



УДК 66.045.3

DOI: 10.18577/2307-6046-2015-0-2-11-11

**К ВОПРОСУ ПРИМЕНЕНИЯ ДИСКРЕТНЫХ ВОЛОКОН
ИЗ ТУГОПЛАВКИХ ОКСИДОВ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ
СЕРДЕЧНИКА ТЕРМОСТОЙКИХ УПЛОТНИТЕЛЬНЫХ
ШНУРОВ**

А.М. Зимичев

кандидат технических наук

Н.М. Варрик

Февраль 2015

Всероссийский институт авиационных материалов (ФГУП «ВИАМ» ГНЦ) – крупнейшее российское государственное материаловедческое предприятие, на протяжении 80 лет разрабатывающее и производящее материалы, определяющие облик современной авиационно-космической техники. 1700 сотрудников ВИАМ трудятся в более чем тридцати научно-исследовательских лабораториях, отделах, производственных цехах и испытательном центре, а также в четырех филиалах института. ВИАМ выполняет заказы на разработку и поставку металлических и неметаллических материалов, покрытий, технологических процессов и оборудования, методов защиты от коррозии, а также средств контроля исходных продуктов, полуфабрикатов и изделий на их основе. Работы ведутся как по государственным программам РФ, так и по заказам ведущих предприятий авиационно-космического комплекса России и мира.

В 1994 г. ВИАМ присвоен статус Государственного научного центра РФ, многократно затем им подтвержденный.

За разработку и создание материалов для авиационно-космической и других видов специальной техники 233 сотрудникам ВИАМ присуждены звания лауреатов различных государственных премий. Изобретения ВИАМ отмечены наградами на выставках и международных салонах в Женеве и Брюсселе. ВИАМ награжден 4 золотыми, 9 серебряными и 3 бронзовыми медалями, получено 15 дипломов.

Возглавляет институт лауреат государственных премий СССР и РФ, академик РАН, профессор Е.Н. Каблов.

А.М. Зимичев¹, Н.М. Варрик¹

К ВОПРОСУ ПРИМЕНЕНИЯ ДИСКРЕТНЫХ ВОЛОКОН ИЗ ТУГОПЛАВКИХ ОКСИДОВ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ СЕРДЕЧНИКА ТЕРМОСТОЙКИХ УПЛОТНИТЕЛЬНЫХ ШНУРОВ

Проведено исследование возможности получения непрерывного шнура из коротких оксидных волокон методом непосредственного формования из водной пульпы. В ходе проведения эксперимента была изготовлена лабораторная установка для изготовления шнура, включающая формирующую часть, термокамеру и узел намотки. Эксперимент показал принципиальную возможность получения шнура из коротких оксидных волокон.

Ключевые слова: тугоплавкие волокна, шнур, оксид алюминия, теплоизоляционный высокотемпературный материал.

A.M. Zimichev, N.M. Warrick

On the issue of application of discrete fibers of refractory oxides to form cores of heat-resistant sealing cords

Possibility of production of continuous cords from short oxide fibers by direct formation of aqueous pulp was investigated. The laboratory unit for production of cords equipped with forming assembly, heat chamber and winding assembly was designed and installed. The experiment showed the possibility in principle to produce cords from short oxide fibers.

Key words: refractory fibers, cord, alumina, high-temperature heat-insulating material.

¹Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов» Государственный научный центр Российской Федерации [Federal state unitary enterprise «All-Russian scientific research institute of aviation materials» State research center of the Russian Federation] E-mail: admin@viam.ru

Введение

В настоящее время существует интерес к гибким высокотемпературным материалам теплоизоляционного назначения, таким как маты, войлоки, ленты, шнуры и ткани, изготовленные на основе дискретных или непрерывных волокон тугоплавких оксидных соединений: SiO₂, Al₂O₃, ZrO₂, муллит и другие [1–13]. Термостойкие уплотнительные шнуры предназначены для теплоизоляции и уплотнения соединений в различных тепловых установках и газотурбинных двигателях.

Технологии получения уплотнительных шнуров на основе термостойких волокон, как правило, включают получение волокнистого термостойкого наполнителя и его оплетку непрерывными волокнами или нитями, либо трощение и плетение комплексных нитей [14–16]. По другим методам смесь коротких волокон подвергают кардочесанию и кручению с получением нитей, которые дополнительно упрочняют непрерывными стеклонитями либо хромоникелевой проволокой [17]. Из полученных таким образом нитей можно производить ткани, ленты, шнуры, оплетки и другие изделия [18–20]. Уплотнительный шнур, изготовленный из дискретных волокон, обладает большей герметизирующей способностью, чем шнур из плетеных непрерывных нитей. Однако изготовление шнуров из дискретных волокон является сложной задачей, так как из-за малой длины и гладкой неразветвленной поверхности волокна невозможно сплести в непрерывные нити по классической технологии прядения. Целью данной работы являлось иссле-

дование возможности получения из дискретных волокон непрерывного шнура методом непосредственного формования шнура из водной волокнистой пульпы.

Материалы и методы

Для изготовления сердечника гибкого уплотнительного шнура использовали волокна из тугоплавких оксидов алюминия и кремния диаметром 1–5 мкм и длиной 1–5 мм, полученные по золь-гель технологии методом раздува волокнообразующего раствора.

Для проведения экспериментов была изготовлена установка [21], которая состоит из трех основных частей: формирующей части, термокамеры для сушки нитей и узла наматывания (рис. 1).

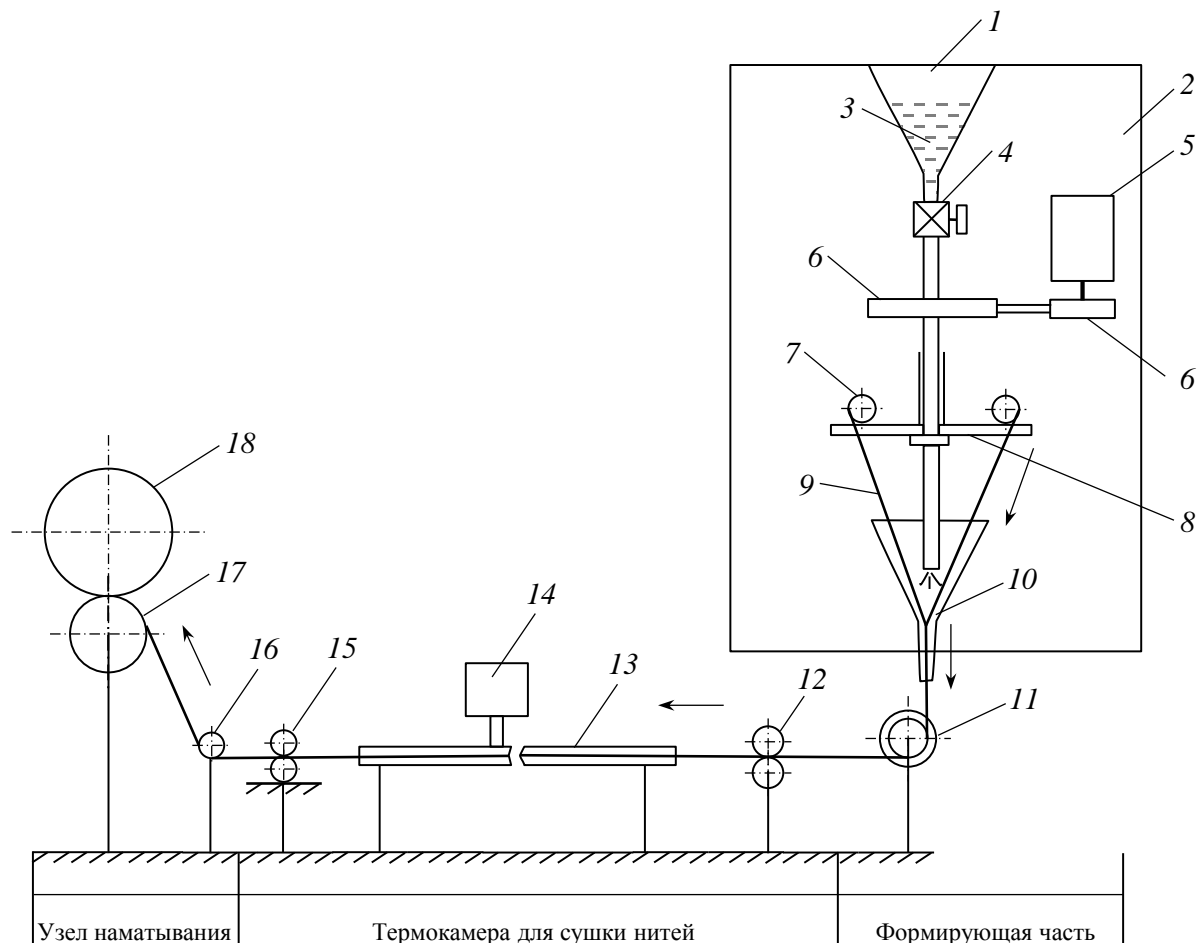


Рис. 1. Схема установки получения шнура из дискретных волокон на основе оксида алюминия: 1 – расходная емкость; 2 – крутильное устройство; 3 – дискретные волокна; 4 – расходный кран; 5 – двигатель; 6 – шкив; 7 – паковка; 8 – крутильная платформа; 9 – стержневая нить; 10 – воронка; 11 – направляющий ролик; 12 – валок; 13 – камера для термообработки; 14 – источник горячего воздуха; 15 – нитенатяжитель; 16 – нитенаправитель; 17 – мотальный барабанчик; 18 – готовый шнур

Установка включает: расходную емкость 1 для пульпы из дискретных волокон 3, основание для крепления узлов крутильного устройства 2, расходный кран 4, двигатель 5, приводные шкивы 6, паковки 7 с одиночными стержневыми нитями 9, крутильную платформу 8, соединительную воронку 10, направляющий ролик 11, отжимную пару валков 12, камеру для термообработки 13, снабженную источником горячего воздуха 14, нитенатяжители 15, нитенаправитель 16, мотальный барабанчик 17 и паковку для готового шнура 18.

Для исследований использовано дискретное волокно состава 80% оксида алюминия+20% оксида кремния. После получения волокно обжигали для удаления летучих

компонентов и кристаллизации с образованием муллита. Однородную пульпу получали диспергированием в воде. Содержание волокон в пульпе в соответствии с расчетами [22] составляло 2% (по массе), связующего – в количестве 3%.

Опробование показало, что подготовленная таким образом водная пульпа легко транспортируется по узлам установки без повреждения волокон и ее струе может быть придана любая форма, в том числе круглая – благодаря форме сопла транспортирующего узла.

С целью дополнительного закрепления волокна при формировании шнура в зоне выхода пульпы из воронки 10 (см. рис. 1) использовали вспомогательные нити, которые вследствие вращения платформы 8 оплетали волоконную массу. Эти стержневые нити предназначены не только для закрепления оксидных волокон, но также являются элементами, обеспечивающими транспортирование мокрого шнура через узлы сушки и смотки.

После заполнения расходной емкости пульпу направляли в соединительную воронку. В нижней части воронки пульпа сгущается за счет процесса оседания волокна. На выходе из воронки основная часть волокон задерживается вспомогательными стержневыми нитями и начинает происходить образование непрерывного шнура. Излишнюю воду удаляли. Установленными далее формирующими роликами шнур калибровали и при этом дополнительно отжимали воду из шнура. Для сушки шнура предусмотрена камера 13 с подачей горячего воздуха. Температуру нагрева воздуха регулировали, ориентируясь на степень сушки шнура.

Опробование процесса показало, что его стабильность зависит от скорости подачи пульпы. Исследование влияния скорости подачи пульпы в соединительную воронку выявило, что при малых скоростях для данной конструкции установки наблюдается оседание волокна в питающей воронке, которое приводило к ее засорению. Увеличение скорости подачи приводит к вымыванию волокна из зоны формирования шнура. Для установки подобрали интервал скоростей, в котором наблюдали получение непрерывного шнура. На рис. 2 представлены макро- и микрофотографии шнура, полученного на лабораторной установке.

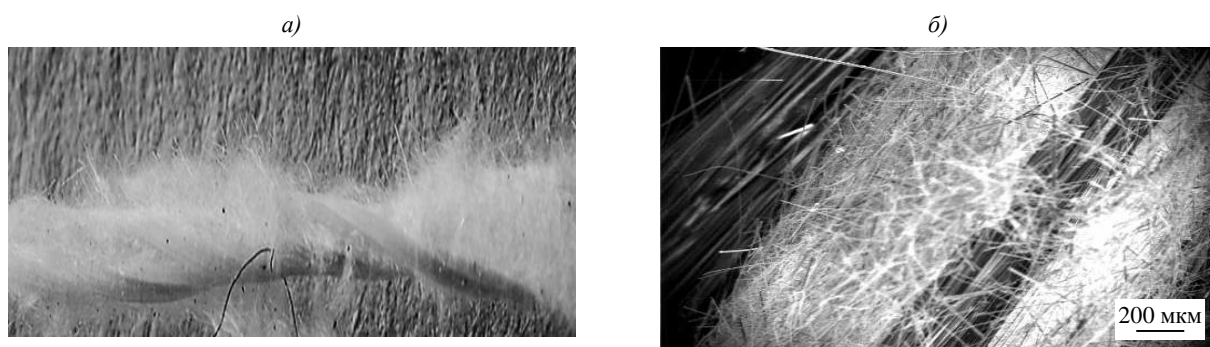


Рис. 2. Макро- (а) и микрофотография (б) шнура из дискретных волокон на основе оксида алюминия

Исследование влияния натяжения вспомогательных нитей показало, что увеличение величины натяжения способствует получению более плотного шнура, однако чрезмерное натяжение приводит к перерезанию влажного шнура натянутыми вспомогательными нитями.

Наблюдения также показали, что обмотка нитями в одну сторону придают шнуру винтовую форму. Очевидно, для получения ровного шнура необходимо проводить перекрестную обмотку нитями, для чего установка должна быть оснащена двумя вра-

щающимися в разные стороны платформами с дополнительными вспомогательными нитями. На рис. 3 представлен образец шнура, подготовленный для внешней оплетки.

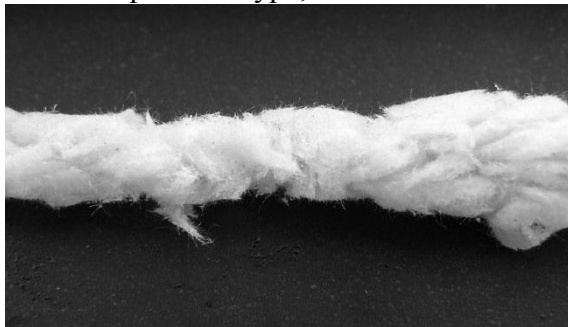


Рис. 3. Образец шнура из дискретных волокон на основе оксида алюминия

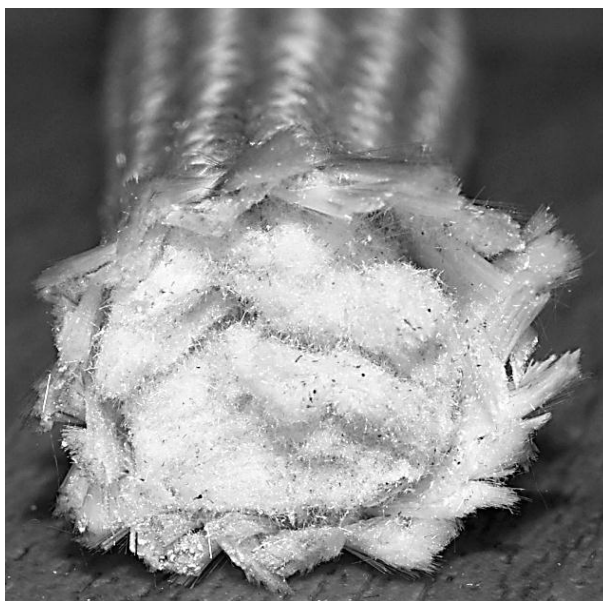


Рис. 4. Гибкий теплоизоляционный уплотнительный шнур из непрерывных нитей на основе дискретных волокон в оплетке из кварцевых нитей

Образец гибкого теплоизоляционного уплотнительного шнура с сердцевиной из 6 шнуров и оплеткой из кварцевых нитей приведен на рис. 4. Линейная плотность комплексной сердцевины шнура $\varnothing 10$ мм составила 18 ктекс.

Обсуждение и заключения

В результате проведенных исследований установлена принципиальная возможность изготовления гибких шнуров из дискретных волокон путем непосредственного формирования шнура из водной пульпы. Полученные данным способом волокна после сушки имели некоторую неоднородность по длине и рыхлость. Устранение этих недостатков требует проведения дополнительных экспериментов по подбору связующих, оптимизации количества вспомогательных нитей и режима сушки шнура. Гибкие уплотнительные материалы и шнуры необходимы для теплоизоляции и теплозащиты в горячих промышленных цехах, высокоэнергетических газотурбинных установках, современных авиационных двигателях и в космической технике.

ЛИТЕРАТУРА

1. Каблов Е.Н., Щетанов Б.В., Ивахненко Ю.А., Балинова Ю.А. Перспективные армирующие высокотемпературные волокна для металлических и керамических композиционных материалов //Труды ВИАМ. 2013. №2. Ст. 05 (viam-works.ru).

2. Каблов Е.Н. Материалы и химические технологии для авиационной техники //Вестник Российской академии наук. 2012. Т. 82. №6. С. 520–530.
3. Каблов Е.Н. Авиакосмическое материаловедение //Все материалы. Энциклопедический справочник. 2008. №3. С. 2–14.
4. Каблов Е.Н., Гращенков Д.В., Исаева Н.В., Солнцев С.С. Перспективные высокотемпературные керамические композиционные материалы //Российский химический журнал. 2010. Т. LIV. №1. С. 20–24.
5. Kobets L.P., Deev I.S. Carbon fibres: structure and mechanical properties //Composites Science and Technology. 1998. Т. 57. №12. С. 1571–1580.
6. Гращенков Д.В., Балинова Ю.А., Тинякова Е.В. Керамические волокна оксида алюминия и материалы на их основе //Стекло и керамика. 2012. №4. С. 32–36.
7. Ивахненко Ю.А., Бабашов В.Г., Зимичев А.М., Тинякова Е.В. Высокотемпературные теплоизоляционные и теплозащитные материалы на основе волокон тугоплавких соединений //Авиационные материалы и технологии. 2012. №5. С. 380–385.
8. Балинова Ю.А., Кириенко Т.А. Непрерывные высокотемпературные оксидные волокна для теплозащитных, теплоизоляционных и композиционных материалов //Все материалы. Энциклопедический справочник. 2012. №4. С. 24–29.
9. Способ получения высокотемпературного волокна на основе оксида алюминия: пат. 2212388 Рос. Федерация; опубл. 20.09.2003. Бюл. №34. 6 с.
10. Балинова Ю.А. Непрерывные поликристаллические волокна оксида алюминия для композиционных материалов: Автореф. дис. к.т.н. М.: ВИАМ. 2012. 19 с.
11. Щетанов Б.В., Щеглова Т.М., Балинова Ю.А. Изготовление, структура и свойства поликристаллических волокон оксида алюминия /В сб. материалов 29-й Международной конф. «Композиционные материалы в технологии». Ялта. 2009. С. 148–150.
12. Варрик Н.М., Ивахненко Ю.А., Максимов В.Г. Оксид-оксидные композиционные материалы для газотурбинных двигателей (обзор) //Труды ВИАМ. 2014. №8. Ст. 03 (viam-works.ru)
13. Щетанов Б.В., Балинова Ю.А., Люлюкина Г.Ю., Соловьева Е.П. Структура и свойства непрерывных поликристаллических волокон α -Al₂O₃ //Авиационные материалы и технологии. 2012. №1. С. 13–17.
14. Балинова Ю.А., Щеглова Т.М., Люлюкина Г.Ю., Тимошин А.С. Особенности формирования α -Al₂O₃ в поликристаллических волокнах с содержанием оксида алюминия 99% в присутствии добавок Fe₂O₃, MgO, SiO₂ //Труды ВИАМ. 2014. №3. Ст. 03 (viam-works.ru).
15. Basalt fibre rope: pat. 102465389 CN; publ. 23.05.2012.
16. Refractory fiber rope packing: pat. 4581882 US; publ. 15.04.1986.
17. Шнур: пат.2233356 Рос. Федерация; опубл. 27.04.2004.
18. Heat resistant fibrous products containing ceramic fibers and method of making the same: pat. 3090103 US; publ.21.05.1963.
19. Щеглова Т.М., Зимичев А.М., Варрик Н.М. Исследование образцов шнура из волокон Fiberfrax //Труды ВИАМ. 2014. №9. Ст. 05 (viam-works.ru).
20. Сайт компании Unifrax (www.unifrax.com).
21. Способ получения комбинированной нити на основе коротких волокон и устройство для его осуществления: пат. 2419692 Рос. Федерация; опубл. 27.05.2011 Бюл. №15.
22. Папилин Н.М., Капитанов А.Ф., Волков В.А., Гладышев А.Ю., Бабашов В.Г., Варрик Н.М. Обоснование рецептуры волокнистой суспензии //Химические волокна. 2009. №5. С. 31–33.

REFERENCES LIST

1. Kablov E.N., Shhetanov B.V., Ivahnenko Ju.A., Balinova Ju.A. Perspektivnyye armirujushhie vysokotemperaturnye volokna dlja metallicheskih i keramicheskikh kompozicionnyh materialov [Prospective reinforcing fibers for high temperature ceramic composites and metal materials] //Trudy VIAM. 2013. №2. St. 05 (viam-works.ru).
2. Kablov E.N. Materialy i himicheskie tehnologii dlja aviacionnoj tehniky [Materials and chemical technologies, aircraft] //Vestnik Rossijskoj akademii nauk. 2012. Т. 82. №6. S. 520–530.
3. Kablov E.N. Aviakosmicheskoe materialovedenie [Aerospace materials] //Vse materialy. Jenciklopedicheskij spravochnik. 2008. №3. S. 2–14.

4. Kablov E.N., Grashhenkov D.V., Isaeva N.V., Solncev S.S. Perspektivnye vysokotemperaturnye keramicheskie kompozicionnye materialy [Promising high-temperature ceramic composite materials] //Rossijskij himicheskij zhurnal. 2010. T. LIV. №1. S. 20–24.
5. Kobets L.P., Deev I.S. Carbon fibres: structure and mechanical properties //Composites Science and Technology. 1998. T. 57. №12. C. 1571–1580.
6. Grashhenkov D.V., Balinova Ju.A., Tinjakova E.V. Keramicheskie volokna oksida aljuminija i materialy na ih osnove [Ceramic alumina fibers and materials based on them] //Steklo i keramika. 2012. №4. S. 32–36.
7. Ivahnenko Ju.A., Babashov V.G., Zimichev A.M., Tinjakova E.V. Vysokotemperaturnye teploizoljacionnye i teplozashhitnye materialy na osnove volokon tugoplavkih soedinenij [High-temperature insulating and heat-proof materials for fiber-based refractory compounds] //Aviacionnye materialy i tehnologii. 2012. №S. S. 380–385.
8. Balinova Ju.A., Kirienko T.A. Nepreryvnye vysokotemperaturnye oksidnye volokna dlja teplozashhitnyh, teploizoljacionnyh i kompozicionnyh materialov [Continuous high temperature oxide fibers for thermal protection, thermal insulation and composite materials] //Vse materialy. Jenciklopedicheskij spravochnik. 2012. №4. S. 24–29.
9. Sposob poluchenija vysokotemperaturnogo volokna na osnove oksida aljuminija [A method for producing high-fiber alumina-based]: pat. 2212388 Ros. Federacija; opubl. 20.09.2003. Bjul. №34. 6 s.
10. Balinova Ju.A. Nepreryvnye polikristallicheskie volokna oksida aljuminija dlja kompozicionnyh materialov [Continuous polycrystalline alumina fibers for composite materials]: Avtoref. dis. k.t.n. M.: VIAM. 2012. 19 s.
11. Shhetanov B.V., Shheglova T.M., Balinova Ju.A. Izgotovlenie, struktura i svojstva polikristallicheskih volokon oksida aljuminija [Manufacturing, Structure and properties of polycrystalline alumina fibers] /V sb. materialov 29-j Mezhdunarodnoj konf. «Kompozicionnye materialy v tehnologii». Jalta. 2009. S. 148–150.
12. Varrik N.M., Ivahnenko Ju.A., Maksimov V.G. Oksid-oksidnye kompozicionnye materialy dlja gazoturbinnnyh dvigatelej (obzor) [Oxide-oxide composite materials for gas turbine engines (review)] //Trudy VIAM. 2014. №8. St. 03 (viam-works.ru)
13. Shhetanov B.V., Balinova Ju.A., Ljuljukina G.Ju., Solov'eva E.P. Struktura i svojstva nepreryvnyh polikristallicheskih volokon α -Al₂O₃ [Structure and properties of continuous fibers of polycrystalline α -Al₂O₃] //Aviacionnye materialy i tehnologii. 2012. №1. S. 13–17.
14. Balinova Ju.A., Shheglova T.M., Ljuljukina G.Ju., Timoshin A.S. Osobennosti formirovanija α -Al₂O₃ v polikristallicheskih voloknah s sodержaniem oksida aljuminija 99% v prisutstvii dobavok Fe₂O₃, MgO, SiO₂ [Features of forming α -Al₂O₃ in polycrystalline fibers with an alumina content of 99% in the presence of additives Fe₂O₃, MgO, SiO₂] //Trudy VIAM. 2014. №3. St. 03 (viam-works.ru).
15. Basalt fibre rope: pat. 102465389 CN; pabl. 23.05.2012.
16. Refractory fiber rope packing: pat. 4581882 US; pabl. 15.04.1986.
17. Shnur [Cord]: pat.2233356 Ros. Federacija; opubl. 27.04.2004.
18. Heat resistant fibrous products containing ceramic fibers and method of making the same: pat. 3090103 US; pabl.21.05.1963.
19. Shheglova T.M., Zimichev A.M., Varrik N.M. Issledovanie obrazcov shnura iz volokon Fiberfrax [The study samples of cord fibers Fiberfrax] //Trudy VIAM. 2014. №9. St. 05 (viam-works.ru).
20. www.unifrax.com.
21. Sposob poluchenija kombinirovannoj niti na osnove korotkih volokon i ustrojstvo dlja ego osushhestvlenija [A method for producing a combination yarn based short fibers and an apparatus for its implementation]: pat. 2419692 Ros. Federacija; opubl. 27.05.2011 Bjul. №15.
22. Papilin N.M., Kapitanov A.F., Volkov V.A., Gladyshev A.Ju., Babashov V.G., Varrik N.M. Obosnovanie receptury voloknistoj suspenzii [Justification formulation of the fiber suspension] //Himicheskie volokna. 2009. №5. S. 31–33.