

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ШТОКОВ ГИДРОЦИЛИНДРОВ МЕТОДОМ ЭИЛ

RESTORATION OF HYDRAULIC CYLINDER RODS BY METHOD OF ESA

О.В. КАЗАННИКОВ, к.т.н.
Д.В. ОТМАХОВ, к.т.н.

Тихоокеанский Государственный университет, Хабаровск,
Россия, oleg97k@mail.ru

O.V. KAZANNIKOV, PhD in Engineering
D.V. OTMAKHOV, PhD in Engineering

Pacific National University, Khabarovsk, Russia,
oleg97k@mail.ru

В процессе эксплуатации техники ее конструктивные элементы под влиянием сил трения и окружающей среды подвергаются различным видам износа. Для поддержания подвижного состава в работоспособном состоянии необходимо планомерное осуществление большого комплекса мероприятий, таких как техническое обслуживание, текущий и капитальный ремонт с периодической заменой и восстановлением изношенных деталей и узлов. Очевидно, что поддержание работоспособности современных машин требует высоких технических знаний и современных технологий. Нередко специальные машины, в том числе тракторы и различная сельскохозяйственная техника, оборудованы силовыми гидравлическими системами для выполнения различной тяжелой работы. Исполнительными механизмами таких систем являются гидроцилиндры. Одна из главных особенностей их конструкции и работы состоит в том, что основная и очень точная деталь – шток – в рабочем состоянии находится в ничем не защищенной среде, а именно на открытом воздухе. Спецификой работы тяжелой техники является высокая запыленность, загазованность и присутствие в зоне работы различных абразивных материалов в виде камней и грунта. Находящиеся в данных условиях точные, полированные штоки подвергаются значительному износу. В статье рассматривается возможность восстановления штоков гидроцилиндров при небольших видах износов (царапины и вмятины глубиной не более 0,3 мм) методом электроискрового легирования (ЭИЛ), с созданием на их рабочих поверхностях покрытий, по своим характеристикам идентичным новым. Подобраны электродные материалы и режимы обработки. Выполнены исследования по определению динамической микротвердости созданного покрытия.

Ключевые слова: тракторы, сельхозмашины, восстановление, гидроцилиндры, электроискровое легирование, динамическая микротвердость, приведенная энергия.

Для цитирования: Казанников О.В., Отмахов Д.В. Восстановление штоков гидроцилиндров методом ЭИЛ // Тракторы и сельхозмашины. 2020. № 6. С. 101–107. DOI: 10.31992/0321-4443-2020-6-101-107.

During the operation of equipment, its structural elements under the influence of frictional forces and the environment are exposed to various types of wear. To maintain the rolling stock in a working condition, it is necessary to systematically carry out a large set of measures, such as maintenance, current and overhaul repairs with periodic replacement and restoration of worn parts and assemblies. It is obvious that maintaining the performance of modern machines requires high technical knowledge and modern technology. It is not uncommon for special machinery, including tractors and various agricultural vehicles, to be equipped with hydraulic power systems to perform various heavy operations. The actuating mechanisms of such systems are hydraulic cylinders. One of the main features of their design and operation is that the main and very precise part - the rod in working order is in an unprotected environment, namely in the open air. The specificity of the work of heavy equipment is high dust content, gas pollution and the presence of various abrasive materials in the work area in the form of stones and soil. Under these conditions, the precision, polished rods are subject to significant wear. In this paper, the possibility of restoring hydraulic cylinder rods for small types of wear (scratches and dents of a depth of no more than 0,3 mm) is considered by the method of electrospark alloying (ESA), with the creation of coatings on their working surfaces that are identical in their characteristics to the new ones. Electrode materials and processing modes were selected. Research was carried out to determine the dynamic microhardness of the created coating.

Keywords: tractors, agricultural machinery, recovery, hydraulic cylinders, electrospark alloying, dynamic microhardness, reduced energy.

Cite as: O.V. Kazannikov, D.V. Otmakhov Restoration of hydraulic cylinder rods by method of ESA. Traktory i sel'khoz mashiny. 2020. No 6, pp. 101–107 (in Russ.). DOI: 10.31992/0321-4443-2020-6-101-107.

Введение

Различные гидравлические устройства и системы очень часто применяются в машинах, работающих в тяжелых условиях: тракторах; строительно-дорожных машинах, карьерной технике и машинах сельскохозяйственного назначения. Исполнительными механизмами в гидросистемах, как правило, являются гидроцилиндры различных размеров и конструкций. Несмотря на их различное технологическое назначение, в своей конструкции они непременно имеет шток. В процессе эксплуатации штоки гидроцилиндров подвергаются различным механическим и химическим воздействиям, таким как удары и осаждение на рабочую поверхность различных абразивных материалов. В результате целостность штока нарушается: на нем образуются риски, сколы, царапины и прочие дефекты. Это является одной из основных причин преждевременного выхода из строя штоковых уплотнений и, соответственно, возникновения течи гидравлической жидкости в области уплотнений [1–3].

Гидроцилиндр можно представить как объемный гидравлический движитель, в котором исполнительное звено (поршень) в результате гидравлического давления жидкости совершает линейное движение.

Гидроцилиндры (рис. 1) – это агрегаты, которые в процессе эксплуатации, на практике, дают довольно большую долю отказов в работе гидравлических систем.

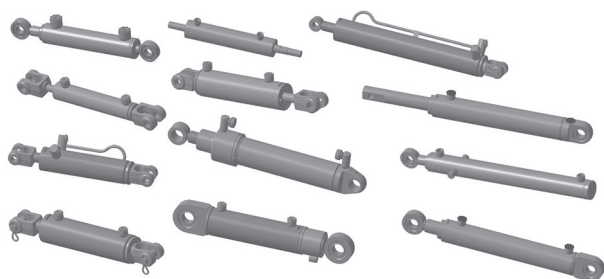


Рис. 1. Силовые гидроцилиндры

Fig. 1. Power hydraulic cylinders

Цель и задачи исследований

Целью данной работы являлось разработка технологического процесса восстановления штоков гидроцилиндров методом электроискрового легирования для обеспечения оптимальных эксплуатационных характеристик поверхностного слоя, увеличения износостой-

кости и стойкости к короблению и, как следствие, повышения их долговечности.

Для достижения указанной цели были разработаны несколько этапов, или задач, выстроенных в логическую цепочку: выбор электродных материалов, используемых для восстановления штоков; выбора установки ЭИЛ; исследование одной из наиболее значимых эксплуатационных характеристик детали – ударной вязкости в зависимости от режимов нанесения покрытий.

Материалы и методы

Существует множество методов восстановления данного вида деталей. Наиболее распространены среди них: наплавка (в среде CO_2 , под слоем флюса, индукционная наплавка ТВЧ); напыление (газопламенное, электродуговое, детонационное); гальванические методы (железнение, хромирование, никелирование). Каждый из этих способов бесспорно имеют свои достоинства. Это хорошее оборудование, выверенные временем технологии, современные материалы. Однако существуют и отрицательные моменты использования данных методов. Одни из них дают недостаточное сцепление наносимого материала с основой, другие очень вредны для здоровья рабочих, а самый большой недостаток заключается в том, что далеко не каждое предприятие по ремонту техники имеет возможность разместить на своей территории такие производственные участки и иметь персонал для его обслуживания.

Предлагается применить метод электроискрового легирования (ЭИЛ) для восстановления штоков гидроцилиндров. Данный способ обработки имеет следующие достоинства: не требует особой подготовки поверхности – необходимо лишь полностью очистить ее от грязи и удалить следы жира и масла; обеспечивает высокую прочность сцепления слоя покрытия с основным материалом за счет микрометаллургических процессов в зоне легирования; небольшая толщина покрытия не влияет на основную структуру металла; в зависимости от режимов обработки и применяемых электродных материалов придает поверхностным слоям покрытия требуемые эксплуатационные качества; не происходит сильного нагрева обрабатываемой поверхности детали в процессе обработки, что не изменяет ее геометрию и физико-механических свойств;

отличается простотой технологического процесса, малогабаритностью и транспортабельностью оборудования. Для реализации ЭИЛ необходимо лишь бытовая электрическая сеть, верстак и приспособление для закрепления детали. Недостатком можно считать большую величину шероховатости нанесенного слоя и относительно небольшой по толщине (0,2–0,3 мм) слой покрытия. Ранее проведенные исследования показали, что повторная обработка покрытия графитовым электродом снижает высоту микронеровностей практически в два раза, а применение многослойных покрытий позволяет добиться увеличения линейных размеров до 0,5–0,6 мм.

Исходя из трех критериев выбора рационального способа восстановления деталей [4], а именно критерия применимости, критерия долговечности и технико-экономического критерия, можно сделать вывод о том, ЭИЛ – это достаточно рациональный способ для восстановления небольших (до 0,3 мм) износ, царапин и вмятин на штоках гидроцилиндров.

Важно отметить, что при разработке критериев подбора или изготовления электродных материалов для ЭИЛ необходимо следовать логичной взаимосвязи этапов: исследования – условия эксплуатации – состав – структура материалов – параметры технологического процесса изготовления деталей – эксплуатационные характеристики образуемых покрытий. Основным материалом для изготовления штоков гидроцилиндров многие производители выбирают сталь Ст45 и ее аналоги с последующей обработкой. На основе анализа работы, конструктивных элементов, физико-механических свойств рабочих поверхностей штоков гидроцилиндров, а также рекомендаций ученых и литературных источников были определены требования для электродов, применяемых при восстановлении данных изделий. Были выбраны электродные материалы из стали 11X15H25M6AG2 и Cr [5].

Основываясь на условиях и реалиях небольшого ремонтного предприятия, а именно: небольшое количество восстанавливаемых в смену штоков гидроцилиндров (2–10 штук различных типоразмеров); возможность совмещения технологического процесса восстановления данного типа деталей с технологическими процессами ремонта других элементов гидросистем; возможность использования недорогих расходных материалов, надежность

установки и небольшие энергетические затраты, можно рекомендовать установку ЭИЛ модели Элитрон-22 В. Модель выпускается нашей промышленностью и хорошо себя зарекомендовала во многих областях машиностроительного производства. Общий вид установки ЭИЛ представлена на рис. 2.

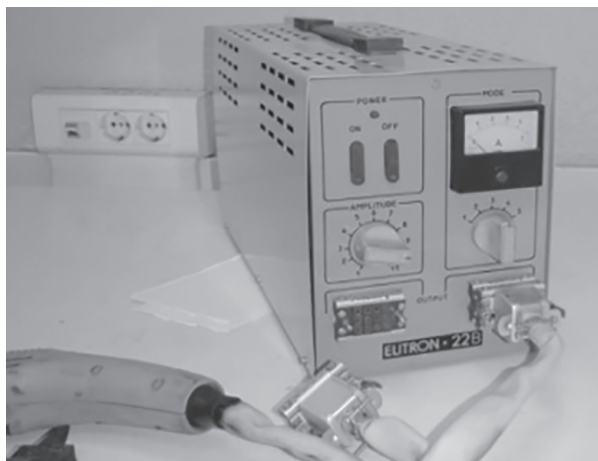


Рис. 2 Общий вид установки ЭИЛ

Fig. 2. ESA device

Основными изменяемыми технологическими параметрами, определяющие режимы обработки, приняты: величина приведенной энергии, затрачиваемой на условное образование покрытия площадью в 1 см², – W_n (кДж/см²), значение которой рассчитывалось по средней величине энергии одного искрового разряда W_n ; частота следования искровых разрядов – f_n (Гц); длительность следования искровых разрядов – τ_n (с). Значения энергии искрового разряда рассчитаны по вольтамперным осциллограммам, полученным с помощью осциллографа мод. RIGOL DS1022C по методике, изложенной в работе [6], непосредственно в межэлектродном пространстве.

Износостойкость определяется свойствами поверхностного слоя штока на глубине не более 0,05–0,2 мм. В этой области поверхности важно знать основные прочностные параметры нанесенного покрытия. Как известно, твердость прямо пропорциональна износостойкости материала. Поэтому при оценке эксплуатационных свойств нанесенного покрытия предлагается использовать метод, позволяющий оценить динамическую микротвердость (H_d). Данный метод предложенный профессором А.Ш. Хусаиновым [7], позволяет эмитировать ударные воздействия на шток. Совре-

менные методы определения микротвердости (рентгеновские, традиционные с применением приборов серии ПМТ, склерометрирование) не позволяют достаточно точно произвести измерения цилиндрической поверхности.

Метод определения динамической микротвердости основан на определении глубины проникновения бойка (индентора) в рабочую поверхность штока. Для измерения динамической микротвердости (H_d), используется ударное воздействие бойка на изделие. Численное значение определяется как отношение кинетической энергии бойка к объему вытесненного металла, которое может быть представлена формулой $H_d = E/V$, где E – кинетическая энергия бойка, а V – объем вытесненного металла.

В Тихоокеанском государственном университете была создана и усовершенствована небольшая установка для проведения испытаний по определению динамической микротвердости, которая представлена на рис. 3.

Сущность испытания заключается в следующем: испытываемый шток (обработанные фрагменты штока) закрепляют в приспособлении так, чтобы в момент удара бойка маятникового копра вектор его мгновенной скорости находился в горизонтальной плоскости перпендикулярно к образующей цилиндра. Боек – трехгранная неперетачиваемая пластина из твердого сплава, вершины которой имеют округления радиусом 0,2 мм, закрепленная в жесткой штанге, – отводится на определенный угол, согласно предварительно составленной таблице, в которой по значениям массы бойка, длины штанги и угла отвода штанги определяется сила удара по испытываемому образцу. Центр масс бойка в момент удара должен находиться перпендикулярно к оси симметрии испытываемого штока. Удар осуществляется вершиной пластины. Схема эксперимента приведена на рис. 4.

После удара глубину лунки измеряют с помощью шкалы микроскопа, с увеличением не менее $\times 24$ и ценой деления шкалы 0,01 мм. На рис. 5 представлен пример измерения глубины проникновения бойка.

Сравнивая полученные результаты с результатами измерений микротвердости образцов, выполненных с использованием шлифов и микротвердомера ПМТ-3, можно определить степень соответствия предложенного способа. В качестве параметров для сравнения были выбраны коэффициенты упрочнения: K_y – отно-



Рис. 3. Установка для проведения испытаний по определению динамической микротвердости

Fig. 3. Installation for testing to determine dynamic microhardness

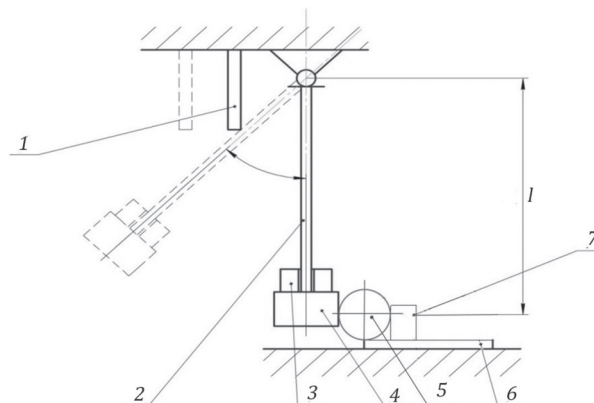


Рис. 4. Схема эксперимента:

- 1 – верхний упор; 2 – штанга; 3 – груз; 4 – боек;
- 5 – испытываемый образец; 6 – подставка;
- 7 – нижний упор; I – длина штанги

Fig. 4. Experiment scheme: 1 – upper stop, 2 – bar, 3 – weight, 4 – striker, 5 – test sample, 6 – stand, 7 – lower stop, I – length of the bar

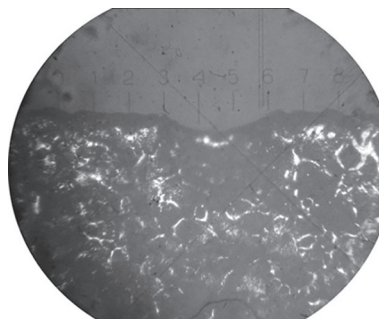


Рис. 5. Пример измерения глубины проникновения бойка в образец из стали Ст45, упрочненный Cr

Fig. 5. An example of measuring the depth of penetration of a striker into a sample of steel St45 hardened with Cr

шение значения микротвердости, измеренной с помощью прибора ПМТ-3, образцов, обработанных соответствующими электродными материалами, к микротвердости необработанной подложки, и $K_{удин}$ соответственно отношение значения микротвердости измеренной с помощью установки для проведения испытаний по определению динамической микротвердости обработанных образцов соответствующими электродными материалами, к микротвердости не обработанной подложки. Основной технологический параметр W_p был определен экспериментально по наибольшему приросту линейных размеров в 1 мин обработки поверхности площадью 1 см².

Результаты и обсуждения

Проведенные измерения показывают увеличение $K_{удин}$ и K_y до 3,1 раза, по сравнению с материалом подложки не обработанным методом ЭИЛ. Результаты экспериментов представлены в таблице.

Максимальную микротвердость, измеренную с помощью прибора ПМТ-3, имеют образцы, упрочненные 11Х15Н25М6АГ2. Однако большие показатели динамической микротвердости имеют образцы, покрытые Cr. Следует отметить, что при проведении испытаний в реальных условиях эксплуатации наибольшую долговечность из приведенных выше электродных материалов показали штоки, упрочненные Cr. Данное увеличение микротвердости происходит вследствие того, что при микрометаллургических процессах, происходящих в зоне легирования, в измененном поверхностном слое образуются карбиды хрома [8].

Полученные результаты свидетельствуют о том, что применение метода ЭИЛ для восстановления штоков гидроцилиндров повышает

их динамическую микротвердость. Наибольшее влияние на стойкость штоков оказывает величина приведенной энергии W_{II} и материал электродов.

С помощью метода определения динамической микротвердости можно определять микротвердость различных деталей, изготовленных из материалов твердостью меньше чем твердость применяемого индентора [9]. Целесообразно применение метода динамической микротвердости как более точного способа определения функциональных характеристик на поверхностях штоков по сравнению с традиционным при использовании приборов серии ПМТ.

Условно технологический процесс восстановления можно разделить на три стадии: 1) подготовка детали к нанесению покрытия, 2) непосредственное нанесение, 3) обработка после нанесения покрытия.

Подготовка заключается в следующем. Перед нанесением покрытия рабочую поверхность штока необходимо очистить от смазки и продуктов износа. Шток закрепляется в приспособлении (слесарные тисы или другую оснастку). Визуальным осмотром или с помощью измерительных инструментов определяют зоны обработки и помечают их маркером. Для облегчения контроля сплошности несения покрытия большие участки условно разбивают на сектора площадью 1,5–2 см².

Перед нанесением покрытия необходимо установить ранее подобранный электрод в вибратор, на установке для ЭИЛ установить режим обработки в соответствии с рекомендациями наносить покрытие плавно, по секторам, контролировать форму и диаметр измерительными инструментами. После достижения необходимых размеров детали произвести по-

Таблица

Исходные данные и результаты экспериментов по определению динамической микротвердости на подложке из стали Ст45

Table 1. Initial data, and results of experiments to determine dynamic microhardness, on a substrate of steel St45

Электродный материал	Приведенная энергия W_{II} , кДж/см ²	Глубина внедрения бойка b_d , мм	Объем вытесненного металла V , мм ³	Динамическая микротвердость H_p , МПа	Коэффициент упрочнения динамический, $K_{удин}$	Микротвердость H_u , МПа	Коэффициент упрочнения, K_y
Cr	8,0	0,025	0,54	304	3,1	523	1,1
11Х15Н25М6АГ2	8,6	0,039	0,61	269	2,7	680	1,4
Без покрытия		0,062	1,69	97	1,0	474	1,0

вторную обработку восстановленных участков графитовым электродом с такими же режимами обработки.

Завершающим этапом технологического процесса восстановления штока гидроцилиндра является абразивная обработка и полирование.

Заключение

В результате проведенного исследования были сформулированы требования для состава электродов, применяемых для упрочнения и восстановления штоков гидроцилиндров. Для исследований выбраны электродные материалы: сталь 11X15H25M6AG2 и Сг. Основным технологическим параметром процесса ЭИЛ принята приведенная величина энергии W_p , затрачиваемой на образование покрытия площадью в 1 см². Данный параметр, предложенный профессорами А.Д. Верхотуровым и Ю.И. Мулиным, позволяет воспроизводить процесс обработки методом ЭИЛ на любых моделях установок. Проведено исследование зависимости динамической микротвердости от электродных материалов и энергетических режимов процесса ЭИЛ. Доказана целесообразность применения метода ЭИЛ при восстановлении и упрочнении штоков гидроцилиндров. Представлены основные этапы технологического процесса восстановления штоков гидроцилиндров.

Литература

1. Вегера В.П., Палиенко М.Т. Исследование отказов агрегатов гидроприводов навесных механизмов тракторов // Тр. ин-та. ГосНИТИ. М., 1983. Т. 68. С. 100–109.
2. Афанасенко М.В., Саввин В.С., Николаева Н.П. Исследование ресурса гидронавесной системы тракторов Т-40 ускоренным методом // Тр. Воронежского СХИ. Воронеж, 1976. Т. 75. С. 84–86.
3. Барышев В.И. Исследование загрязненности гидросистем трактора и его влияние на износ и снижение производительности насосов: автореф. дис. ... канд. техн. наук. М. 1972. 16 с.
4. Павлишин С.Г., Баранов Д. Е Технология оценки объемов восстановительного ремонта транспортных средств страховой компанией // Автомобильная промышленность. 2018. № 11. С. 23–32.
5. Верхотуров А.Д., Мулин Ю.И., Вишневецкий А.Н. Исследование процессов восстановления и упрочнения методом электроискрового легирования матриц для прессования алюминиевых панелей // Благовещенск. Вестник АмГУ. 2002. № 19. С. 30–33.
6. Верхотуров А.Д., Мулин Ю.И., Астапова Е.А., Агапатов В.А., Щетинин М.И., Козырь А.В., Соловьев В.В. Влияние режимов электроискрового легирования и электродных материалов на структуру и износостойкость покрытий // Электронная обработка материалов. 2004. № 3. С. 17–21.
7. Хусаинов А.Ш. Новый метод оценки микротвердости лезвия ножа // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2007. № 3. С. 63–66.
8. Химухин С.Н., Хосен Ри, Ри Э.Х. Формирование структуры слоя на металлах и сплавах при электроискровой обработке. Хабаровск: Изд-во ДВГУПС, 2010. 240 с
9. Казанников О.В., Мулин Ю.И., Власенко В.Д. Исследование динамической микротвердости режущих поверхностей деревообрабатывающих инструментов // Контроль. Диагностика. 2012. № 4. С. 50–53.

References

1. Vegera V.P., Paliyenko M.T. Investigation of failures of hydraulic drives of mounted mechanisms of tractors. Tr. in-ta. GoSNITI: Moscow, 1983. Vol. 68, pp. 100–109 (In Russ.).
2. Afanasenko M.V., Savvin V.C., Nikolayeva N.P. Study of the operation life of the hydraulic hitch system of the T-40 tractors by the accelerated method. Tr. Voronezhskogo SKHI. Voronezh, 1976. Vol. 75, pp. 84–86 (In Russ.).
3. Baryshev V.I. Issledovaniye zagryaznennosti gidrosistem traktora i yego vliyaniye na iznos i snizheniye proizvoditel'nosti nasosov: Avtoref. diss. kand. tekhn. nauk [Investigation of the contamination of tractor hydraulic systems and its effect on wear and decrease in pump performance: Abstract for Dissertation for Degree of PhD in Engineering]. Moscow 1972. 16 p.
4. Pavlishin S.G., Baranov D. YE. Technology for assessing the volume of refurbishment of vehicles by an insurance company. Avtomobil'naya promyshlennost'. 2018. No 11, pp. 23–32 (In Russ.).
5. Verkhoturov A.D., Mulin YU.I., Vishnevskiy A.N. Investigation of the processes of recovery and hardening by the method of electrospark alloying of dies for pressing aluminum panels. Blagoveshchensk. Vestnik AMGU. 2002. No 19, pp. 30–33 (In Russ.).
6. Verkhoturov A.D., Mulin YU.I., Astapova YE.A., Agapaytov V.A., Shchetinin M.I., Kozyr' A.V., Solov'yev V.V. Influence of modes of electrospark alloying and electrode materials on the structure and

- wear resistance of coatings. *Elektronnaya obrabotka materialov*. 2004. No 3, pp. 17–21 (In Russ.).
7. Khusainov A.SH. A new method for assessing the microhardness of a knife blade. *Zavodskaya laboratoriya. Diagnostika materialov*. 2007. No 3, pp. 63–66 (In Russ.).
 8. Khimukhin S.N., Khosen Ri, Ri E.KH. Formirovaniye struktury sloya na metallakh i splavakh pri elektroiskrovoy obrabotke [Formation of the layer structure on metals and alloys during electrospark processing]. Khabarovsk: Izd-vo DVGUPS Publ., 2010. 240 p.
 9. Kazannikov O.V., Mulin YU.I., Vlasenko V.D. Research of dynamic microhardness of cutting surfaces of woodworking tools. *Kontrol'. Diagnostika*. 2012. No 4, pp. 50–53 (In Russ.).