состоянии обусловил исследование сталей 45ХН2Ф и 28Х3СНМВФА. Работы были выполнены совместно с АМК и ДонГТУ. Исследования проводились на ножах промышленных гильотинных ножниц толстолистового стана [4].

Ножи из названных сталей подвергали термической обработке, после которой их твёрдость имела HRC 50...52. Степень затупления режущих кромок определяли на конкретных показателях количества порезанного металла (1,0, 3,8, 5,3, 6,9 и 7,9 тысяч тонн).

Износ однотипных режущих кромок ножей представлен на рисунке 5.



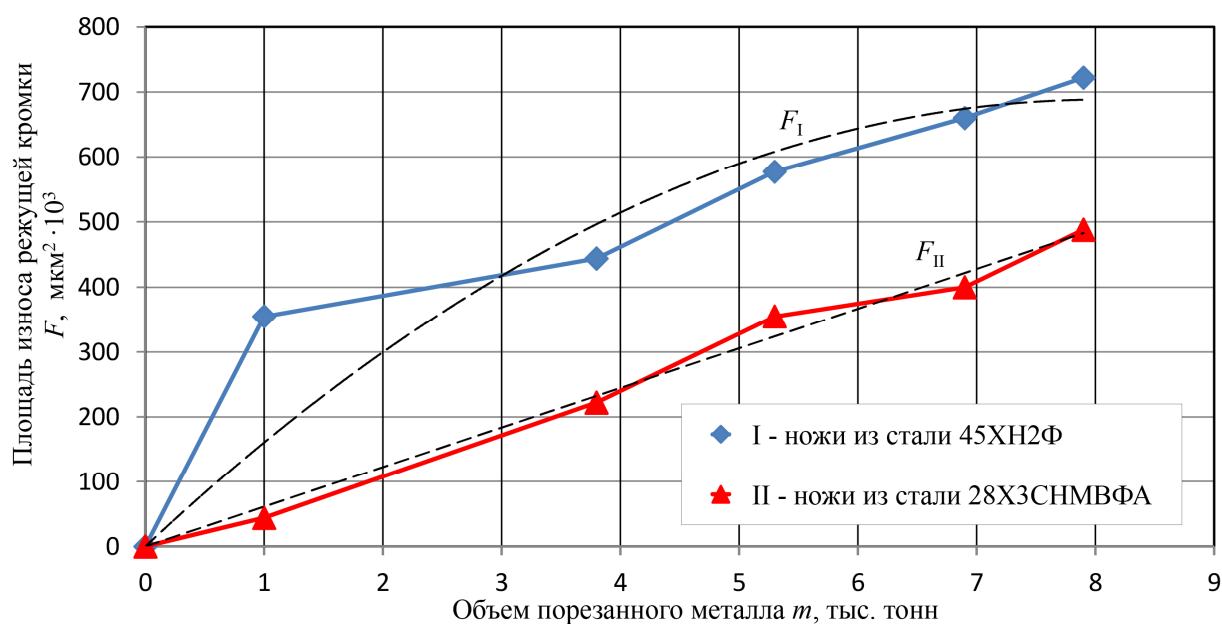
1 — корпус ножа; 2 — наплавленный материал;
3 — режущая кромка

Рисунок 4 Конструктивная схема наплавленного рабочего участка плоского ножа обжимного стана АМК

Таблица 2

Наплавочные материалы для ножей прокатных цехов

№ п/п	Наплавочный материал	Вид и способ использования
1	20Х4В2М2, 30Х4В2М2Г2БФСТ, 40Х2Н6Г2С2М2ФБ, 40Х2Н6К6М2Г2СФ	В виде самозащитной порошковой ленты ПЛ-АН183
2	ЛС-25Х5ФМС, ЛС-20Х5ФМС	Наплавка электродуговым и электрошлаковым способом спечёнными электродными лентами
3	ПП-Нп-35В9Х3СФ	Наплавка под слоем флюса порошковой проволокой
4	110Х5М8В2С2ТЮ	Наплавка порошковым электродом



I — нож изготовлен из стали марки 45ХН2Ф, HRC 50...52;
 II — нож изготовлен из стали марки 28Х3СНМВФА, HRC 50...52

Рисунок 5 Экспериментальные данные (I, II) и аппроксимирующие зависимости (F_I , F_{II}) износа режущих кромок ножей гильотинных ножниц толстолистового стана в зависимости от количества тонн m порезанного листового проката

Испытания показали, что износостойкость ножей из стали 45ХН2Ф (график I) ниже, чем ножей из стали 28Х3СНМВФА (график II). В результате обработки экспериментальных данных получены аппроксимирующие зависимости величины износа F режущей кромки ножа от объема m порезанного проката (рис. 5):

$$F_I = -10620 \cdot m^2 + 170999 \cdot m, \quad (1)$$

$$F_{II} = 61116 \cdot m. \quad (2)$$

Исследованием также установлено, что уровень износостойкости ножей из стали марки 45ХН2Ф, упрочнённых электроискровым способом твёрдым сплавом Т5К10, примерно такой же, как и ножей из стали 28Х3СНМВФА без упрочнения. Упрочнение (легирование) электроискровым способом осуществляли на установке «ЭФИ-25» с режимом работы: ток 75–90 А, напряжение 20 вольт.

Практика эксплуатации ножниц прокатных цехов показала, что замена ножей или

их перекалтовка для использования незатупленных кромок обычно выполняется после порезки 12...20 тыс. тонн проката.

Самую высокую износостойкость показали ножи, изготовленные из стали 28Х3СНМВФА и упрочнённые электроискровым способом сплавом Т5К10. В ходе исследований обнаружено, что термостойкость стали 28Х3СНМВФА выше, чем стали 6ХВ2С.

Поэтому ножи для порезки высокопрочных сталей в холодном состоянии следует изготавливать из стали 28Х3СНМВФА, подвергнув их термическому упрочнению по режиму. Затем режущие кромки упрочнить электроискровым способом твёрдым сплавом Т5К10. Конечной операцией изготовления ножей является шлифование граней детали [4, 9].

В своё время ножи из стали 28Х3СНМВФА взялся изготавливать Дебальцевский машиностроительный завод, определённый Минчерметом СССР как поставщик некоторой номенклатуры за-

пасных частей для предприятий металлургической отрасли. Разрыв экономических связей между Украиной и Россией обусловил вынужденную стагнацию предприятия, а затем последовавшую переориентацию характера производства.

Ещё одним из перспективных направлений повышения износостойкости режущего инструмента ножиц прокатных цехов является обработка ножей криогенной жидкостью (азотом).

Использование криогенных температур (до -196°C) в технологических режимах термической обработки (ТО) изделий из инструментальных сталей рассмотрено в работе [10].

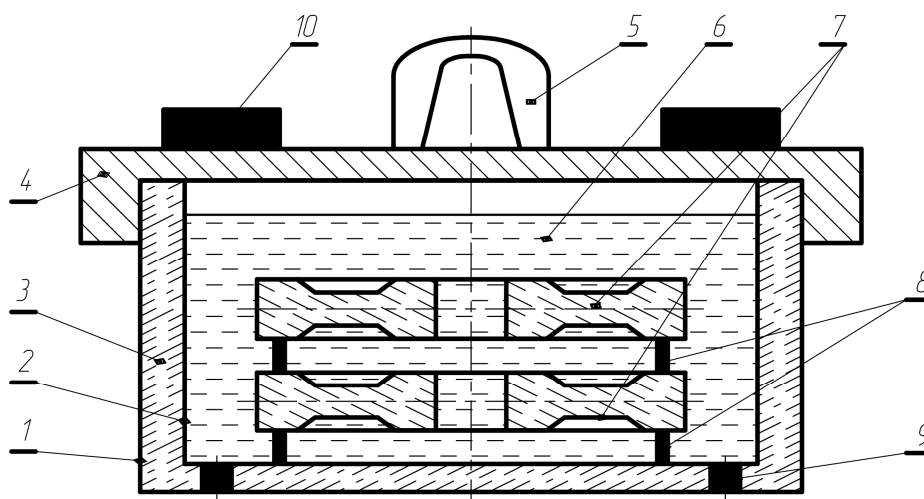
Отмечается особая важность использования криогенной обработки режущего инструмента, изготовленного из традиционных инструментальных марок сталей. При этом отмечается необходимость различать обработку холодом (до $-50\dots 70^{\circ}\text{C}$) и криогенную обработку (до -196°C). Последняя даёт большой эффект структурных мартенситных превращений, обуславливающих износные свойства инструмента. Исследования влияния криогенной обработки на образцах из сталей 150Г7Т, 150Г7Х2, 40Х,

12Х5МА, 25Г2С, 35ГС, Р18, 9ХС, Р6М5 показали положительный результат [10].

Анализ структуры и свойств образцов выявил, что происходит изменение структуры криогенно обработанных сталей и на 25...65 % повышается износостойкость инструмента. Наибольший эффект будет достигаться, если включить криогенную обработку в общую (часто заключительную) операцию термической обработки.

Одновременно авторы работы [10] отмечают, что на машиностроительных предприятиях обработка деталей глубоким холодом сдерживается отсутствием доступных по цене криогенных установок отечественного изготовителя. Стоимость зарубежных (загрузкой от 50...100 кг металла) начинается с 30000 евро и выше. Кроме того, большинство предприятий испытывает ограниченность из-за отсутствия собственного источника криогенной жидкости (азота).

С целью выявления влияния криогенной обработки на промышленный дисковый нож был выполнен эксперимент. Из перешлифованных в одной кассете четырёх ножей отобрали два и поместили в специально изготовленную ёмкость (рис. 6).



1 — корпус из углеродистой стали; 2 — внутренняя стенка из нержавеющей стали; 3 — теплоизоляционный материал; 4 — крышка; 5 — скоба для захвата крюком подъемного механизма; 6 — криогенная жидкость (азот); 7 — дисковые ножи; 8 — прокладка; 9 — подставка; 10 — прижимной груз

Рисунок 6 Принципиальная схема устройства для криогенной обработки цельных дисковых ножей

В организации данного эксперимента проблематичным стало изготовление специальной ёмкости. Жидкий азот производится в кислородном цехе АМК как побочный продукт получения кислорода.

Камеру с находящимися в ней ножами заполнили жидким азотом, закрыли крышкой и оставили на 48 часов. Извлечённые из камеры дисковые ножи восстанавливались до температуры окружающей среды (цеха) и устанавливались на приводные валы механизмов резания дисковых ножниц попарно: криогенно обработанные с одной стороны, другая пара — с противоположной. Работа ножей в одинаковых условиях показала, что износостойкость рабочей части ножей, подвергнутых низкотемпературной обработке, выше, чем у необработанных жидким азотом.

Однако в процессе регламентированной замены ножей в экспериментальном ноже была обнаружена трещина в углу шпоночного паза ступицы. По этой причине эксплуатационная служба участка резки цеха высказалась против такого способа использования криогенной обработки дисковых ножей. Последовавшие кризисные события в чёрной металлургии не способствовали продолжению обнадеживающих экспериментов повышения стойкости ножей методом криогенной закалки ножевого металла.

Таким образом, получение режущего инструмента для ножниц прокатных цехов имеет следующие приоритетные направления:

– использование новых, более прочных и износостойких материалов;

– совершенствование конструктивных элементов ножей и разработка эффективных режимов термического упрочнения рабочих поверхностей инструмента;

– расширение номенклатуры и создание новых материалов для наплавки ножей практически всех эксплуатирующихся ножниц в прокатных цехах;

– использование влияния низких температур (до $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$) при термообработке инструментальных и ножевых материалов, получившее название криогенной технологии.

Выводы. Анализ материалов об эксплуатационной надёжности ножниц для порезки проката на ведущих металлургических предприятиях стран СНГ свидетельствует о приоритетности конструкции цельных ножей из ряда легированных марок сталей с использованием схем упрочняющей термической обработки и наплавкой режущих кромок износостойкими материалами.

Наиболее эффективным направлением повышения служебных свойств ножей являются способы упрочнения рабочих поверхностей режущих кромок наплавкой новейшими композитными электродными материалами.

Дальнейшего исследования и оценки требует использование криогенной обработки ножей с целью повышения их износных характеристик при порезке высокопрочных сталей и сплавов.

Библиографический список

1. Петров, П. А. Эффективность способов повышения стойкости и долговечности ножей для порезки проката [Текст] / П. А. Петров, О. В. Ульяницкая, Г. А. Билан // Пути совершенствования технологических процессов и оборудования промышленного производства : сб. тезисов докладов III между. науч.-технич. конф. — Алчевск : ДонГТУ, 2018. — С. 33–35.
2. Руфанов, Ю. Г. Влияние термической обработки на механические свойства стали 5ХВ2С и служебные свойства металлургических ножей [Текст] / Ю. Г. Руфанов, И. И. Чальый, С. И. Веселова, О. А. Селифанова // Металлургическое машиноведение и ремонт оборудования : тематический отраслевой сборник Минчермет СССР. — М. : Металлургия, 1978. — № 7. — С. 90–92.
3. Журда, А. П. Материалы и оборудование для наплавки ножей горячей резки металла. Автоматическая сварка [Текст] / А. П. Журда, А. П. Ворончук и др. — К. : ИЭС им. Патона, 2015. — № 5–6. — С. 100–102.

4. Разработка более износостойких материалов и отработка режимов термической обработки ножей дисковых и гильотинных ножниц для порезки высокопрочных марок сталей : отчёт о НИР. — Коммунарск, 1973. — № ГР 72039472.

5. Шехтер, С. Я. Восстановление оборудования механизированной наплавкой [Текст] / С. Я. Шехтер. — М. : Металлургия, 1965. — 136 с.

6. Журда, А. П. Износостойкая наплавка порошковыми металлами [Текст] / А. П. Журда, А. П. Ворончук // Сварщик. — 2010. — № 6. — С. 6–9.

7. Журда, А. П. Наплавочные порошковые ленты (обзор) [Текст] / А. П. Журда, А. П. Ворончук // Автоматическая сварка. — 2012. — № 1. — С. 39–44.

8. Пат. РФ № 2293629 В23D 31/04. Нож для измельчения кромки проката / В. В. Карих, В. В. Неверов. — № 2005116364/02 ; заявл. 30.05.2005 ; опубл. 20.02.2007; Бюл. № 5. — С. 5

9. Ульяницкий, В. Н. Некоторые особенности порезки высокопрочных сталей [Текст] / В. Н. Ульяницкий и др. // Металлургическая и горнорудная промышленность. — Днепропетровск, 1975. — № 3. — С. 17–21.

10. Повышение износостойкости инструментальных сталей методом криогенной обработки [Текст] / П. В. Крот, С. В. Бобырь и др. // Металлургические процессы и оборудование. — № 4 (34), 2013. — С. 88–97.

© Ульяницкий В. Н.

© Петров П. А.

© Ульяницкая О. В.

© Билан Г. А.

Рекомендована к печати д.т.н., проф. каф. ММК ДонГТУ Харламовым Ю. А., д.т.н., проф., зав. каф. МОЗЧМ им. проф. В. Я. Седуша ДонНТУ Еронько С. П.

Статья поступила в редакцию 30.09.19.

к.т.н. Ульяницкий В. Н., к.т.н. Петров П. О., к.е.н. Ульяницкая О. В., Білан Г. О. (ДонДТУ, м. Алчевськ, ЛНР)

АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ МЕТОДІВ ПІДВИЩЕННЯ СТІЙКОСТІ І ДОВГОВІЧНОСТІ РІЗАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТУ НОЖИЦЬ ПРОКАТНОГО ВИРОБНИЦТВА

Виконано аналіз досліджень і практичних методів підвищення експлуатаційної стійкості і довговічності різального інструменту ножниць прокатного виробництва і економічної ефективності процесу різання.

Ключові слова: зносостійкість, форма ножа, ножовий матеріал, експлуатаційна надійність, наплавлення, криогенна обробка.

PhD in Engineering Ul'yanitskiy V. N., PhD in Engineering Petrov P. A., PhD in Economics Ul'yanitskaia O. V., Bilan G. A. (DonSTU, Alchevsk, LPR)

ANALYZING THE EFFICIENCY OF METHODS TO ENHANCE THE RESISTANCE AND DURABILITY OF THE ROLLING SHEAR CUTTING TOOL

The analysis of researches and practical methods of increasing the service durability and longevity of the rolling shear cutting tool and economic efficiency of cutting process is fulfilled.

Key words: wear resistance, blade shape, blade material, service reliability, surfacing, cryogenic treatment.