

УДК 621.979.073

**Маковой В. А.
Бородий Ю. П.****ФОРМИРОВАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ КОМБИНИРОВАННЫХ
ИЗНОСОСТОЙКИХ ПОКРЫТИЙ РЕЖУЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ ШТАМПОВ**

Условиями эффективной эксплуатации штампов и деталей машин, например колесных пар железнодорожного транспорта, является качественный и быстрый их ремонт. Вырубные и пробивные штампы относятся к экстремально нагруженным трибосистемам. Взаимодействие между инструментом и заготовкой локализовано в непосредственной близости от рабочей кромки [1, 2], где в узкой контактной зоне возникают высокие нагрузки, величина которых может достигать 1500...1800 МПа. Для технологической оснастки (штампов, прессформ), конструктивных элементов транспортных средств, в том числе рельсов и колес железнодорожного транспорта, выход из строя тяжело нагруженных деталей узлов трения при ограниченной смазке связано с двумя конкурирующими процессами – износом и поверхностной усталостью. Эти детали и конструктивные элементы изготовлены главным образом из легированных высокоуглеродистых сталей (с содержанием углерода более 0,7%). Предотвращение износа возможно нанесением износостойких покрытий различными методами (электроискровым легированием, газоплазменным, ионно-плазменным покрытием). Но проведенные исследования на чеканочных и вырубных штампах указывают на их эффективность на начальной стадии – на этапе приработки узла трения. Износ замедляется, но процесс не прекращается, благодаря поверхностной усталости твердого покрытия и его небольшой толщине. В случае присутствия абразивных частиц процесс значительно ускоряется. В настоящее время распространен наиболее дешевый метод упрочнения элементов конструкций и режущих кромок – электроискровое легирования (ЭИЛ) с использованием твердых сплавов. Требования к электроискровому легированию, которые гарантируют надежную работу конструкций и оборудования, включают правильный выбор материалов электродов, технологических режимов ЭИЛ, подготовку упрочняемой поверхности [3–5]. В качестве материалов электродов используют твердые сплавы на основе карбидов вольфрама и титана. Кинетика формирования покрытий характеризуется количеством перенесенного материала электрода [3, 6]. На свойства легированного слоя влияет фазовый состав электродного материала. В процессе легирования имеет место периодическая смена величин эрозии твердых сплавов [6]. Это связано с тем, что при ЭИЛ материал электрода переносится на деталь в трех агрегатных состояниях

$$\Delta e = \Delta n + \Delta ж + \Delta хр,$$

где Δn – количество материала в паровой фазе; $\Delta ж$ – количество материала в жидкостной фазе; $\Delta хр$ – количество материала в твердой фазе (за счет хрупкого разрушения).

Количество материала электрода в паровой Δn и жидкостной $\Delta ж$ фазах примерно одинаково за каждый импульс тока. Количество твердой составляющей, которая переносится на деталь, может быть различным за каждый импульс тока. В случае ЭИЛ сплавами ВК-20 и ВК-25, имеющим в своем составе большое содержание легкоплавкого кобальта, эрозия электрода происходит за счет плавления и испарения. Чем меньше кобальта в твердом сплаве, тем больше его хрупкость, тем больше твердая фаза при переносе материала электрода [6]. Электроискровое легирование представляет собой сложный нелинейный процесс, который зависит от таких характеристик ЭИЛ, как величина и продолжительность импульса и размер межэлектродного промежутка. Практически не исследовано влияние состояния поверхности детали и ее физико-механических свойств на формирование электроискровых покрытий.

Целью работы является исследование влияния поверхностного пластического деформирования деталей и режущих кромок штампов при формировании электроискровых покрытий.

тий, разработка комбинированных методов нанесения износостойких покрытий и исследование их эксплуатационных свойств.

Роль твердых частиц, находящихся на рабочей поверхности детали или на поверхности режущей кромки штампа, не исчерпывается их высокой износостойкостью. Можно предположить, что они блокируют пластическое течение металла из зоны контакта, где создается высокое давление. Важное значение имеет прочность соединения твердых частиц с основным материалом. Материал режущих кромок и твердые частицы должны работать как единое целое, что возможно обеспечить комбинированными методами нанесения износостойких покрытий. При ЭИЛ поверхности режущей кромки твердым сплавом образованные структурные элементы, их количество и характер расположения зависят также от начального структурного состояния поверхностного слоя, точнее от энергетического состояния атомов на поверхности. Оно может быть изменено методами поверхностного пластического деформирования. Плотность дислокаций, например, в стали 45 после обкатки шариком увеличивается на порядки. Если рассмотреть пространство возле дислокации как пространство с атомами повышенной активности, то число зон повышенной активности на поверхности увеличивается в тысячи раз, что значительно увеличивает диффузионные процессы. По мере увеличения деформации в металле происходит создание блоков и их разворот [7]. При воздействии электрического разряда в металле протекают процессы, связанные с высокоскоростным нагревом локальных зон до температур фазовых превращений, а возможно, и до температур плавления, с последующей кристаллизацией и закалкой. Происходит диффузия элементов электрода в поверхностный слой детали. В поверхностных слоях возникают структуры в виде линз, которые остаются белыми после травления (рис.1).

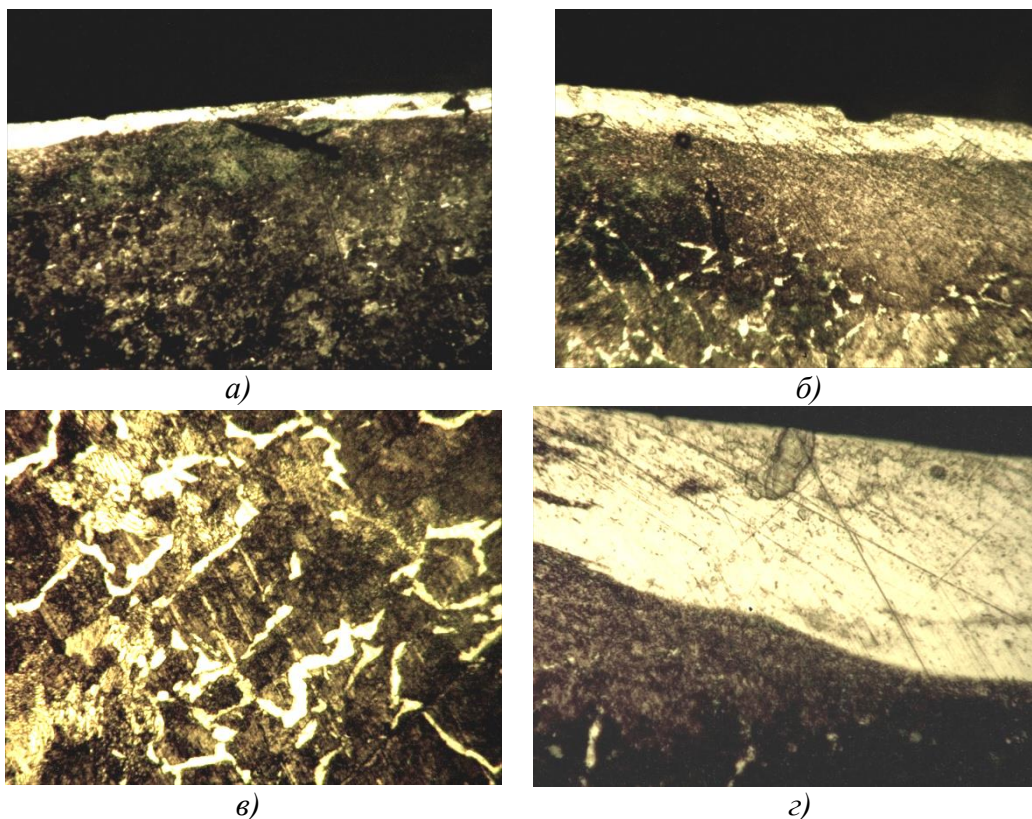


Рис.1. Структурные изменения поверхностного слоя при электроискровом легировании поверхности образца из стали У7 комбинированным способом:

а – увеличение, 100х; *б* – увеличение, 200х; *в* – материал основы, 400х; *з* – переходная и упрочненная зоны, 400х

В работе исследован способ поверхностного пластического деформирования кольцевого образца путем обкатки шариком. Этот способ нашел практическое применение и позво-

ляет многократно пластически деформировать рабочую поверхность до и после ЭИЛ на универсальном оборудовании (рис 2). При этом для исследований были использованы стали различных классов: ШХ 15, У7 и Ст.45 (в отожженном и закаленном состояниях).

При многократном повторном легировании по технологии: предварительное ППД обкаткой шариком - ЭИЛ твердым сплавом - ППД обкаткой шариком - ЭИЛ твердым сплавом – ППД обкаткой шариком возникают закаленные участки слоистой структуры из закаленных и несколько раз объемов, в которых повышенный состав карбидов вольфрама и линз. При пластическом деформировании поверхностного слоя происходит деформирование, измельчение и образование вторичных структур, состоящих из перенесенных карбидов и основного материала.

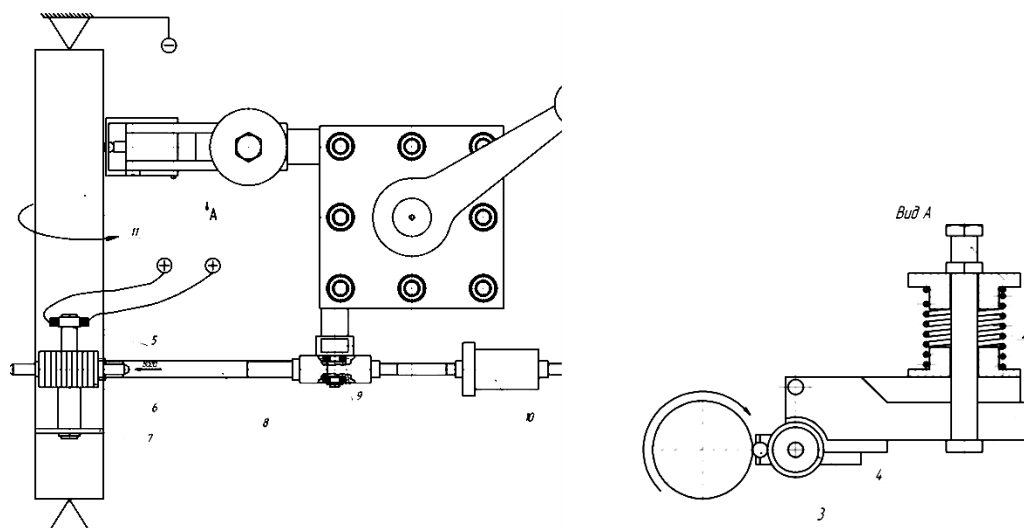


Рис. 2. Схема формирования комбинированного износостойкого покрытия на валах (1 – регулировочный винт, 2 – пружина, 3 – шарик, 4 – подшипник, 5 – графитовые щетки, 6 – радиатор, 7 – электрод, 8 – штанга, 9 – подшипники, 10 – противовес, 11 – вал)

Обкатка шариком после ЭИЛ дает возможность проведения повторного ЭИЛ, увеличивает толщину упрочненного слоя и его плотность. В случае высокоуглеродистых сталей многократное ЭИЛ и обкатку шариком проводят перед термообработкой.

Разработанная технология повышения износостойкости режущих кромок штампов, гребней колесных пар локомотивов, валов цементных фасовочных машин, которая включает предварительное поверхностное пластическое деформирование шариком и механизированное ЭИЛ твердым сплавом. Режим обработки обкаткой должен быть оптимальным. В первую очередь это относится к усилию обкатки (давления шарика на деталь), подачи и количества проходов. Определение режимов обкатки осложняется тем, что зависимость между ней и степенью упрочнения и шероховатостью нелинейная. Некоторая оптимизация по усилию для шарика 10 мм проведена в работе [7]. Установлено, что оптимальным для пластичных сталей является нагрузка 200...350 кг. Увеличение давления на поверхность приводит к нарушению целостности металла на поверхности и возникновению шелушения поверхности. Твердость деталей при обкатке не должна превышать 50 HRC.

По предложенной технологии формируется упрочненный поверхностный слой, твердость которого на поверхности достигает 1200 HV. Его приработка сопровождается полировальным эффектом

Предварительно были проведены исследования поверхностного пластического деформирования цилиндрических образцов диаметром 40 мм из стали 45 (HV 414...420) обкаткой шариком. При этом исследовали влияние величины усилия, приложенного к шарик (рис. 3), и количества проходов на твердость, которую измеряли микротвердомером ПМТ-3.

В результате исследований установлено увеличение твердости в 1,25 раза после обкатки за 4 перехода с усилием 1,6 кН, и в 1,5 раза после обкатки с усилием 2,4 кН за 4 перехода. Увеличение количества переходов до 8 не приводит к увеличению твердости на поверхности.

Влияние комбинированной обработки (ППД шариком с усилием 1,6 кН, 4 перехода, механизированное электроискровое легирование в мягком режиме (сила тока в импульсе разряда 35...40А), ППД шариком с усилием 1,6 кН, 4 перехода) изучали на цилиндрических образцах диаметром 40 мм из стали 45 (HV 414...420). Установлено увеличение твердости в 1,8...2 раза (рис. 4).

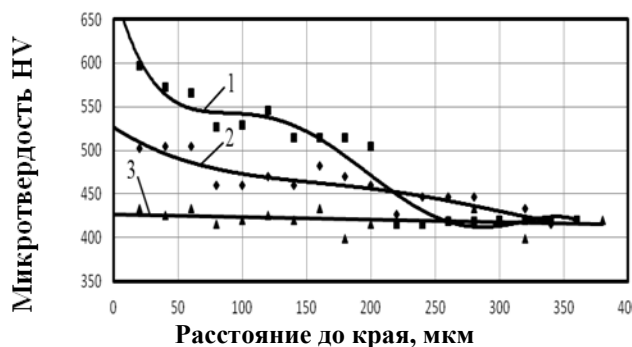


Рис. 3. Влияние обкатки шариком с разным усилием на микротвердость закаленной стали 45 (HV 414...420): 1 – обкатка усилием 2,4 кН за 4 перехода; 2 – обкатка усилием 1,6 кН за 4 перехода; 3 – без обработки

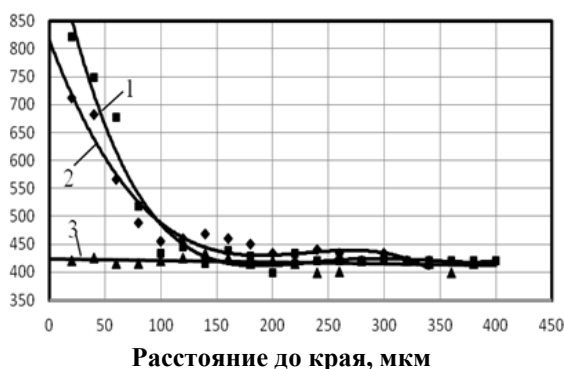


Рис.4. Влияние комбинированной обработки (обкатка шариком с разным усилием, электроискровое легирование и обкатка шариком) на микротвердость закаленной стали 45 (HV 414...420): 1 – обработка усилием 2,4 кН за 4 перехода; 2 – обработка усилием 1,6 кН за 4 перехода; 3 – без обработки

Для лабораторной оценки эффективности упрочнения проводили исследования на машине трения М-22М по схеме (рис. 5) с охлаждением образца водой. Исследования показали увеличение износостойкости отожженной стали У7 (HV 220...240) с комбинированным покрытием после пробега 25 км - в 4 раза, при пробеге 50 км - в 2,5 раза (рис. 5), а закаленной стали 45 (HV 337 и HV 420) с комбинированным покрытием после пробега 22 км в 5 раз (рис. 6). Это свидетельствует о том, что на стадии приработки износостойкость покрытия значительно выше, чем на устойчивой стадии.

Для повышения стойкости режущих элементов штампов в условиях производства разработана технология создания комбинированных покрытий с использованием ЭИЛ сначала твердым сплавом, затем графитовым электродом, снова ЭИЛ твердым сплавом и графитом. Натурные испытания режущих элементов из стали ШХ 15 (HRC 61...63) после нанесения комбинированных покрытий твердым сплавом и графитом проведены на экспериментальном оборудовании для резки проволоки (рис. 7).

Износ ножей при резке стальной проволоки Ø 1 мм после отжига определяли измерением величины заусенца после каждой тысячи деталей с помощью инструментального оптического микроскопа. Результаты исследований влияния комбинированного покрытия на стойкость ножей приведены на рис. 8. Проведенные исследования показали увеличение стойкости ножей в 2 раза.

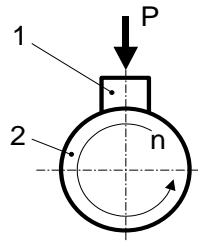


Рис. 5. Схема испытаний на износ кольцевых образцов (1 – контрольный образец, 2 – образец)

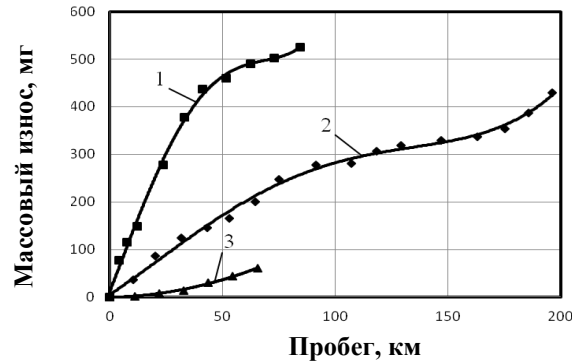


Рис. 6. Зависимость массового износа образцов из стали У7 (HV 220...240) после комбинированной обработки (обкатка шариком с усилием 1,6 кН, электроискровое легирование и обкатка шариком) от пробега (1 – образец без обработки (P=400 Н), 2 – после обработки (испытания при P=400 Н), 3 – после обработки (испытания при P=300 Н)).

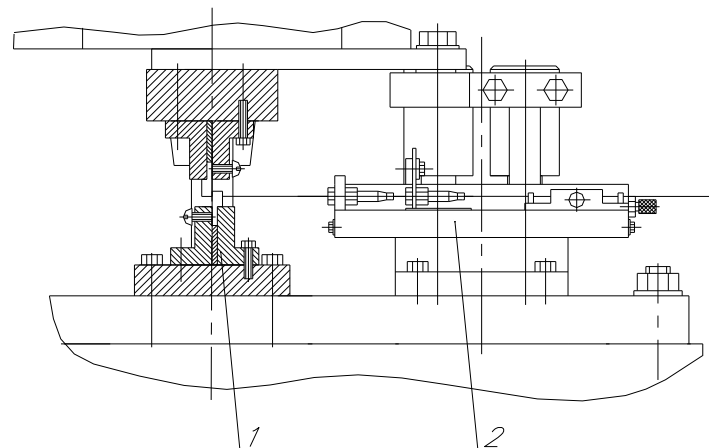


Рис. 7. Схема установки для исследования износа режущих кромок ножей штампов (1 – штамп для резки проволоки; 2 – клиновья подача)

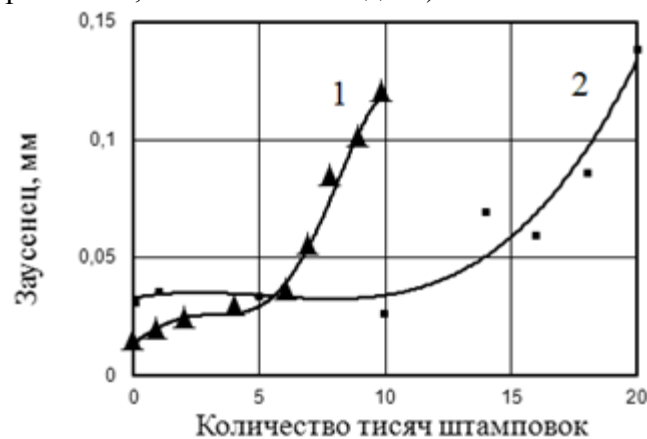


Рис. 8. Стойкость ножей из стали ШХ-15шд после упрочнения комбинированным ЭИЛ твердым сплавом ВК-15 и графитом (1 – до обработки, 2 – после обработки)

Анализ характера износа не упрочненных и упрочненных (рис. 8–10) режущих кромок ножей показал, что комбинированное ЭИЛ высокой твердости тормозит адгезионный износ боковой поверхности ножей, и происходит в основном износ режущих кромок. В случае испытаний ножей без покрытия изнашивается в основном боковая поверхность, что приводит к резкому увеличению заусенца. Величина заусенца в значительной мере зависит от величины износа h боковой рабочей поверхности в направлении вдоль действия усилия резки.

У ножей без покрытия величина износа $h = 0,31$ мм соответствует 8000 штампоударам, а $h=0,88$ мм – 10000 штампоударам, у ножей с твердым покрытием нитридом хрома значительно снижается боковой износ ножа – $h=0,09$ мм, что соответствует 18000 штампоударам (рис. 11). Износ режущей кромки имеет характер смятия.

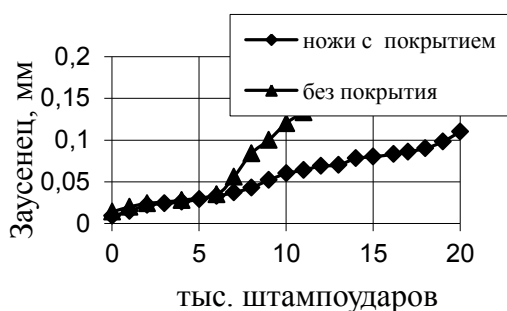


Рис. 9. Стойкость ножей из стали ШХ-15шд без покрытия и с покрытием поверхности нитридом хрома

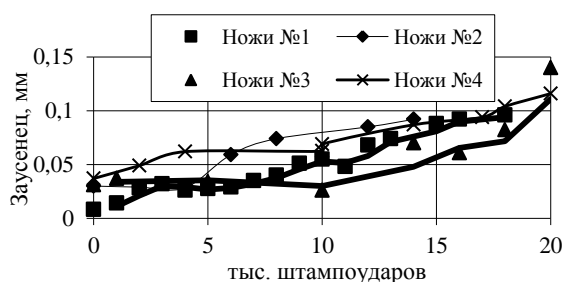


Рис. 10. Стойкость ножей из стали ШХ-15шд после упрочнения электроискровым легированием с использованием различных технологий



Рис. 11. Фотографии боковых поверхностей ножей:

а – нижнего неподвижного без упрочнения (1 отверстие после 8 тыс. штампоударов, $h=0,31$ мм, 2 отверстие после 10 тыс. ударов, $h=0,88$ мм); б – нижнего неподвижного с покрытием нитридом хрома (1 отверстие после 20 штампоударов, $h=0,16$ мм, 2 отверстие после 18 тыс. штампоударов, $h=0,09$ мм), г – верхнего подвижного с электроискровым легированием поверхности твердым сплавом ВК-15 после 18 тыс. штампоударов без видимого износа

ВЫВОДЫ

1. Разработан комбинированный метод нанесения износостойких покрытий, включающий многократное легирование и обкатку шариком по технологии: предварительное ППД шариком – ЭИЛ твердым сплавом с высоким содержанием кобальта – ППД шариком – ЭИЛ – ППД шариком, что позволило сформировать твердый сплошной слой с твердостью до 1200 НV.

2. Исследование износостойкости на машине трения в условиях смазки водой показало, что комбинированное упрочнение высокой твердостью поверхностей трения тормозит адгезионное изнашивание и особенно эффективно на начальной стадии (в 4...5 раз), в дальнейшем – в 2...2,5 раза.

3. Твердые покрытия боковой поверхности вблизи режущих кромок защищают их от износа, что уменьшает размеры заусенца на деталях.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Степанский Л.Г. Усталостная прочность режущих кромок вырубных и пробивных пуансонов и матриц / Л. Г. Степанский, Е. И. Чемерис // Кузнечно-штамповочное производство – 1992. – №8. – С. 7–8.
2. Георгиев М.И. Требования к структуре материалов с точки зрения триботехнических особенностей разрушения поверхности вырубных штампов / М. И. Георгиев, Г. С. Фукс-Рабинович // Трение и износ – 1988. – №6. – С. 1092–1095.
3. Шемегон В.И. Влияние материала электрода на формирование электроискровых покрытий / В. И. Шемегон. – *Металловедение и термическая обработка металлов.* – 2007. – №9. – С. 34–39.
4. Маковей В.А. Влияние электроискрового легирования на износ режущих элементов штампов / В. А. Маковей, Ю. П. Бородий // Кузнечно-штамповочное производство. – 2001. – №9. – С. 30–33.
5. Маковей В.А. Повышение стойкости разделительных штампов / В. А. Маковей, Ю. П. Бородий // Вестник машиностроения. – 2004. – №45. – С. 35–38.
6. Процесс формирования и характеристики упрочненного слоя / Г. В. Самсонов, А. Д. Верхотуров, Е. А. Зайцев, М. А. Воронкин, Л. П. Исаева // Порошковая металлургия. – 1976. – №10. – С. 34–39.
7. Шнейдер Ю.Г. Чистовая обработка металлов давлением. – М.–Л: ГНТИ машиностроительной литературы, 1963. – 263 с., илл.

REFERENCES

1. Stepankij L.G. Ustalostnaja prochnost' rezhushhijh kromok vyrubnyh i probivnyh puansonov i matric / L. G. Stepankij, E. I. Chemeris // Kuznechno-shtampovocnoe proizvodstvo – 1992. – №8. – S. 7–8.
2. Georgiev M.I. Trebovanija k strukture materialov s točki zrenija tribotehnicheskijh osobennostej razrushenija poverhnosti vyrubnyh shtampov / M. I. Georgiev, G. S. Fuks-Rabinovich // Trenie i iznos – 1988. – №6. – S. 1092–1095.
3. Shemegon V.I. Vlijanie materiala jelektroda na formirovanie jelektroiskrovijh pokrytij / V. I. Shemegon. – *Metallovedenie i termicheskaja obrabotka metallov.* – 2007. – №9. – S. 34–39.
4. Makovej V.A. Vlijanie jelektroiskrovogo legirovanija na iznos rezhushhijh jelementov shtampov / V. A. Makovej, Ju. P. Borodij // Kuznechno-shtampovocnoe proizvodstvo. – 2001. – №9. – S. 30–33.
5. Makovej V.A. Povyshenie stojkosti razdelitel'nyh shtampov / V. A. Makovej, Ju. P. Borodij // Vestnik mashinostroenija. – 2004. – №45. – S. 35–38.
6. Process formirovanija i harakteristiki uprochnennogo sloja / G. V. Samsonov, A. D. Verhoturov, E. A. Zajcev, M. A. Voronkin, L. P. Isaeva // Poroshkovaja metallurgija. – 1976. – №10. – S. 34–39.
7. Shnejder Ju.G. Chistovaja obrabotka metallov davleniem. – М.–L: GNTI mashinostroitel'noj literatury, 1963. – 263 s., ill.

Маковей В. А. – канд. техн. наук, доц. каф. МПМ и РП НТУУ «КПИ»

Бородий Ю. П. – канд. техн. наук, доц. каф. МПМ и РП НТУУ «КПИ»

НТУУ «КПИ» – Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», г. Киев.

E-mail: borodiyuriy@ukr.net

Статья поступила в редакцию 18.03.2016 г.