

**ТЕХНОЛОГИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКОЙ И ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ /
TECHNOLOGY AND EQUIPMENT FOR MECHANICAL AND PHYSICAL-TECHNICAL PROCESSING**

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.138.161>

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ СМАЗОЧНО-ОХЛАЖДАЮЩИХ ЖИДКОСТЕЙ НА МАТЕРИАЛ
АБРАЗИВНЫХ ИНСТРУМЕНТОВ РАЗЛИЧНОЙ СТЕПЕНИ УПРУГОСТИ**

Научная статья

Багайсков Ю.С.^{1,*}, Чернов А.С.²

¹ ORCID : 0000-0002-2255-6064;

² ORCID : 0009-0004-5273-7693;

^{1,2} Волжский политехнический институт – филиал Волгоградского государственного технического университета, Волжский, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (bagaiskov[at]bk.ru)

Аннотация

Исследования показали, что смазочно-охлаждающие жидкости оказывают влияние на композиционный материал абразивных инструментов. Степень влияния зависит от полимерной основы связующих, имеющих различную жесткость. Так, на жесткие композиты на эпоксидной основе существенно влияет только вода, воздействие керосина и масел на изделия с модифицирующими добавками незначительно. При этом изменение прочности при изгибе и твердости происходит примерно пропорционально степени насыщения. Для эластичных композитов степень насыщения зависит от вида жидкости и количества каучукового компонента лапролата в связке, влияние воды на порядок больше по сравнению с другими жидкостями. Чем больше лапролата, тем влияние жидкостей выше. При динамических испытаниях с учетом деформаций, т.е. наиболее близких к реальным условиям эксплуатации, влияние жидкости на снижение твердости и модуля упругости материала хона выше, чем при статической выдержке образцов в жидкостях. В связи с этим необходимо оптимально планировать применение жидких сред исходя из особенностей характеристик инструментов и жидкостей, сроков эксплуатации.

Ключевые слова: абразив, инструмент, упругость, жидкость, насыщение, прочность, стойкость.

**A STUDY OF THE EFFECT OF COOLING LIQUIDS ON THE MATERIAL OF ABRASIVE TOOLS OF
DIFFERENT ELASTICITY DEGREE**

Research article

Bagaiskov Y.S.^{1,*}, Chernov A.S.²

¹ ORCID : 0000-0002-2255-6064;

² ORCID : 0009-0004-5273-7693;

^{1,2} Volzhsky Polytechnic Institute – branch of Volgograd State Technical University, Volzhsky, Russian Federation

* Corresponding author (bagaiskov[at]bk.ru)

Abstract

Studies have shown that coolants have an influence on the composite material of abrasive tools. The degree of effect depends on the polymer basis of binders having different rigidity. Thus, rigid epoxy-based composites are significantly affected only by water, the impact of paraffin and oils on products with modifying additives is insignificant. At the same time, the change in bending strength and hardness is approximately proportional to the degree of saturation. For elastic composites, the degree of saturation depends on the type of liquid and the amount of rubber component laprolate in the bond, the influence of water is an order of magnitude greater compared to other liquids. The more laprolate, the influence of fluids is higher. In dynamic tests with regard to deformations, i.e. the closest to real operating conditions, the influence of liquids on the reduction of hardness and modulus of elasticity of the honing tool material is higher than in static exposure of specimens in liquids. In this respect, it is necessary to optimally plan the application of liquid media based on the characteristics of tool and liquid characteristics, and operation periods.

Keywords: abrasive, tool, elasticity, fluid, saturation, strength, resistance.

Введение

Для изготовления ряда видов абразивных и алмазных инструментов применяются связующие различной упругости, имеющие, как правило, композиционную структуру на полимерной и каучуковой основе [1]. Примером таких инструментов могут быть шлифовальные и полировальные круги, также зубчатые хоны. Абразивные зубчатые хоны применяются для повышения качества боковых поверхностей зубьев обрабатываемых колес, эксплуатируются со смазочно-охлаждающими жидкостями (СОЖ) [2], [3], [4]. Применение СОЖ позволяет повысить эффективность обработки по производительности и качеству. Однако может быть и определенное воздействие жидкостей на материал инструментов. Известно, что полимеры и каучуковые материалы подвержены насыщению жидкостями и изменяют при этом свои свойства [5], [6], [7]. Кроме того, композиционный материал из-за наличия границ раздела полимер – абразивный наполнитель имеет неплотности и поры [8].

Всё это может приводить к снижению физико-механических показателей композиционного материала инструментов и, соответственно, к определенной потере их работоспособности. Известных исследований такого явления недостаточно. Для абразивных инструментов из таких материалов, исходя из условий эксплуатации,

основными механическими показателями можно считать прочность при изгибе, удельную ударную вязкость, модуль упругости, а также твердость (как степень удержания абразивного зерна связкой). Работоспособность можно оценивать сроком работы до износа или поломки (долговечность) [8], [9].

В последнее время расширен спектр связующих абразивных инструментов, особенно с повышенной упругостью, так называемых эластичных, отличающихся химической характеристикой и физико-механическими свойствами [8], [10].

В связи с этим представляет интерес проведение исследований степени влияния различных СОЖ на изменение физико-механических показателей материала и работоспособность абразивных инструментов на примере зубчатых хонеров различных характеристик, жестких и эластичных.

Методика исследований

Исследование влияния СОЖ проводилось с применением образцов жестких абразивно-эпоксидных композиций [6], изготовленных по различным рецептурам: немодифицированной, модифицированной ацетуром или полиэтилсилоксаном, имеющих модуль упругости $E_0 = 1800-3000$ МПа. Исследование влияния водных и масляных СОЖ на материал хонеров на эластичной гидроксиуретановой связке [7], [10] проведено на образцах этого материала, при модуле упругости $E_0 = 100, 500, 1000$ МПа [7]. Данным значениям соответствует примерно 70, 60, 50% содержания каучукоподобного (эластичного) полимера лапролата в связке.

В качестве жидких сред применялись СОЖ керосин, масла «Индустриальное 20», ОСМ-1 и вода. Образцы материала в виде брусков выдерживались в данных жидкостях до 150 суток. Определялось относительное изменение (Δ) массы материала, характеризующее степень его насыщения жидкостью.

Определялись также относительные изменения основных физико-механических показателей: прочности при изгибе и удельной ударной вязкости ($\Delta\sigma_u \cdot \Delta a_u$), твердости (Δh) и модуля упругости (ΔE_0). Величины изменений определялись по формуле:

$$\varepsilon = [(\Pi_2 - \Pi_1)/\Pi_1] \cdot 100\% \quad (1)$$

где Π_1 и Π_2 – величины показателей до и после выдержки в СОЖ.

Исследования влияния СОЖ на изменение свойств и работоспособность материала абразивных инструментов проводились как в статических, так и динамических условиях. В последнем случае на результаты влияет деформирование зубьев хонеров.

Результаты исследований

Установлено, что после выдержки в жидкостях увеличились массы образцов всех композиций. Интенсивность насыщения получена при воздействии на материалы воды и далее в порядке убывания керосина, масел ОСМ-1 и «Индустриальное 20». Приблизительно в таком же порядке, только по мере возрастания, находятся, как известно, и значения вязкостей данных жидкостей.

Введение в испытываемый материал на эпоксидной основе модификаторов заметно повлияло на снижение его насыщения СОЖ. В первую очередь это объясняется повышением плотности структуры и твердости модифицированного материала. Наибольшей стойкостью к насыщению обладает композиция, модифицированная полиэтилсилоксаном (величина Δ более, чем в 2 раза ниже, чем у исходной). Это обеспечилось, по-видимому, за счет наличия в отвержденном материале некоторого избытка этого полимера, который выполняет роль жидкой смазки-наполнителя, заполняющего все поры и неплотности и ограничивающего проникновение жидкости внутрь структуры.

Исследовалась связь степени насыщения жидкостями с относительными изменениями физико-механических показателей (ε) композиций по формуле (1). Выбор времени выдержки 30 суток обоснован примерным максимальным сроком эксплуатации хонеров.

Не выявлено существенное влияние СОЖ на изменение модуля упругости E_0 исследуемых композиций. Насыщение СОЖ не привело к снижению удельной ударной вязкости материала, наоборот, наблюдается даже некоторое ее увеличение (на 2,5-12,0%). По-видимому, это связано с повышением пластичности поверхностных слоев образцов. Жидкости, в особенности, вода, оказали негативное воздействие на прочность при изгибе и твердость материала (рис. 1), наблюдалось снижение этих показателей, примерно пропорциональное степени насыщения (Δ). Воздействие воды на немодифицированный материал хонеров привело к снижению показателей $\Delta\sigma_u$ и Δh_n на 33 и 40 % соответственно. У композиции, модифицированной ацетуром, величина снижения этих показателей в 1,5-1,8, а полиэтилсилоксаном – в 2,5-3,3 раза меньше, чем у исходной.

Исследования в целом показали, что практически существенно влияние только водной среды, воздействие керосина и СОЖ на масляной основе в пределах срока службы хонеров из материала, модифицированного ацетуром и, в особенности, полиэтилсилоксаном, незначительно.

Исследование влияния СОЖ на материал хонеров на эластичной гидроксиуретановой связке проведено с применением образцов этого материала, при модуле упругости = 100, 500, 1000 МПа. Интенсивность насыщения с увеличением времени выдержки снижается, степень насыщения зависит от вида СОЖ и количества лапролата в связке. Наибольшее воздействие на этот материал оказала вода – степень насыщения на порядок выше по сравнению с другими средами. По степени убывания влияния жидкости располагаются в следующем порядке: вода, масло, ОСМ-1 и керосин, масло «Индустриальное 20». Чем меньше лапролата в связке, тем меньше и степень насыщения.

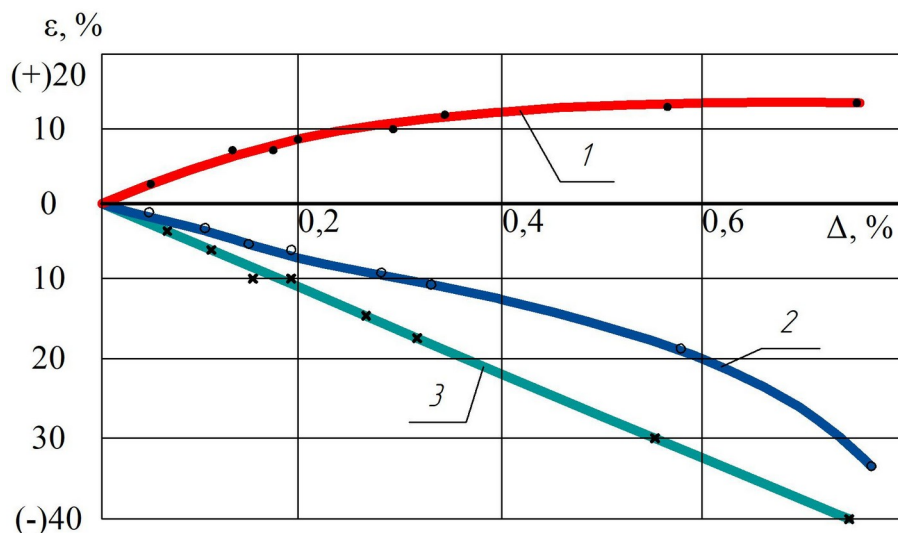


Рисунок 1 - Зависимости величины относительных изменений удельной ударной вязкости (1), прочности при изгибе (2) и твердости (3) образцов абразивно-эпоксидных композиций после выдержки в СОЖ от степени насыщения
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.138.161.1>

Под воздействием жидкостей произошло снижение всех показателей материала, тем больше, чем выше содержание лапролата в связке (рис. 2).

Меньше всего изменилась величина удельной ударной вязкости Δa_n , что можно объяснить определенной компенсацией влияния СОЖ за счет повышения пластичности и стойкости к действию ударных нагрузок поверхностных слоев материала. Если влияние ОСМ-1 в рассматриваемом диапазоне значений материала не явилось критическим ($\varepsilon < 18\%$), то воздействие водной СОЖ привело к существенному снижению свойств материала хонов: при $E_0 = 100$ МПа величина ε для σ_u , h_a и E_0 достигает 75-95%.

Вода имеет низкую вязкость, хорошо проникает в поры, растворяет и вымывает недополимеризованные участки материала, оказывает раскливающее воздействие, нарушает адгезионные связи связка-абразивные зерна. Насыщение водой приводит к увеличению объема материала, способствует образованию подповерхностных локаций и трещин. В итоге существенно снижается жесткость и прочность композиционной структуры эластичного материала хонов. Такое его состояние может сделать инструмент при эксплуатации неработоспособным.

Для определения влияния СОЖ на материал хонов при его напряженно-деформированном состоянии в процессе их эксплуатации исследовано изменение твердости (h_a) и модуля упругости (E_0) материала их зубьев за период работоспособности хонов. Твердость определяли как на ободке венцов хонов, так и на зубьях в районе начального диаметра. Для оценки изменения E_0 определяли величины деформации зубьев хонов, до и после эксплуатации.

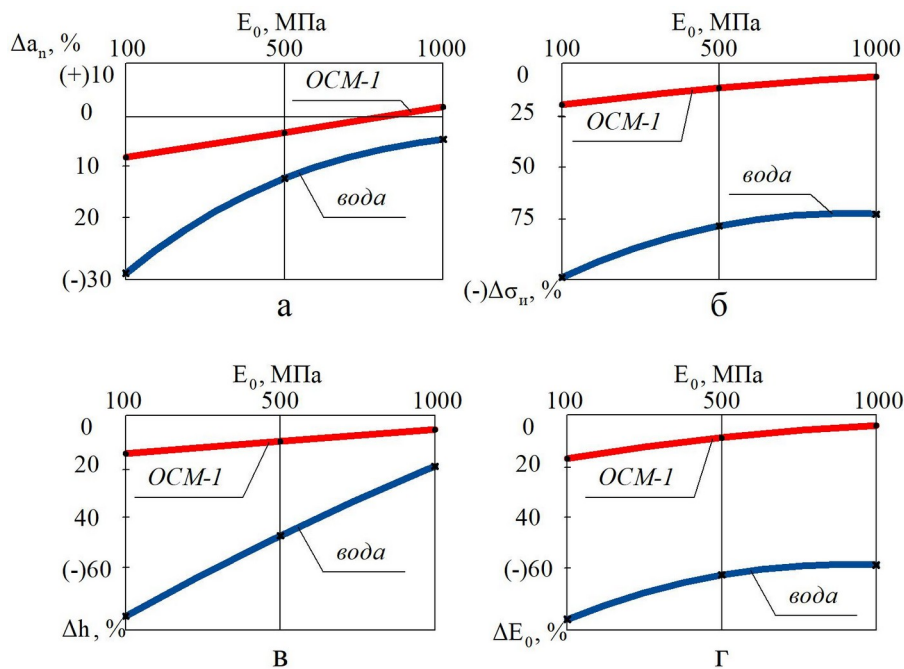


Рисунок 2 - Зависимости изменения показателей удельной ударной вязкости (а), прочности при изгибе (б), твердости (в) и модуля упругости (г) образцов композиции на гидроксиуретановой связке после выдержки в ОСМ-1 и в водной СОЖ от исходных значений

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.138.161.2>

Результаты испытаний для масла ОСМ-1 приведены в табл. 1. При динамических испытаниях влияние жидкости на снижение твердости материала хона в 1,4-2,5 раза и модуля упругости в 1,6-3,6 раза выше, чем при статической выдержке образцов в СОЖ.

В процессе реверсивной работы эластичного хона в присутствии СОЖ зубья его деформируются, боковые их поверхности поочередно подвергаются растяжению или сжатию. В связи с наличием на них пор и под действием боковых поверхностей зубьев колеса создается эффект насоса, интенсивность насыщения жидкостью увеличивается. Чем выше уровень напряженно-деформированного состояния материала зубьев и меньше вязкость жидкости, тем больше степень его насыщения жидкостью. Этот процесс, изменяющийся во времени, приводит к постепенному снижению прочности и жесткости материала хона. Чем ниже модуль упругости материала хона, тем сильнее снижается его износостойкость и долговечность эксплуатации.

Масляные СОЖ негативно влияют на материал хонов только при модуле упругости $E_0 < 500$ МПа. Вследствие этого следует рекомендовать для эластичного инструмента применение СОЖ на масляных основах повышенной вязкости с уменьшенным от общепринятого удельным расходом: менее $2 \cdot 10^{-4}$ м³/с (12 л/мин). Это вполне допустимо, учитывая низкотемпературность процесса обработки абразивными зубчатыми хонами.

Таблица 1 - Изменение степени твердости и упругости материала хонов на гидроксиуретановой связке под воздействием масла ОСМ-1 при различных условиях испытаний

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.138.161.3>

Исходный модуль упругости E_0 , МПа	Изменение модуля упругости, ΔE_0 , %		Место измерения твердости	Изменение твердости Δh , %		Износ зуба хона, мм/дет.	Долговечность хонов, шт. дет.
	после статических испытаний	после динамических испытаний		после статических испытаний	после динамических испытаний		
1000	-6,3	-10,4	обод зуб	6,1 6,0	6,2 8,4	0,003	2500
500	-10,4	-24,3	обод зуб	8,4 8,4	10,5 15,8	0,0035	2400
100	-15,2	-55,1	обод зуб	10,5 10,6	13,8 26,3	0,006	1300

Заключение

Исследования в целом подтвердили, что композиционные материалы абразивных инструментов подвержены воздействию смазочно-охлаждающих жидкостей, наблюдается насыщение жидкостями и снижение физико-

механических показателей. Исключением является удельная ударная вязкость, может быть и некоторое повышение, что связано с некоторым повышением пластичности поверхностных слоев образцов при пропитке жидкостями. Практически существенное влияние на показатели прочности и упругости материала жестких хонов на эпоксидной основе имеют только водные среды, воздействие керосина и масел в пределах срока службы инструментов из материалов с модификаторами эпоксидных смол, в частности, с ацетуром и, в особенности, полиэтилсилоксаном, достаточно незначительно.

Для эластичных абразивных хонов на примере гидроксиуретановой связке интенсивность насыщения жидкостями с увеличением времени выдержки снижается, степень насыщения зависит от вида жидкости и количества каучукового компонента – лапролата – в связке, степень насыщения водой на порядок выше по сравнению с другими средами. Существеннее снижается жесткость и прочность композиционной структуры эластичного материала. При динамических испытаниях с учетом деформаций, т.е. наиболее близких к реальным условиям эксплуатации, влияние жидкости на снижение твердости материала хона в 1,4-2,5 раза и модуля упругости в 1,6-3,6 раза выше, чем при статической выдержке образцов в СОЖ.

В связи с выявленным воздействием смазочно-охлаждающих жидкостей на абразивно-полимерный материал зубчатых хонов необходимо оптимально планировать их применение исходя из сроков работы, характеристик инструментов и жидкостей.

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

Conflict of Interest

None declared.

Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

Список литературы / References

1. Багайсков Ю.С. Исследование суммарной упругой деформации зубьев абразивных шевверов / Ю.С. Багайсков // *Фундаментальные основы механики*. — 2018. — № 3. — С. 92-96.
2. Гаршин А.П. Абразивные материалы и инструменты. Технология производства: Учеб.пособие / А.П. Гаршин, С.М. Федотова. — Санкт-Петербург: СПбГПУ, 2008. — 1010 с.
3. Ковальчук Ю.М. Основы проектирования и технология изготовления абразивного и алмазного инструмента / Ю.М. Ковальчук. — Москва: Машиностроение, 1984. — 265 с.
4. Калашников А.С. Зубохонингование цилиндрических колес / А.С. Калашников // *РИТМ: Ремонт. Инновации. Технологии. Модернизация*. — 2013. — № 10(88). — С. 22-29.
5. Бадалетова Л.И. Полимерные композиционные материалы (Часть 1) / Л.И. Бадалетова, В.Г. Бадалетов. — Томск: Издательство Томского политехнического института, 2013. — 118 с.
6. Овчинников А.И. Материалы для абразивных инструментов. Обзор / А.И. Овчинников // *Наука и образование*. — 2013. — № 7. — С. 41-68.
7. Чурсова Л.В. Эпоксидные смолы, отвердители, модификаторы и связующие на их основе / Л.В. Чурсова, Н.Н. Панина, Т.А. Гребенева [и др.]. — Санкт-Петербург: ЦОП Профессия, 2020. — 576 с.
8. Зонненшайн М.Ф. Полиуретаны. Состав, свойства, производство, применение / М.Ф. Зонненшайн. — Санкт-Петербург: ЦОП Профессия, 2018. — 576 с.
9. Багайсков Ю.С. Повышение эксплуатационных показателей изделий из абразивных композиционных материалов: (монография) / Ю.С. Багайсков, В.М. Шумячер. — Волгоград: Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет, 2005. — 200 с.
10. Пат. SU 1759615 СССР, МПК В24Д 3/28. Абразивная масса для изготовления инструмента / Багайсков Ю.С., Шаповалова М.П., Верижников Л.А. [и др.]; заявитель и патентообладатель Волжский филиал Всесоюзного научно-исследовательского института абразивов и шлифования; Казанский химико-технологический институт имени С.М. Кирова. — № 4854504; заявл. 24.07.90; опубл. 07.09.92, Бюл. № 33. — 3 с.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Bagajskov Ju.S. Issledovanie summarnoj uprugoj deformatsii zub'ev abrazivnyh sheverov [Investigation of the Total Elastic Deformation of the Teeth of Abrasive Shavers] / Ju.S. Bagajskov // *Fundamental'nye osnovy mehaniki* [Fundamental Bases of Mechanics]. — 2018. — № 3. — P. 92-96. [in Russian]
2. Garshin A.P. Abrazivnye materialy i instrumenty. Tehnologija proizvodstva: Ucheb.posobie [Abrasive Materials and Tools. Production Technology: study guide] / A.P. Garshin, S.M. Fedotova. — Saint Petersburg: SPbSPU, 2008. — 1010 p. [in Russian]
3. Koval'chuk Ju.M. Osnovy proektirovanija i tehnologija izgotovlenija abrazivnogo i almaznogo instrumenta [Fundamentals of Design and Manufacturing Technology of Abrasive and Diamond Tools] / Ju.M. Koval'chuk. — Moscow: Mashinostroenie, 1984. — 265 p. [in Russian]
4. Kalashnikov A.S. Zubohoninгование cilindricheskikh koles [Gear honing of cylindrical wheels] / A.S. Kalashnikov // *РИТМ: Ремонт. Инновации. Технологии. Модернизация* [RITM: Repair. Innovation. Technology. Modernization]. — 2013. — № 10(88). — P. 22-29. [in Russian]

5. Badaletova L.I. Polimernye kompozitsionnye materialy (Chast' 1) [Polymer Composite Materials (Part 1)] / L.I. Badaletova, V.G. Badaletov. — Tomsk: Publishing House of Tomsk Polytechnic Institute, 2013. — 118 p. [in Russian]
6. Ovchinnikov A.I. Materialy dlja abrazivnyh instrumentov. Obzor [Materials for Abrasive Tools. A review] / A.I. Ovchinnikov // Nauka i obrazovanie [Science and Education]. — 2013. — № 7. — P. 41-68. [in Russian]
7. Chursova L.V. Epoksidnye smoly, otverditeli, modifikatory i svjazujuschie na ih osnove [Epoxy Resins, Hardeners, Modifiers and Binders Based on Them] / L.V. Chursova, N.N. Panina, T.A. Grebeneva [et al.]. — Saint Petersburg: TsOP Professija, 2020. — 576 p. [in Russian]
8. Sonnenstein M.F. Poliuretany. Sostav, svojstva, proizvodstvo, primenenie [Polyurethanes. Composition, Properties, Production, Application] / M.F. Sonnenstein. — Saint Petersburg: TsOP Professija, 2018. — 576 p. [in Russian]
9. Bagajskov Ju.S. Povyshenie ekspluatatsionnyh pokazatelej izdelij iz abrazivnyh kompozitsionnyh materialov: (monografija) [Improving the Performance of Products Made of Abrasive Composite Materials: (monograph)] / Ju.S. Bagajskov, V.M. Shumjacher. — Volgograd: Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering, 2005. — 200 p. [in Russian]
10. Pat. SU 1759615 USSR, IPC B24D 3/28. Abrazivnaya massa dlya izgotovleniya instrumenta [Abrasive Mass for the Manufacture of Tools] / Bagajskov Yu.S., Shapovalova M.P., Verizhnikov L.A. [et al.]; applicant and patentee Volzhsky branch of the All-Union Scientific Research Institute of Abrasives and Grinding; Kazan Institute of Chemical Technology named after S.M. Kirov. — № 4854504; appl. 24.07.90; publ. 07.09.92, Bul. № 33. — 3 p. [in Russian]