

## РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПОВЫШЕНИЯ ТЕРМОСТОЙКОСТИ СЕТЧАТЫХ ФИЛЬТРОВ

**Л. П. ДОЛГИЙ**, канд. техн. наук, **А. М. МИХАЛЬЦОВ**, канд. техн. наук,  
**И. В. РАФАЛЬСКИЙ**, канд. техн. наук, **М. Л. КАЛИНИЧЕНКО**,  
**И. Г. РАКОВ**

Белорусский национальный технический университет

*В работе представлены результаты по различным способам нанесения защитных покрытий на основу фильтра – сетчатые стеклоткани. Подобраны соотношения компонентов пропитки. Отработаны режимы сушки фильтрующих элементов. Проведены лабораторные испытания фильтрующих элементов на термостойкость.*

***Ключевые слова:** рафинирование, стеклосетка, связующие, этилсиликат, сиазит, термостойкость, защитные покрытия.*

## DEVELOPMENT OF TECHNOLOGY FOR HEAT RESISTANCE INCREASING OF MESH FILTERS

**L. P. DOLGI**, Ph. D. in Technical Science, **A. M. MIKHALTSOV**, Ph. D.  
in Technical Science, **I. V. RAFALSKY**, Ph. D. in Technical Science,  
**M. L. KALINICHENKO**, **I. G. RAKOV**

Belarusian National Technical University

*The paper presents the results of various methods of applying protective coatings to the filter base – mesh fiberglass. The ratios of the impregnation components are selected. The drying modes of filter elements have been worked out. Laboratory tests of filter elements for heat resistance were carried out.*

***Keywords:** refining, glass mesh, binders, ethyl silicate, sialite, heat resistance, protective coatings.*

Получение качественного литья во многом связано с подготовкой жидкого металла. Использование возврата, некачественных, плохо подготовленных шихтовых материалов приводит к загрязнению расплавов различными неметаллическими включениями. Они

отрицательно сказываются на прочности, пластичности, коррозионной стойкости изготавливаемых отливок.

Для решения этой проблемы используются способы, которые условно можно объединить понятием рафинирования расплавов. Методы рафинирования включают продувку расплавов газами, вакуумную обработку, обработку флюсами, а также фильтрацию.

Сущность фильтрации заключается в улавливании неметаллических включений, взвешенных в расплаве либо механическим путем, либо за счет адгезионного взаимодействия с материалом фильтра. Используют два вида фильтров: керамические и сетчатые. Последние применяются преимущественно для фильтрации расплавов на основе алюминия с использованием сетчатого материала типа ССФ на основе алюмоборсикатных составляющих. Они обладают относительно невысокой термической стойкостью (до 800–850 °С) [1–3]. При литье серого чугуна используются более термостойкие сетчатые фильтры на основе кремнеземных сеток типа КС [4, 5].

В исходном состоянии сетки представляют собой мягкие эластичные ткани с определенным размером ячейки. Для удобства установки в литейную форму сетки подвергаются специальной обработке для придания им необходимой формы и жесткости. Для этой цели используются различные материалы, обладающие вяжущими свойствами после их сушки (полимеризации): лигносульфонат, пульвербакелит, различные смолы – резольные, типа КФ и др.

Придавая фильтрующим элементам необходимую жесткость, указанные компоненты при контакте с жидким расплавом интенсивно разрушаются. Продукты разрушения образуют газоподобные вещества различной опасности, а также при литье алюминиевых сплавов окрашивают поверхность отливок, ухудшая их товарный вид.

В связи с изложенным, актуален вопрос с подбором более термостойких и экологичных связующих. При этом одной из задач является дополнительное повышение термостойкости основы за счет образования на ее поверхности не только упрочняющего, но и защитного слоя.

Интерес с этой точки зрения представляют вяжущие материалы на неорганической основе. К категории таких вяжущих можно отнести металлофосфатные связующие (алюмофосфатные, алюмохромфосфатные и др.), а также связующие, применяемые для изго-

товления литейных форм при литье по выплавляемым и выжигаемым моделям (этилсиликат и аналоги).

Возможность получения связующих первого типа при использовании в качестве одного из исходных ее компонентов шлаков, образующих при рафинирующей обработке алюминиевых сплавов, рассмотрена в работе [6]. Показано, что при флюсовой обработке алюминиевых сплавов возможно образование нитрида алюминия, который служит исходным компонентом для получения гидроксида алюминия. Последний в результате химической реакции с ортофосфорной кислотой дает алюмофосфатную связку.

С целью проверки указанного предположения была выполнена серия экспериментов. К суспензии на основе молотого алюминиевого шлака была добавлена концентрированная ортофосфорная кислота (1:1). Химическая реакция в этом случае протекает бурно, с выделением тепла и пенообразованием. По окончании реакции образуется суспензия серого цвета, рН которой существенно ниже 7. В полученной суспензии смачивали сетку типа КС, которую затем подвергали сушке при 120 °С. После сушки сетка приобретает жесткость, достаточную для установки ее в литейную форму. Однако, по истечении 2–3 суток сетка теряла свои конструкционные свойства вследствие высокой гигроскопичности покрытия. Для снижения гигроскопичности металлофосфатное покрытие рекомендуется подвергать дополнительному прокаливанию при температуре 300–400 °С. Однако, обработанная полученной суспензией сетка и прокаленная при температуре около 400 °С, частично охрупчилась и теряла прочность, что свидетельствует о ее низкой стойкости в условиях воздействия кислой среды.

Интерес с точки зрения термической устойчивости представляют связующие, используемые для изготовления оболочек при литье по выплавляемым моделям [7]. В этом качестве, прежде всего, рассматриваются этилсиликаты марок 32, 40 и 50. В исходном состоянии этилсиликаты не обладают связующими свойствами, они не растворимы в воде. Для придания этилсиликатам связующих свойств необходимо провести реакцию гидролиза. С этой целью используют растворители, этиловый спирт, ацетон, соляную кислоту. При протекании реакции гидролиза образуется золь диоксида кремния, с течением времени преобразующаяся в гель и связываю-

шая зерна песка (диоксида кремния) в прочный конгломерат после сушки и прокаливания. Образование прочного и термически устойчивого конгломерата обусловлено химической и физической совместимостью участвующих в реакции компонентов.

Однако указанный процесс имеет существенные недостатки, связанные с достаточно высокой стоимостью этилсиликата, необходимостью использования органических жидкостей (ацетон, этиловый спирт). Кроме того, этот процесс многооперационный. В связи с изложенным, авторы [8] предлагают использовать взамен этилсиликата и сопутствующих компонентов кремнезоли, представляющие собой коллоидную дисперсию диоксида кремния в воде, что исключает операцию подготовки связующего. Кремнезоли получают методом удаления ионов натрия из жидкого стекла ( $\text{Na}_2\text{O}\cdot\text{SiO}_2\cdot\text{H}_2\text{O}$ ) при пропускании его через катионовую смолу.

Использование кремнезелей для подготовки сеток, основой которых является диоксид кремния, оправдано, так как обеспечивает полную совместимость основы (сетки) и материала, обеспечивающего технологическую прочность фильтров. При этом следует ожидать повышения термостойкости сеток за счет объединения отдельных ее волокон в прочный каркас.

Проверку совместимости материала сетки с кремнезолом производили по следующей методике. В качестве кремнезоля использовали сиалит-20, выпускаемый по ТУ 2145-003-43811938-2010, сетка представлена стеклотканью марки КС с размерами фильтрующих ячеек 2,0×2,0 мм.

Оценку совместимости исходных компонентов или, иными словами, способность создавать химически однородный раствор, производили весовым способом. Сетку КС замачивали в сиалите без перемешивания и укладывали на проволочную решетку для предварительной сушки-провяливания при температуре 25–30 °С в потоке воздуха. Затем сиалит подвергали перемешиванию в специальной мешалке с частотой вращения 1000 об/мин. Через 15 мин перемешивания в сиалите смачивали сетку и ставили на провяливание. Аналогичные действия были проведены через 30, 60, 120, 240 мин. Следует отметить, что на 2–3 мин перемешивания сиалит превращается в белую суспензию увеличиваясь в объеме в 2–3 раза. Таким образом, все последующие сетки смачивались в образовавшейся суспензии.

Провяливание сеток после смачивания при температурах в интервале 25–30 °С необходимо, как показали предварительные эксперименты, для образования плотного, без трещин слоя диоксида кремния между нитями плетения сетки (рисунок 1).

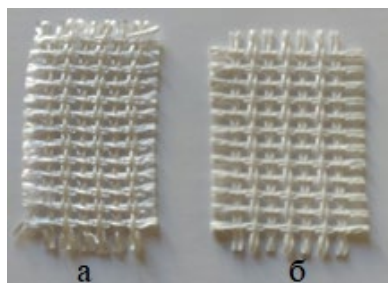


Рисунок 1 – Внешний вид сетки КС до обработки (а) и после пропитки в сиазит-20 (б)

После провяливания в течение 2 ч каждая из сеток подвергалась просушиванию в сушиле при температуре 130–160 °С для удаления остаточной влаги.

Между операциями образцы сетки взвешивались. Результаты приведены на рисунках 2 и 3.



Рисунок 2 – Влияние длительности перемешивания на кроющую способность сиазит-20

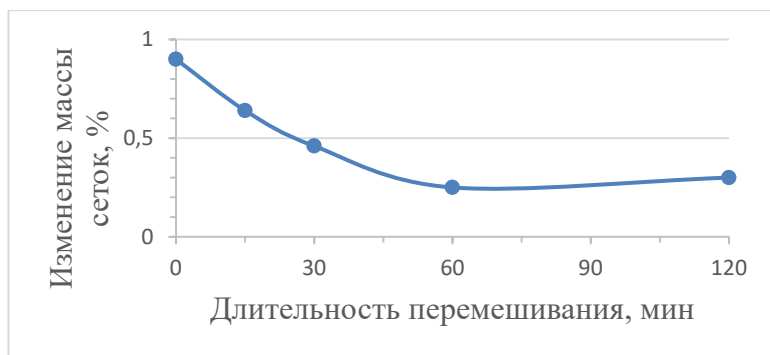


Рисунок 3 – Влияние длительности перемешивания на изменение массы образцов при сушке (1,5 ч, 130–150 °С)

Видно, что при обработке в сиалите с последующим проявлением в течение 2-х ч масса образцов увеличивается на 25–32 % в зависимости от продолжительности активации. При этом сетка держит форму, приобретает небольшую жесткость. В сравнении с жесткостью и прочностью сеток, подготовленных с использованием органических связующих, сетка, обработанная в чистом сиалите, проигрывает, то есть не обладает необходимыми для манипуляции жесткостью и прочностью при их использовании.

Следует отметить, что с увеличением продолжительности перемешивания и последующей сушки при температуре 130–150 °С в течение 1,5 ч масса образцов изменяется незначительно (рисунок 3).

В рекомендации по использованию сиалит-20 отмечается, что для получения максимальной прочности форм литья по выплавляемым моделям в приготавливаемую суспензию (сиалит + песок) целесообразно добавлять 12–13 % (от массы сиалита) ЭТС-40.

При перемешивании кремнезоль с этилсиликатом образуется эмульсия, вязкость которой возрастает с увеличением содержания ЭТС-40 (рисунок 4).

Сетка КС хорошо смачивалась в эмульсии с содержанием ЭТС-40 порядка 20 % мас. При более высоком содержании ЭТС-40 процесс смачивания сетки усложняется из-за высокой вязкости суспензии. С целью определения оптимального содержания ЭТС-40 в сиалите были приготовлены 3 состава: 13 % ЭТС-40 в сиалите; 20 % мас. ЭТС-40 в сиалите и 30 % мас. ЭТС в сиалите. В пригото-

ленных эмульсиях смачивали фрагменты сетки КС, которые затем подвергали проявлению и сушке по схеме, описанной выше.

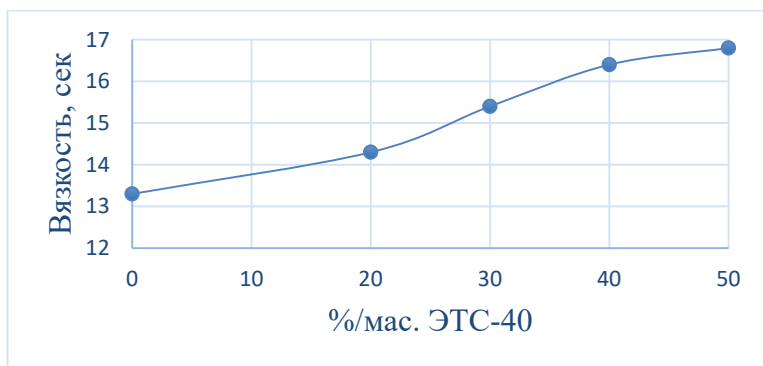


Рисунок 4 – Влияние содержания ЭТС-40 на вязкость эмульсии на основе сиалит-20

Взвешивание показало, что масса сеток после замачивания и проявлявания возросла на 25–26 % мас. После сушки масса пропитанных сеток уменьшилась на 1–1,5 %.

Для оценки устойчивости различных видов обработки сеток к воздействию расплавов металлов была разработана специальная методика. Изготавливались два песчаных стержня с конусными отверстиями, между которыми помещалась обработанная сетка (рисунок 5). Над ними устанавливалась заливочная воронка с грузом (рисунок 6).



Рисунок 5 – Проливочная камера



Рисунок 6 – Проливочные камеры с грузами перед заливкой

Полученная конструкция устанавливалась над изложницей. Для увеличения площади контакта сетки с жидким металлом и повышения, таким образом, ее пропускной способности сетка устанавливалась между расширенными частями конусных оснований. Во избежание смятия струей жидкого металла сетка по краям фиксировалась между стержнями посредством суспензии маршалита со смолой типа КФЖ с последующей сушкой.

Опробывание разрабатываемой технологии производилось с использованием сетки типа КС с размерами ячеек  $2,0 \times 2,0$  мм. Сетку обрабатывали в 20-процентной суспензии этилсиликата ЭТС-40 в сиалите по схеме: замачивание – провяливание – сушка. Высокопрочный чугун марки ВЧ50 плавил в индукционной тигельной печи. Через сетку проливали 3–3,5 кг жидкого чугуна при температуре  $1450^\circ\text{C}$ .

Можно видеть (рисунки 7 и 8), что обработанная суспензией сетка не претерпела существенных изменений. Полученный результат свидетельствует о возможности повышения термической стойкости сеток типа КС за счет предварительной обработки их в термостойких неорганических связующих типа сиалит. Это позволит использовать сетки типа КС не только при литье серого чугуна, но и других, более высокотемпературных сплавов.



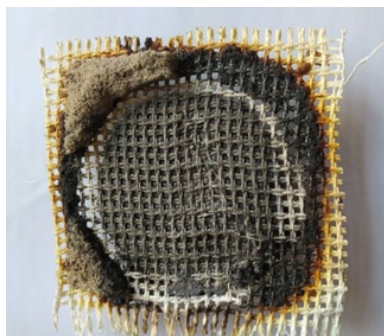


Рисунок 7 – Сетка после фильтрации расплава чугуна ВЧ50



Рисунок 8 – Пропитанная сетка до (а) и после (б) проливки расплавом ВЧ50 (×40)

### Список литературы

1. Даричев В. В. Фильтрация металлов. Основные типы фильтров / В. В. Даричев // *Литье и металлургия*. – 2007. – № 2 (42). – С. 129–131.
2. Храбина, Д. Фильтры стали при заливке / Д. Храбина (Foseco США) // *Литейное производство*. – 2015. – № 7. – С. 20–27.
3. Demir, A. Fabrication of Alumina Ceramic Filters and Performance Tests for Aluminium Castings / A. Demir // *Acta Physica Polonica A*. – 2018. – Vol. 134. – No. 1. – P. 332–334.
4. Тен, Э. Б. Теоретические и прикладные аспекты процесса фильтрационного рафинирования жидких металлов. / Э. Б. Тен, И. А. Дибров, // Доклад на 65-м международном конгрессе литейщиков, Корея, 2002 г.

**5. Fabrication** of SiC reticulated porous ceramics with multi-layered struts for porous media combustion / Xiong Liang [et al.] // *Ceramics International*. – 2016. – Vol. 42 (11). – P. 13091–13097.

**6. Оценка** возможности получения фильтрующих элементов с использованием отходов металлургической переработки алюминиевых сплавов / Л. П. Долгий [и др.] // *Металлургия: Республ. межведом. сб. науч. тр.* – Минск: БНТУ, 2021. – Вып. 42. – С. 48–56.

**7. Литье** по выплавляемым моделям. / В. Н. Иванов [и др.]. Под общ. ред. Я. И. Шкленника // М.: Машиностроение, 1984. – 408 с.

**8. Использование** кремнезема для изготовления форм по выплавляемым моделям / А. Д. Чулкова [и др.] // *Литейное производство*. – 1981. – № 11. – С. 16–18.

## References

**1. Darichev V. V.** *Fil'tratsiia metallov. Osnovnye tipy fil'trov* [Filtration of Metals. The Main Types of Filters] / V. V. Darichev // *Lit'e i metallurgiiia = Foundry production and metallurge*. – 2007. – No. 2 (42). – P. 129–131.

**2. Hrabina, D** *Fil'try stali pri zalivke* [Filters for Steel Casting ] / D. Hrabina (Foseco SShA) // *Liteinoe proizvodstvo = Foundry*. – 2015. – No. 7. – P. 20–27.

**3. Demir, A.** Fabrication of Alumina Ceramic Filters and Performance Tests for Aluminium Castings / A. Demir // *Acta Physica Polonica A*. – 2018. – Vol. 134. – No. 1. – P. 332–334.

**4. Ten E. B.** *Teoreticheskie i prikladnye aspekty protsessa fil'tratsionnogo rafi-nirovaniia zhidkikh metallov* [Theoretical and Applied Aspects of the Process of Filtration Refining of Liquid Metals] / E. B. Ten, I. A. Dibrov // *Doklad na 65-m mezhdunarodnom kongresse liteishchikov, Koreia* = Report at the 65th International Foundry Congress, Koreia, 2002.

**5. Fabrication** of SiC reticulated porous ceramics with multi-layered struts for porous media combustion / Xiong Liang [et al.] // *Ceramics International*. – 2016. – Vol. 42 (11). – P. 13091–13097.

**6. Otsenka** *vozmozhnosti polucheniia fil'truishchikh elementov s ispol'zova-niem otkhodov metallurgicheskoi pererabotki aliuminievykh splavov* [Analyzing of the Possibility the Waste from Metallurgical Processing of Aluminum Alloys for Obtaining Filter Elements] /

L. P. Dolgii [et al.] // *Metallurgii: Respublikanskii mezhvedomstvennyi sbornik nauchnykh trudov = Metallurgy: Republican interdepartmental collection of scientific papers*. – Minsk: BNTU Publ., 2021. – Vyp. 42. – P. 48–56.

7. **Lit'e po vyplavliaemym modeliam** [Smelted models casting] / V. N. Ivanov [et al.]. *Pod obshch. red. Ia. I. Shklennika* // Moscow: Mashinostroenie Publ., 1984. – 408 p.

8. **Ispol'zovanie kremnezema dlia izgotovleniia form po vyplavliaemym modeliam** [The usage of silica for smelted models manufacturing] / A. D. Chulkova [et al.] // *Liteinoe proizvodstvo = Foundry*.– 1981. – No. 11. – P. 16–18.

*Поступила 28.10.2022*  
*Received 28.10.2022*