

Разработанные брикеты обладают необходимым комплексом физико-механических и технологических свойств, обеспечивающих минимальные потери при их транспортировке, хранении, дозировании и подаче в печи и эффективное восстановление в условиях, соответствующих шлаковой ванне руднотермических дуговых печей.

Внедрение полученных результатов позволит заменить около 5000 т стальной стружки в год, что составляет около 50 % ее потребности для собственного производства ферросилиция и ферросиликомарганца, утилизировав при этом около 7200 т прокатной окалины, ~ 1200 т аспирационной пыли ДСП и ~ 2400 т пыли, образующейся при производстве дирексила. Ожидаемое сокращение затрат на закупку стальной стружки составит при этом около 300 тыс. долл. в год.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Лисин, В. С.** Ресурсоэкологические проблемы XXI века и металлургия / В. С. Лисин, Ю. С. Юсфин. – М.: Высш. шк., 1998. – 447 с.
2. Пути повышения качества отливок и эффективности использования вторичных ресурсов / А. С. Калинин, Ф. А. Рудницкий, Ю. А. Николайчик [и др.] // Металлургия в машиностроении Беларуси: итоги и перспективы научного обеспечения: Сб. науч. ст. – 2022. – С. 95–114.
3. Рециклинг аспирационной пыли электродуговой плавки ферросиликомарганца / С. Л. Ровин, Р. С. Гараев, А. М. Каримов [и др.] // Теория и технология металлургического производства. – 2024. – Т. 51. – № 4. – С. 13–17.
4. **Батан, Б. К.** Подбор оптимального состава смеси и связующего материала для железосодержащих брикетов / Б. К. Батан, А. К. Жунусов // Технические науки. – 2024. – № 2. – С. 208–213.
5. **Новицкий, Н. А.** Разработка технологических рекомендаций производства брикетированного шихтового материала из техногенного сырья и исследование физико-механических свойств окалиноуглеродных брикетов: автореф. дис. канд. техн. наук / Н. А. Новицкий. – М.: 2017. – 28 с.

REFERENCES

1. **Lisin B. C., Jusfin Ju. S.** *Resurso-jekologicheskie problemy XXI veka i metallurgija* [Resource and environmental problems of the 21st century and metallurgy]. Moscow, Vysshaja shkola Publ., 1998, 447 p.
2. **Kalinichenko A. S., Rudnickij F. A., Nikolajchik Ju. A., Sluckij A. G., Shejnert V. A., Rovin S. L.** Puti povyshenija kachestva otlivok i jeffektivnosti ispol'zovanija vtorichnyh resursov [Ways to improve the quality of castings and the efficiency of using secondary resources]. *Metallurgija v mashinostroenii Belarusi: itogi i perspektivy nauchnogo obespechenija = Metallurgy in mechanical engineering of Belarus: results and prospects of scientific support*, 2022, pp. 95–114.
3. **Rovin S. L., Garaev R. S., Karimov A. M., Fozilov B. R.** Recikling aspiracionnoj pyli jelektrodugovoj plavki ferrosilikomarganca [Recycling of aspiration dust from electric arc smelting of ferrosilicon manganese]. *Teorija i tehnologija metallurgicheskogo proizvodstva = Theory and Technology of Metallurgical Production*, 2024, vol. 51, no. 4, pp. 13–17.
4. **Batan B. K., Zhunusov A. K.** Podbor optimal'nogo sostava smesi i svjazujushhego materiala dlja zhelezosoderzhashhih briketov [Selecting the optimal mixture composition and binder for iron-containing briquettes]. *Tekhnicheskie nauki = Engineering Sciences*, 2024, no. 2, pp. 208–213.
5. **Novickij N. A.** *Razrabotka tehnologicheskijh rekomendacij proizvodstva briketirovannogo shihtovogo materiala iz tehnogenogo syr'ja i issledovanie fiziko-mehanicheskijh svojstv okalinouglerodnyh briketov* [Development of technological recommendations for the production of briquetted charge material from man-made raw materials and the study of the physical and mechanical properties of scale-carbon briquettes]. Moscow, 2017, 28 p.



УДК 621.745.55

ОЦЕНКА ФИЛЬТРАЦИИ НИКЕЛЕВОГО СПЛАВА НА УЧАСТКЕ ЭЛЕКТРОДУГОВОЙ ПЛАВКИ

В. А. КОРОВИН, И. О. ЛЕУШИН, У. Ш. ВАХИДОВ, М. А. ГЕЙКО,
ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный технический университет им. Р. Е. Алексеева»,
г. Нижний Новгород, Россия, ул. Минина, 24. E-mail: v.korovin2015@yandex.ru
А. А. ГАРЧЕНКО, АО «РУСПОЛИМЕТ», г. Кулебаки, Нижегородская обл., Россия
А. И. ДЕМЧЕНКО, ООО «Гранком», г. Кулебаки, Нижегородская обл., Россия

Приведены результаты фильтрования никелевого расплава через пенокерамические фильтры, основанные на частично стабилизированном ZrO_2 . Это позволило уменьшить размер и количество карбидной фазы с равномерным распределением ее в объеме металла при увеличении твердости фильтрованного металла на 8–10% в области основного металла, что обеспечило возможность пластической деформации сплава без образования микротрещин в местах блокировки слоев металла карбидами.

Ключевые слова. Никелевый сплав, микротрещины, фильтрование металла, пенокерамические фильтры, карбидная фаза.

ASSESSMENT OF FILTRATION OF NICKEL ALLOY IN THE ELECTRIC ARC MELTING SECTION

V. A. KOROVIN, I. O. LEUSHIN, U. Sh. VAKHIDOV, M. A. GEYKO,
Nizhny Novgorod State Technical University named after R. E. Alekseev,
Nizhny Novgorod, Russian Federation, 24, Minina str. E-mail: v.korovin2015@yandex.ru
A. A. GARCHENKO, "RUSPOLYMET", Kulebaki, Nizhny Novgorod Region, Russian Federation
A. I. DEMCHENKO, "GRANKOM", Kulebaki, Nizhny Novgorod Region, Russian Federation

The article presents the results of filtering molten nickel through foam ceramic filters based on partially stabilized ZrO_2 . This made it possible to reduce the size and quantity of the carbide phase and to achieve a uniform distribution of carbides throughout the metal volume. As a result, the hardness of the filtered metal in the base material zone increased by 8–10%, enabling plastic deformation of the alloy without the formation of microcracks in areas where metal layers were blocked by carbides.

Keywords. Nickel alloy, microcracks, metal filtration, foam ceramic filters, carbide phase.

Фильтрование расплава после электродугового переплава является эффективным способом очистки металла от неметаллических включений, оксидов, нитридов, фосфидов и общего улучшения микроструктуры [1–3].

В работе предлагается использование пенокерамических фильтров (ПКФ) VUKOPOR® НТ, основанных на частично стабилизированном ZrO_2 . Данные фильтры (рис. 1) отличаются массивным строением керамического тела фильтра и высокими температурно-механическими параметрами, обеспечивающими высокую стабильность фильтров при их применении.

Фильтры предназначены прежде всего для фильтрации отливок из стали при температурах до 1700 °С. Применяются для фильтрации сплавов с высокими требованиями к качеству металла. Имеют трехмерную структуру взаимно связанных пор, образующих лабиринт керамического тела фильтра. Эти свойства фильтра создают оптимальные условия для работы всех механизмов эффективной фильтрации и спокойного наполнения формы с перестройкой микроструктуры [4,5].

Схемы установки фильтров

Фильтры можно устанавливать в керамическую воронку или литейную чашу (рис. 2).

Никелевый сплав, например ХН56ВМТЮ, используемый для получения заготовок сложных и ответственных деталей, характеризуется недостатком – поверхностное трещинообразование [6]. В табл. 1 приведен химический состав сплава.



Рис. 1. Пенокерамические фильтры



Рис. 2. Литейная чаша с фильтром и керамическая воронка с фильтром

Т а б л и ц а 1. Химический состав сплава ХН56ВМТЮ

Марка сплава	C, %	Si, %	Mn, %	Cr, %	Ni	S, %	P, %
ХН56ВМТЮ (ЭП199)	0,03–0,06	≤0,45	≤0,45	19,4–20,4	Основа	≤0,010	≤0,015
	Fe, %	Mo, %	W, %	Cu, %	Ti, %	Al, %	
	≤3,9	4,3–5,3	9,3–10,3	≤0,07	1,20–1,40	2,20–2,40	

Микроструктура никелевого сплава до и после фильтрации показана на рис. 3, 4.

Содержание газов в плавках с фильтрацией с применением ПКФ и без фильтрации приведено в табл. 2.

1. Фильтрация металла позволяет снизить количество неметаллических включений, а оставшееся количество распределить равномерно по объему расплава. Металл, подвергнутый этому технологическому приему, обладает более высоким комплексом механических свойств в сравнении с металлом, не подвергавшимся фильтрации. При пропуске металла через сепарирующую преграду наблюдается снижение количества растворенных газов, а в некоторых случаях и примесей цветных металлов.

2. Необходимо добиваться максимально низких скоростей фильтрации, реализующих при этом турбулентный режим движения расплава в самом фильтре, но ламинарный режим течения после прохождения металлом самого фильтра. Оптимальная скорость фильтрации через ПКФ – 1–2 кг/с.

3. Целесообразно применять прямую заливку, чтобы минимизировать риск закупоривания фильтра и устанавливать фильтр вертикально, чтобы минимизировать риск разрушения фильтра.

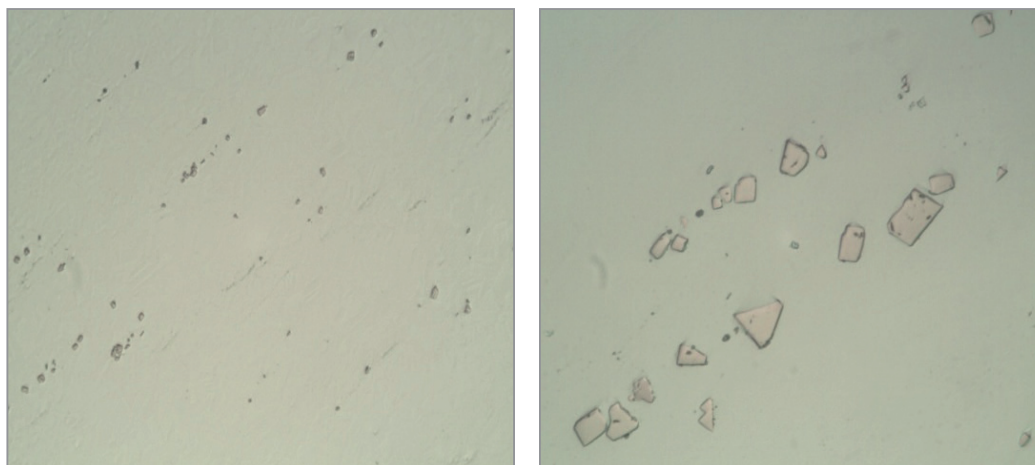


Рис. 3. Микроструктура образца с фильтрацией

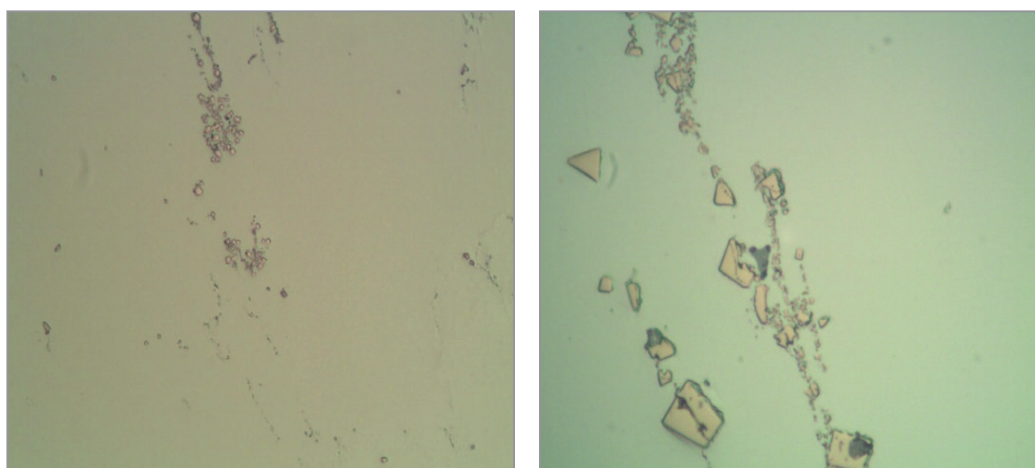


Рис. 4. Микроструктура образца без фильтрации

Таблица 2. Содержание газов в плавках с фильтрацией и без фильтрации

Отливка		O ₂	N ₂	H ₂
Без ПКФ	От жидкого металла	0,002	0,031	
	От слитка	0,002	0,023	0,0003
С ПКФ	От жидкого металла	0,002	0,041	
	От слитка	0,001	0,023	0,0003

4. Пенокерамический фильтр обладает рядом преимуществ по четырем основным свойствам, что обеспечивает ему более широкое применение при фильтрации жаропрочных сплавов.

5. Фильтрация металла позволяет вовлекать в переплав большее количество отходов при сохранении служебных свойств металла, поэтому мировое сообщество литейщиков активно использует технологический прием фильтрации жаропрочных никелевых сплавов небольших объемов, однако сообщений о фильтрации расплавов объемом в несколько тонн немного.

Анализ результатов исследований

Микроструктура образцов из никелевого сплава состоит из γ -твердого раствора и включений карбидонитридов титана. На образцах нефильтрованного металла карбидонитриды титана распределены как отдельные крупные включения, так и виде скоплений, строчек и цепочек. На образцах с фильтрацией крупных карбидных включений меньше и общее их количество меньше на 50%.

Для сравнения и подтверждения полученной микроструктуры провели углубленное исследование на электронном микроскопе. Была выявлена литая дендритная микроструктура с выделившимися структурно-свободными включениями различной формы типа карбидов, нитридов и интерметаллидов.