



УДК 678.84

DOI: 10.18577/2307-6046-2014-0-12-5-5

**КЕРАМИЧЕСКИЙ МАТЕРИАЛ ДЛЯ ДЕТАЛЕЙ  
УСТАНОВОК НЕПРЕРЫВНОЙ РАЗЛИВКИ ЦВЕТНЫХ  
СПЛАВОВ**

В.Г. Бабашов

Ю.А. Ивахненко

А.В. Юдин

А.М. Зимичев

*кандидат технических наук*

**Декабрь 2014**

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.

УДК 678.84

DOI: 10.18577/2307-6046-2014-0-12-5-5

*В.Г. Бабашов<sup>1</sup>, Ю.А. Ивахненко<sup>1</sup>, А.В. Юдин<sup>1</sup>, А.М. Зимичев<sup>1</sup>*

## **КЕРАМИЧЕСКИЙ МАТЕРИАЛ ДЛЯ ДЕТАЛЕЙ УСТАНОВОК НЕПРЕРЫВНОЙ РАЗЛИВКИ ЦВЕТНЫХ СПЛАВОВ**

*Для применения на металлургических предприятиях разработан отечественный материал для замены импортных деталей машин непрерывной разливки цветных металлов и сплавов. Керамический теплоизоляционный материал, полученный методом вакуумного формования на основе кремнеземных и кварцевых волокон, по своим свойствам не уступает применяемому за рубежом wollastonиту.*

**Ключевые слова:** *волокно, кремнезем, кварц, теплоизоляция, непрерывная разливка металла.*

*V.G. Babashov, Y.A. Ivakhnenko, A.V. Yudin, A.M. Zimichev*

## **CERAMIC MATERIAL FOR PARTS OF CONTINUOUS CASTING UNITS INTENDED FOR PRODUCTION OF NON-FERROUS ALLOYS**

*The problem of creation of domestic materials to replace imported wear-subjected parts of units for continuous casting of non-ferrous metals and alloys has been solved. Properties of this heat insulating ceramic material based on silica and quartz fibers produced by vacuum molding compare favourable with Wollaston fibers used abroad.*

**Keywords:** *fiber, silica, quartz, heat insulation, continuous casting of metals.*

---

<sup>1</sup>Федеральное 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

На современных металлургических предприятиях при производстве проката цветных металлов для исключения ряда технологических операций применяют установки непрерывной разливки. При получении ленты на литейно-прокатном агрегате зарубежного производства для подачи расплавленного металла на ленту транспортера применяют сменные керамические детали: щелевые сопла стаканов-кристаллизаторов, ванны для расплавленного металла, предназначенные для регулирования подачи расплава через сопло. Комплект расходуемых керамических деталей, изготавливаемых из слоистого природного минерала группы кальциевых силикатов – волластонита состава  $\text{Ca}_3(\text{Si}_3\text{O}_9)$  и плотностью 2900–3000 кг/м<sup>3</sup>, закупали за рубежом для производства ленты из расплавов цветных металлов.

Высокая стоимость импортных деталей вызвала потребность в создании отечественных материалов для изготовления сменных деталей установки получения ленты из расплава.

Для решения задачи стратегического развития отечественной промышленности и с учетом большого опыта разработки теплоизоляционных материалов на основе тугоплавких оксидов, в ВИАМ разрабатываются новые материалы и технологии для производства отечественных изделий взамен закупаемых за рубежом [1–9].

## Материалы и методы

Цель данной работы – разработка материала для расходных деталей литейной установки и технологии его получения. Материал должен обладать низкой теплопроводностью, химической инертностью по отношению к расплавленному металлу, высокой прочностью и стойкостью к истиранию, а также невысокой стоимостью исходных компонентов и процесса его изготовления.

Основной проблемой при выборе материалов является высокая реакционная способность расплавленного металла. Например, алюминий склонен к образованию на поверхности расплава пленки оксида алюминия [10], которая, налипая на сопла стакана-кристаллизатора и другие поверхности, сокращает размеры ленты, получаемой за одну операцию; увеличивает как потери алюминия, так и расход огнеупорных изделий.

Подбор огнеупорного материала осложняется тем, что основные компоненты большинства таких материалов, содержащие тугоплавкие оксиды CaO и MgO, попадая в расплав, могут оказывать существенное влияние на свойства сплавов.

Разработку керамического материала проводили в основном для установки непрерывной разливки широко применяемых алюминиевых сплавов.

Исследования, проведенные на образцах на основе кварцевых и кремнеземных волокон, показали, что налипание расплавленного алюминия на поверхность огнеупоров незначительна и не превышает величины, типичной для применяемого минерала волластонита.

Опробование разработанного ранее теплоизоляционного материала марки ТЗМК-10 на основе тугоплавких оксидных волокон с плотностью не более  $140 \text{ кг/м}^3$  показало, что данный материал не обладает достаточной прочностью для использования его в деталях литейной машины вместо волластонита. В связи с этим в качестве импортозаменяющего материала опробован более прочный материал на основе кварцевых волокон марки ТЗМК-25, свойства которого представлены в табл. 1.

Таблица 1

**Свойства материалов на основе кварцевых волокон**

Материал	Плотность, $\text{кг/м}^3$	Температура применения, $^{\circ}\text{C}$	Теплопроводность, $\text{Вт/(м}\cdot\text{K)}$	ТКЛР: $\alpha \cdot 10^6, \text{K}^{-1}$
ТЗМК-10	$140 \pm 10$	1250	$\leq 0,05$	$55 \pm 1,5$
ТЗМК-25	$250 \pm 20$	1250	$\leq 0,06$	$55 \pm 1,5$

Несмотря на то что материал марки ТЗМК-25 обладает значительно более высокой прочностью, чем материал марки ТЗМК-10, имеет плотность ниже, чем у волластонита, и при его применении меньше изнашиваются детали лентопротяжного механизма, однако недостаточная износостойкость и высокая стоимость материала из-за высокой стоимости кварцевого волокна оказались серьезным препятствием для его применения. Использование материала марки ТЗМК-25 оказалось также экономически невыгодно, так как изготовление деталей из него связано с необходимостью сложной механической обработки, при которой  $>50\%$  от массы материала первичной заготовки уходит в отходы.

В связи с этим проведен подбор менее дорогостоящих исходных материалов, пригодных для изготовления сменных деталей установки по разливке алюминия и разработки экономичной технологии получения изделий. С этой целью для дальнейшей разработки материала выбраны кварцевые волокна марок СТКВ-94, УТКВ-94 и КВ-11 (ТУ 6-48-115-94), получаемые из расплава.

Образцы для опробования изготавливали в виде блоков и плиток по технологии, представлявшей собой разновидность технологии вакуумного формования [11]. Подготовку волокон проводят путем их штапелирования на отрезки длиной, не превышаю-

шей 50 мм. После чего навеску волокна загружают в диспергирующее устройство. Концентрация волокна в воде составляет 0,5–5% (по массе). Волокна с помощью высокоскоростных миксеров диспергируют до получения гомогенного состояния. В качестве связующего в пульпу вводят водный раствор поливинилового спирта и водную суспензию порошка аморфного бора. Концентрация порошка бора составляет от 0,5 до 3% от массы волокон.

С целью исследования влияния размеров волокон после диспергации на плотность керамического материала изменяли скорость вращения лопастной мешалки в пределах от 1000 до 5000 об/мин, получая пульпу с различными значениями аспектного отношения (отношения длины волокна к диаметру).

### Результаты

Исследования показали, что при увеличении скорости и продолжительности вращения лопастной мешалки можно достичь требуемого измельчения волокон. Измельчение волокон до значений аспектного отношения  $\leq 50$  приводит в дальнейшем к получению материала с повышенной плотностью и ухудшению теплоизоляционных свойств керамического материала. С другой стороны, наличие в пульпе относительно длинных волокон (с аспектным отношением  $\geq 130$ ) приводит при перемешивании к образованию значительного количества флокул в виде областей повышенной плотности. Наблюдения показали, что образование флокул происходит за счет запутывания волокон при перемешивании пульпы. Эксперименты показали, что даже разбавление пульпы, содержащей длинные волокна, до концентрации 0,2% (объемн.) затрудняет получение однородного материала.

Для получения блока-заготовки однородную пульпу сливали на тканевый фильтр, где с помощью вакуума удаляются излишки воды и происходит формирование волокнистого блока с остаточной влажностью  $\sim 150\%$ . С целью окончательного удаления остаточной влаги блоки подвергали сушке при температуре 200–300°C в течение 2 ч.

Для достижения большей прочности блоки подвергали спеканию при температуре 900–1200°C. Измерения образцов после обжига [12–14] показали, что получен материал с плотностью 250–500 кг/м<sup>3</sup>, который значительно легче волластонита. Результаты исследования физико-механических свойств полученных образцов керамического материала приведены в табл. 2.

Таблица 2

**Физико-механические свойства керамического материала**

Аспектное отношение $L/d$	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Теплопроводность, Вт/(м·К), при температуре, °С	Предел прочности при сжатии, МПа
------------------------------	---------------------------------	--	-------------------------------------

		100	500	900	
40–60	500	–	–	–	1,5
90–100	300	0,070	0,15	0,30	0,6–0,7
130–150	200	0,068	0,13	0,25	0,4

Рентгеновский анализ фазового состава показывает отсутствие в структуре керамического материала  $\alpha$ -кристобалита, приводящего к растрескиванию при последующих нагреве и охлаждении изделия.

Из полученных блоков изготовлены детали узла разливки. Несмотря на достаточно высокую прочность, материал легко подвергается механической, в частности фрезерной, обработке. При механической обработке образцов материала, полученного из пульпы со структурой, содержащей флокулы, происходил повышенный расход блоков-заготовок из-за неоднородности материала.

### **Обсуждение и заключения**

Испытания керамических деталей из разработанного материала на действующем агрегате разливки алюминия показали низкое значение усадки в процессе эксплуатации и возможность легкого взаимного притирания деталей, позволяющую оставлять минимальные зазоры между сопрягающимися частями технологического оборудования.

Разработанный керамический волокнистый материал обладает равноплотной структурой, низкими плотностью и теплопроводностью. Изготовление материала не требует сложного оборудования и длительного технологического цикла. Материал недорогой, удовлетворяющий требованиям для его использования в качестве теплозащитного и теплоизоляционного материала многократного использования с рабочей температурой до 1000°C, в частности для изготовления облицовочных плиток печей, стаканов-кристаллизаторов и упругих затравок в горячих цехах по разливу алюминия. Длительные испытания показали, что разработанный материал на основе кремнеземных волокон вполне пригоден для применения и позволяет полностью отказаться от закупки зарубежных изделий.

### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Каблов Е.Н. Стратегические направления развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года //Авиационные материалы и технологии. 2012. №5. С. 7–17.

2. Каблов Е.Н., Гращенков Д.В., Исаева Н.В. и др. Перспективные высокотемпературные керамические композиционные материалы //Российский химический журнал. 2010. Т. LIV. №1. С. 20–24.
3. Антипов В.В., Сенаторова О.Г., Ткаченко Е.А., Вахромов Р.О. Алюминиевые деформируемые сплавы //Авиационные материалы и технологии. 2012. №5. С. 167–182.
4. 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.
5. 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).
6. Щетанов Б.В., Балинова Ю.А., Люлюкина Г.Ю., Соловьева Е.П. Структура и свойства непрерывных поликристаллических волокон  $\alpha$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> //Авиационные материалы и технологии. 2012. №1. С. 13–17.
7. Гращенков Д.В., Щетанов Б.В., Тинякова Е.В., Щеглова Т.М. О возможности использования кварцевого волокна в качестве связующего при получении легковесного теплозащитного материала на основе волокон Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> //Авиационные материалы и технологии. 2011. №4. С. 8–14.
8. 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.
9. Щетанов Б.В., Ивахненко Ю.А., Бабашов В.Г. Теплозащитные материалы //Российский химический журнал. 2010. Т. LIV. №1. С. 12–19.
10. Алексеенко А.А., Байбекова Е.В., Кузнецов С.Н. и др. Исследование проблемы затягивания стаканов при разливке на сортовой МНЛЗ малоуглеродистой низкокремнистой стали, раскисленной алюминием //Электрометаллургия. 2007. №3. С. 4–18.
11. Способ получения волокнистого керамического материала: пат. 2358954 Рос. Федерация; опубл. 20.06.2009.
12. Колышев С.Г., Басаргин О.В., Бутаков В.В. Эксперименты по определению прочности при растяжении образцов из легковесных гибких волокнистых материалов //Все материалы. Энциклопедический справочник. 2014. №5. С. 8–11.

13. Басаргин О.В., Щеглова Т.М., Колышев С.Г. Определение высокотемпературных прочностных характеристик материалов из оксидной керамики //Стекло и керамика. 2013. №2. С. 6–9.
14. Луговой А.А., Бабашов В.Г., Карпов Ю.В. Температуропроводность градиентного теплоизоляционного материала //Труды ВИАМ. 2014. №2. Ст. 02 (viam-works.ru).

#### REFERENCES LIST

1. Kablov E.N. Strategicheskie napravlenija razvitija materialov i tehnologij ih pererabotki na period do 2030 goda [Strategic directions of development of materials and technologies to process them for the period up to 2030] //Aviacionnye materialy i tehnologii. 2012. №S. S. 7–17.
2. Kablov E.N., Grashhenkov D.V., Isaeva N.V. i dr. Perspektivnye vysokotemperaturnye keramicheskie kompozicionnye materialy [Promising high-temperature ceramic composite materials] //Rossijskij himicheskij zhurnal. 2010. T. LIV. №1. S. 20–24.
3. Antipov V.V., Senatorova O.G., Tkachenko E.A., Vahromov R.O. Aljuminievye deformiruemye splavy [Aluminium wrought alloys] //Aviacionnye materialy i tehnologii. 2012. №S. S. 167–182.
4. 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.
5. Kablov E.N., Shhetanov B.V., Ivahnenko Ju.A., Balinova Ju.A. Perspektivnye 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).
6. Shhetanov B.V., Balinova Ju.A., Ljuljukina G.Ju., Solov'eva E.P. Struktura i svojstva nepreryvnyh polikristallicheskih volokon  $\alpha$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> [Structure and properties of continuous fibers of polycrystalline  $\alpha$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>] //Aviacionnye materialy i tehnologii. 2012. №1. S. 13–17.

7. Grashhenkov D.V., Shhetanov B.V., Tinjakova E.V., Shheglova T.M. O vozmozhnosti ispol'zovanija kvarcevogo volokna v kachestve svjazujushhego pri poluchenii legkovesnogo teplozashhitnogo materiala na osnove volokon  $\text{Al}_2\text{O}_3$  [The possibility of using a silica fiber as a binder in the preparation of a lightweight heat-fiber-based material  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ] //Aviacionnye materialy i tehnologii. 2011. №4. S. 8–14.
8. 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.
9. Shhetanov B.V., Ivahnenko Ju.A., Babashov V.G. Teplozashhitnye materialy [Heat-proof materials] //Rossijskij himicheskij zhurnal. 2010. T. LIV. №1. S. 12–19.
10. Alekseenko A.A., Bajbekova E.V., Kuznecov S.N. i dr. Issledovanie problemy zatjagivanija stakanov pri razlivke na sortovoj MNLZ malouglerodistoj nizkokremnistoj stali, raskislennoj aljuminijem [Study of the problem tightening glasses when casting on the CCM low-siliceous mild steel, aluminum killed] //Jelektrometallurgija. 2007. №3. S. 4–18.
11. Sposob poluchenija voloknistogo keramicheskogo materiala [A method for producing a ceramic fiber material]: pat. 2358954 Ros. Federacija; opubl. 20.06.2009.
12. Kolyshev S.G., Basargin O.V., Butakov V.V. Jeksperimenty po opredeleniju prochnosti pri rastjazhenii obrazcov iz legkovesnyh gibkih voloknistyh materialov [Experiments to determine the tensile strength of the samples of lightweight fibrous materials floppy] //Vse materialy. Jenciklopedicheskij spravocnik. 2014. №5. S. 8–11.
13. Basargin O.V., Shheglova T.M., Kolyshev S.G. Opredelenie vysokotemperaturnyh prochnostnyh harakteristik materialov iz oksidnoj keramiki [Determination of high-temperature strength characteristics of the ceramic oxide material] //Steklo i keramika. 2013. №2. S. 6–9.
14. Lugovoj A.A., Babashov V.G., Karpov Ju.V. Temperaturoprovodnost' gradientnogo teploizoljacionnogo materiala [The thermal diffusivity of the gradient insulating material] //Trudy VIAM. 2014. №2. St. 02 (viam-works.ru).