

КРИОГЕННОЕ УПРОЧНЕНИЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ НОЖЕЙ ИЗ СТАЛИ 9ХС ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ИХ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ

¹КОКОРИН Н. А., ²ТАРАСОВ В. В., ³ТРИФОНОВ И. С.

¹ООО «НПЦ «КриоТехРесурс», 426028, г. Ижевск, ул. Пойма, 3а

²Институт механики Уральского отделения РАН, 426067, г. Ижевск, ул. Т. Барамзиной, 34

³Ижевский государственный технический университет имени М.Т.Калашникова,
426069, г. Ижевск, ул. Студенческая, 7

АННОТАЦИЯ. В работе рассмотрена технология криогенной обработки, цель которой состоит в переводе остаточного аустенита в мартенсит для повышения твердости и износостойкости закаленной стали 9ХС. Отмечено, что изменение разброса твердости и коэрцитивной силы являются независимыми информационными параметрами. В результате криогенного упрочнения изделий из стали 9ХС наблюдается незначительный рост твердости, в среднем на 0,3 единицы HRC (max – 1,0 HRC). Также растет и коэрцитивная сила. Средний прирост коэрцитивной силы составил 2,5 А/см (max 7,0 А/см). После криогенного упрочнения разброс коэрцитивной силы снизился с 49 до 10 %. Триботехнические испытания по закрепленному абразиву показали, что износостойкость упрочненной криогенным воздействием стали 9ХС повысилась на 31 %.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: сталь 9ХС, промышленные ножи, криогенное упрочнение, режимы обработки, контроль, коэрцитивная сила, твердость, износостойкость, испытания, абразивное изнашивание.

ВВЕДЕНИЕ

Промышленные ножи широко применяются при обработке бумаги, картона, гофрокартона, полиэтилена, пластиков, резины, нетканых материалов, а также при переработке рыбы, мяса и других продуктов в пищевой промышленности. Ножи должны иметь высокую твердость и прочность, износостойкость, сопротивляемость механическим и термическим ударам. Поэтому ножи изготавливаются из качественной легированной инструментальной стали различных марок и термически обрабатываются на высокую твердость.

Эксплуатационный ресурс промышленных ножей определяется их стойкостью между переточками и количеством возможных переточек. Стойкость ножей между переточками может определяться различными способами, а именно:

- действительным временем резания;
- полным машинным временем (в случае перерывов в работе);
- длиной пути резания;
- объемом изготовленной продукции;
- скоростью резания при постоянном времени работы.

Каждый из этих методов имеет определенную область применения и связан с затуплением инструмента. Затупление инструмента в свою очередь в основном определяется степенью износа ножей.

Применение для изготовления промышленных ножей легированной стали 9ХС обеспечивает получение повышенной прокаливаемости инструмента. Основным легирующим элементом данной стали является хром. Хром повышает закаливаемость материала и вводится во многие инструментальные стали в качестве карбидообразующего элемента. Введение кремния в хромистую инструментальную сталь понижает критическую скорость закалки, увеличивает прокаливаемость, повышает сопротивление истиранию и улучшает режущие свойства стали.

Износостойкость промышленных ножей традиционно повышают термической обработкой. Срок службы промышленных ножей за счет применения объемной термической обработки возрастает в несколько раз. Сталь 9ХС отжигают при 800 – 820 °С, скорость

охлаждения от 30 до 40 град/час. После отжига сталь имеет твердость 228 – 255 единиц НВ. Для получения более равновесной структуры и ускорения процесса отжига вместо обычного отжига рекомендуется проводить изотермический отжиг, включающий нагрев до температуры 800 – 820 °С, более быстрое охлаждение до температуры 700 – 720 °С, выдержка в течение 2 – 3 часов и охлаждение с печью до температуры цеха. Объемная закалка от температуры 850 – 860 °С осуществляется как в масле, так и в горячих средах (расплавленных солях и щелочах) с выдержкой до 60 – 180 минут при температуре 160 – 190 °С. Твердость стали 9ХС после закалки и отпуска при температуре 180 – 200 °С составляет 62 – 64 единицы HRC. При отжиге и закалке стали 9ХС необходима тщательная защита инструмента от обезуглероживания. Перегрев при объемной закалке и применение непродолжительной изотермической выдержки при температуре 160 °С сохраняет большое количество остаточного аустенита в структуре стали 9ХС.

К объемным методам термической обработки относится и криогенная обработка. Криогенная обработка – это термическое упрочнение металлопродукции сверхнизкими температурами (до минус 196 °С). В результате криогенного воздействия изменяется структурно-фазовый состав материала. В настоящее время накоплен положительный опыт по криогенной обработке серого чугуна и стального инструмента для обработки металлов давлением и резанием. Например, эксплуатационные испытания рабочих валков (для трубы 20×20 мм) из стали Х12МФ, упрочненных криогенной обработкой на Альметьевском трубном заводе, показали повышение износостойкости на 20 – 25 % [1].

Цель криогенной обработки стали 9ХС заключается в переводе остаточного аустенита в мартенсит и, таким образом, повысить твердость и сопротивление истиранию закаленной стали. Криогенному упрочнению подвергались восемь партий промышленных ножей различной конфигурации (рис. 1), готовых к эксплуатации. В каждой партии было от 15 до 40 ножей.



Рис. 1. Промышленные ножи различной конфигурации

Криогенная обработка промышленных ножей проводилась как самостоятельная упрочняющая операция. Партии ножей охлаждались до температуры минус 196 °С, выдерживались при этой температуре, возвращались к комнатной температуре, а затем отпускались с целью снятия внутренних напряжений. Криогенное упрочнение представленных деталей проводилось с использованием криогенного оборудования (рис. 2), включающего криогенный процессор модели «ККО-0,2» и сосуд для криогенных жидкостей DPW 785, предназначенный для транспортировки, хранения жидкого азота и выдачи его в газообразном состоянии. Криогенный процессор состоит из криогенной камеры и системы управления процессом криогенной обработки. Внутри криогенной камеры размещается объект обработки и изолируется от внешней среды. Управление температурно-временными параметрами процесса обработки осуществляется с помощью программно-аппаратных средств.



Рис. 2. Криогенный процессор «ККО-0,2»

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Способность материала ножей сопротивляться пластической деформации при локальных контактных воздействиях или хрупкому разрушению в поверхностном слое характеризуется твердостью. Результаты исследования средней твердости партий промышленных ножей по серии из 10 измерений на каждом ноже до и после криогенного упрочнения приведены на рис. 3.

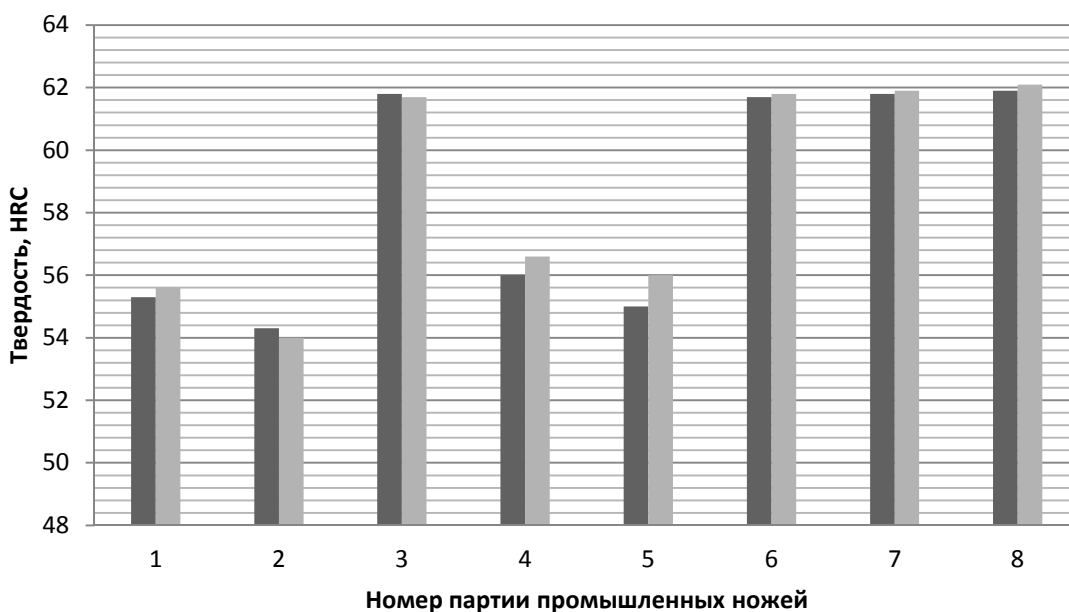


Рис. 3. Изменение твердости промышленных ножей после криогенной обработки

Твердость 1, 2, 4 и 5 партий ножей в состоянии поставки составляла от 54 до 57 единиц HRC, а партий 3, 6, 7 и 8 составляла от 60 до 62 единиц HRC. В результате криогенного упрочнения твердость незначительно выросла в среднем на 0,3 единицы HRC. У партий номер 2 и 3 наблюдается незначительное снижение твердости ножей после криогенной обработки (также в пределах ошибки измерения). Наибольший прирост твердости наблюдается у партии ножей номер 5 и составляет 1,0 HRC, что не может оказать существенного влияния на хрупкость разрушения в поверхностном слое ножей.

Для оценки стабильности технологического процесса объемной термообработки и упрочняющей криогенной обработки проводилось исследование разброса твердости по сериям ножей. Разброс значений твердости тесно связан с изменениями микроструктуры исследуемых материалов при обработке холодом [2]. Изменения средних значений разброса твердости по партиям ножей до и после криогенного воздействия приведены на рис. 4.

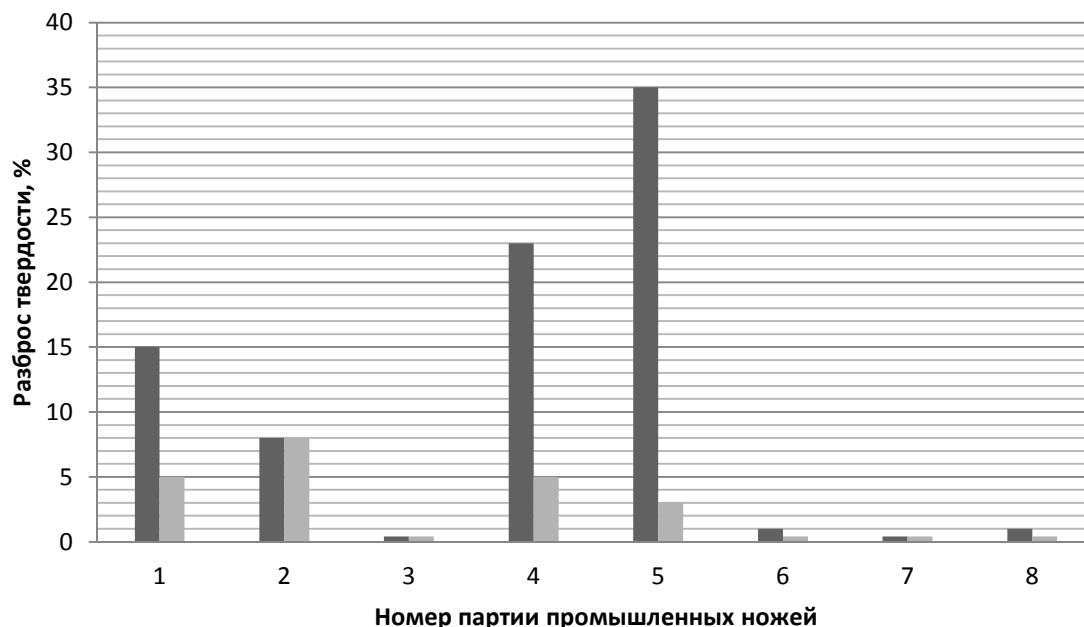


Рис. 4. Снижение разброса твердости промышленных ножей после криогенной обработки

Исходная твердость 1, 4 и 5 партий ножей в состоянии поставки имеет значительные колебания (рис. 4). Так в первой партии разброс твердости составил 15 % (8,4 единицы HRC) при наименьшем значении 51,1 HRC, и наибольшем – 59,5 HRC. На ножах из 4 и 5 партий разброс твердости соответственно составил 23 % (12,8 единиц HRC) и 35 % (19,2 единицы HRC). При столь значительных разбросах твердости материала после объемной термообработки трудно обеспечить стабильность технологии и качество продукции.

В результате криогенного упрочнения наблюдается снижение разброса твердости на партиях 1, 4, 5, 6 и 8, вместе с тем на ножах из партий 2, 3 и 7 разброс твердости сохранился на том же уровне. Ни в одной из восьми партий ножей не зафиксирован прирост разброса твердости в результате криогенной обработки. На ножах из 1, 4 и 5 партий разброс твердости, в результате криогенного воздействия, соответственно составил 5 % (2,8 единиц HRC), 5 % (2,8 единиц HRC) и 3 % (1,7 единиц HRC). Таким образом, криогенная обработка, позволила устранить неоднородную твердость ножей после объемной закалки.

Неразрушающим контролем качества термической обработки, а также контролем напряженно-деформированного и структурного состояния металла является изменение значения коэрцитивной силы. Коэрцитивная сила, как косвенный показатель уровня внутренних напряжений материала, в результате криогенного воздействия растет [2]. Результаты исследования средних значений коэрцитивной силы промышленных ножей по серии из 5 измерений на каждом ноже до и после криогенного упрочнения приведены на рис. 5.

Значения коэрцитивной силы 1, 2, 4 и 5 партий ножей в состоянии поставки составили соответственно 40,1; 59,0; 63,7 и 63,9 А/см. Как видно наименьшее среднее значение коэрцитивной силы после объемной закалки из всей выборки имеет первая партия ножей, а наибольшее – пятая.

После криогенного упрочнения коэрцитивная сила выросла на всех партиях ножей, кроме первой (снижение на 0,4 А/см). Средний прирост коэрцитивной силы составил 2,5 А/см, причем наибольшее ее значение (7,0 А/см) зафиксировано в 6 и 7 партии, а наименьшее в 4 и 5 партии, что составляет 0,1 и 0,5 А/см соответственно.

Сравнение твердости и коэрцитивной силы после криогенного упрочнения (рис. 3 и 5) показало, что между этими параметрами отсутствует прямая взаимосвязь. Если у партий 2 и 3 наблюдается незначительное снижение твердости ножей после обработки холодом (рис. 3), то коэрцитивная сила в этих партиях, напротив, растет (рис. 5).

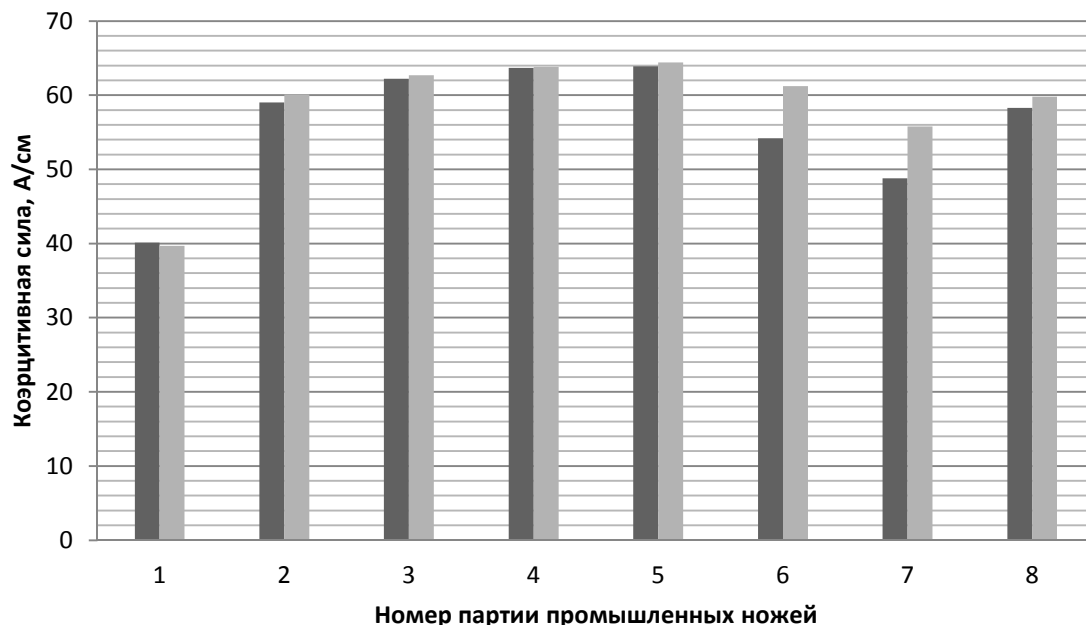


Рис. 5. Прирост коэрцитивной силы промышленных ножей после криогенной обработки

Разброс значений коэрцитивной силы характеризует неоднородность напряженно-деформированного и структурного состояния контролируемого материала. В большинстве случаев разброс снижается после криогенного упрочнения. Изменения (прирост или снижение) коэрцитивной силы аналогичны изменениям разброса значений твердости стали после обработки холодом. Результаты исследования разброса коэрцитивной силы представлены на диаграмме (рис. 6).

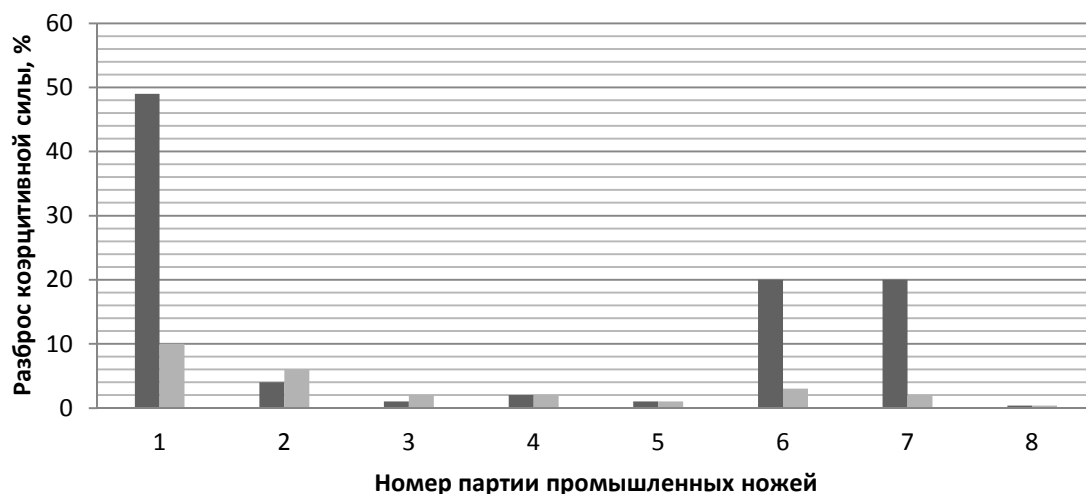


Рис. 6. Снижение разброса коэрцитивной силы промышленных ножей после криогенной обработки

В проведенных исследованиях разброс коэрцитивной силы всей выборки ножей характеризуется значительной нестабильностью после объемной закалки. Причем наибольшее значение обнаружено у первой партии – 49 %, а наименьшее (равное нулю) у восьмой партии. После обработки холодом картина меняется – так для восьмой партии разброс сохранил минимальное нулевое значение, как и после объемной закалки, а максимальный разброс отмечен у первой партии – 10%, что значительно лучше, чем до обработки.

В целом после криогенного упрочнения у партий 1, 6 и 7 наблюдается значительное снижение, у 4, 5 и 8 партий изменений не замечено, а у партий 2 и 3 есть прирост разброса коэрцитивной силы (рис. 6).

Анализ результатов разброса значений твердости и коэрцитивной силы, представленных на рис. 4 и 6, показал отсутствие корреляции в изменениях (прирост или снижение) исследуемых параметров по всей совокупности партий промышленных ножей. Только у партий 1 и 6 отмечается снижение разброса твердости и коэрцитивной силы в результате криогенного воздействия. Поэтому, в рамках проведенных исследований изменение разброса твердости и коэрцитивной силы можно считать независимыми информационными параметрами структурно-фазовых превращений в материале ножей после обработки холодом.

Для изучения влияния криогенного воздействия на абразивную износостойкость стали 9ХС исследуемые образцы (исходная твердость HRC 51...52) подвергались изнашиванию по закрепленному абразиву по стандартной схеме «палец – диск», но с заменой наиболее часто используемой траектории движения по архимедовой спирали на прямолинейные участки при соблюдении условия изнашивания по свежему следу [3, 4]. Триботехнические испытания образцов проводились на трехкоординатном фрезерном станке с ЧПУ модели КХЗА. Исследуемый цилиндрический образец из стали 9ХС закрепляется в шпинделе станка и нагружается осевой силой тарированной пружины, расположенной внутри шпинделя. Листовой абразивный материал закрепляется на столе фрезерного станка. Рабочая поверхность образца для достижения плотного прилегания к абразивной поверхности предварительно прирабатывается.

Основными параметрами испытаний являются: сила нагружения образца $N = 4Н$; скорость перемещения $F = 500$ мм/мин; путь трения $L = 415$ мм. Варьируемый параметр – зернистость абразива (электрокорунда) Р240 и Р400. Весовой износ определялся с точностью до 0,0001 грамма на аналитических весах ВЛ-120. Результаты испытаний на абразивный износ представлены в таблице.

Таблица

Прирост износостойкости стали 9ХС в результате криогенной обработки (КО)

№ п/п	Зернистость абразива	Весовой износ, z		$(I_{исх} - I_{КО}), z$	Повышение износостойкости $(I_{исх} / I_{КО}), \%$
		до КО, $I_{исх}$	после КО, $I_{КО}$		
1	Р400	0,0062	0,0043	0,0019	31
2	Р240	0,0138	0,0113	0,0025	18

Увеличение размера абразивного зерна приводит к повышению интенсивности изнашивания, поэтому и прирост износостойкости на крупном абразивном зерне (Р240) уступает износостойкости упрочненной инструментальной стали испытанной в условиях мелкого абразивного зерна (Р400). Износостойкость, упрочненной криогенным воздействием стали 9ХС, повысилась на 31 %.

ВЫВОДЫ

Криогенная обработка является эффективным средством перевода остаточного аустенита в мартенсит, повышения твердости и износостойкости закаленной стали 9ХС.

В результате криогенного упрочнения закаленных ножей из стали 9ХС наблюдается незначительный рост твердости, в среднем на 0,3 единицы HRC. На двух партиях ножей из восьми зафиксировано незначительное снижение твердости инструмента (в пределах ошибки измерения) после обработки холодом. Наибольший прирост твердости в результате криогенного упрочнения закаленных промышленных ножей составил 1,0 HRC, однако это не может оказать существенного влияния на хрупкость разрушения в поверхностном слое ножей.

Стабильность технологического процесса объемной термообработки и упрочняющей криогенной обработки оценивалась процентным разбросом твердости ножей, так как разброс твердости тесно связан с изменениями микроструктуры исследуемого материала. Исследования показали, что разброс твердости 50 % закаленных ножей из восьми партий превышает 4 единицы HRC. В результате криогенного упрочнения инструмента ни в одной из восьми партий ножей не зафиксирован прирост разброса твердости. На упрочненных ножах из дефектных партий разброс твердости в результате криогенного воздействия не превышает 2,8 единицы HRC. Таким образом, криогенная обработка позволила устранить неоднородную твердость ножей после объемной закалки.

Коэрцитивная сила, как косвенный показатель уровня внутренних напряжений и структурного состояния материала, в результате криогенного воздействия на закаленный инструмент растет. Средний прирост коэрцитивной силы составил 2,5 А/см. Наибольший прирост коэрцитивной силы равный 7,0 А/см имеют 6 и 7 партии промышленных ножей в результате криогенного упрочнения.

Разброс коэрцитивной силы характеризует однородность напряженно-деформированного и структурного состояния контролируемого материала. Разброс коэрцитивной силы исследованных партий промышленных ножей в результате объемной закалки составляет от 0 до 49 %, а в результате криогенного упрочнения снижается и составляет от 0 до 10 %.

В результате криогенного упрочнения установлен прирост износостойкости на 18 % при испытании образцов из стали 9ХС на крупном абразивном зерне и на 31 % – при изнашивании на мелком абразивном зерне.

Наибольшее повышение износостойкости, в результате криогенного упрочнения имеют ножи, у которых зафиксирован незначительный рост коэрцитивной силы и твердости, но при этом наблюдаются минимальные значения разброса коэрцитивной силы и твердости как до, так и после криогенной обработки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кокорин Н. А. Повышение ресурса прокатных валков криогенной обработкой // Труды X конгресса прокатчиков. Том 2. М.: ООО «ВАШ ФОРМАТ», 2015. С. 217-220.
2. Данилов И. А., Кокорин Н. А., Кондратенков М. С. Повышение абразивной износостойкости чугуна криогенным воздействием // Литейное производство. 2015. № 12. С. 7-10.
3. Тарасов В. В., Данилов И. А., Кокорин Н. А., Кондратенков М. С., Трифонов И. С. Исследование абразивной износостойкости серого чугуна с криогенным упрочнением // Труды научных исследований «Механика и физико-химия гетерогенных сред, наносистем и новых материалов». Ижевск: Изд-во ИМ УрО РАН, 2015. С. 190-198.
4. Тарасов В. В., Трифонов И. С. Развитие метода изнашивания материалов по закрепленному абразиву // Химическая физика и мезоскопия. 2015. Т. 17, № 1. С. 143-149.

INCREASE of WEAR RESISTANCE of INDUSTRIAL STEEL KNIVES 9XC CRYOGENIC HARDENING

¹Kokorin N. A., ²Tarasov V. V., ³Trifonov I. S.

¹Ltd "SPC" KrioTehResurs ", Izhevsk, Russia

²Institute of Mechanics, Ural Branch of the Russian Academy of Science, Izhevsk, Russia

³Kalashnikov Izhevsk State Technical University, Izhevsk, Russia

SUMMARY. Industrial knives are widely used in paper, plastics, rubber, etc., they must have a high hardness and strength, wear resistance, resistance to mechanical and thermal shock. Use for the manufacture of industrial knives stainless steel 9XC (C ≈ 0.9 %, Cr ≈ 1 %, Si ≈ 1.2 %) ensures high hardenability tool. The paper considers the technology of cryogenic processing, the purpose of which is to transfer the residual austenite in martensite to increase the hardness and durability of hardened steel 9XC. Cryogenic hardening subjected to eight parties of industrial knives, various configuration ready for exploitation. Lot size from 15 up to 40 articles. Knives cooled to a temperature of minus 196 °C, were kept at it, return to room temperature and then dispensed with the goal of removing internal stresses. Evaluation of stability of the technological process of bulk thermal and cryogenic processing was spread hardness parties knives, and for controlling the level of internal stress of the material and structural State of metal after cryogenic impact-on coercive force. Noted that the change in the variability of coercive force and hardness are independent information parameters. As a result of cryogenic hardening products, made of steel 9XC there has been a slight increase in hardness, by an average of 0.3 units HRC (max 1.0-HRC). In this variation of hardness 50 % hardened knives from eight parties exceeds 4 units of HRC. As a result of cryogenic hardening in none of the eight parties not scatter gains recorded knives hardness. The toughened knives variation of hardness, resulting in cryogenic exposure does not exceed 2.8 units of HRC. Thus, cryogenic treatment, eliminated heterogeneous firmness of knives after hardening. As a result of coercivity of cryogenic impact on hardened tool grows. The average gain of coercive force amounted to 2.5 a/cm (max 7.0 a/cm). After cryogenic hardening scatter coercive force declined from 49 to 10 %. Tribotechnical tests contained abrasive revealed that the wear resistance hardened steel influence Cryo 9XC increased by 31 %.

KEYWORDS: steel 9XC, industrial knives, hardening, cryogenic processing modes, control, coercivity, hardness, wear resistance, testing, abrasive wear.

REFERENCES

1. Kokorin N. A. Povyshenie resursa prokatnykh valkov kriogennoy obrabotkoy [Improving resource rolls cryogenic processing]. *Trudy X kongressa prokatchikov. Tom 2* [Proceedings of X Congress of distributors. Vol. 2]. Moscow: OOO VASh FORMAT Publ., 2015, pp. 217-220.

2. Danilov I. A., Kokorin N. A., Kondratenkov M. S. Povyshenie abrazivnoy iznosostoykosti chuguna kriogennym vozdeystviem [Increasing the abrasive wear resistance of cast iron cryogenic exposure]. *Liteynoe proizvodstvo* [Foundry], 2015, no. 12, pp. 7-10.

3. Tarasov V. V., Danilov I. A., Kokorin N. A., Kondratenkov M. S., Trifonov I. S. Issledovanie abrazivnoy iznosostoykosti serogo chuguna s kriogenym uprochneniem [Investigation of the abrasive wear resistance of cast iron with a cryogenic hardening]. *Mekhanika i fiziko-khimiya geterogennykh sred, nanosistem i novykh materialov* [Mechanics and physics and chemistry of heterogeneous environments, nanosystems and new materials]. Izhevsk: IM UrO RAN Publ., 2015, pp. 190-198.

4. Tarasov V. V., Trifonov I. S. Razvitie metoda iznashivaniya materialov po zakreplennomu abrazivu [Development of the method of the wear of materials on the fixed abrasive]. *Khimicheskaya fizika i mezoskopiya* [Chemical physics and mezoscopy], 2015, vol. 17, no. 1, pp. 143-149.

Кокорин Николай Анатольевич, кандидат технических наук, руководитель отдела научных исследований ООО «НПЦ «КриоТехРесурс», тел. 8(3412) 334-455, e-mail: info@cryotech.ru

Тарасов Валерий Васильевич, доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник ИМ УрО РАН, e-mail: tvv@udman.ru

Трифонов Игнат Сергеевич, аспирант ИЖГТУ имени М.Т. Калашникова, e-mail: mike_i_90@mail.com