

УДК 669.018.44

В. А. Коровин, д-р тех. наук, проф., **И. О. Леушин** д-р тех. наук, проф.,

С. В. Беляев, канд. техн. наук, доцент,

Нижегородский государственный технический университет им. Р. Е. Алексея, г. Нижний Новгород, ул. Минина 24, 603155;

А. И. Демченко, канд. техн. наук, нач. производства, **М. С. Хацько**, инженер, ПАО «Русполимет», Нижегородская обл., г. Кулебаки, ул. Восстания д. 1, 607010;

А. Г. Панов, д-р тех. наук, проф.

Набережночелнинский институт Казанского федерального университета, Республика Татарстан, г. Набережные Челны, проспект Мира, д. 68 / 19, 423812.

Тел./Факс: +7(831) 436-43-95; E-mail: mto@nntu.ru

ВЛИЯНИЕ ФИЛЬТРАЦИОННОГО РАФИНИРОВАНИЯ НА МИКРОСТРУКТУРУ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СПЛАВ ВЖ-159

Литературный анализ показал, что фильтрация расплава является эффективным способом уменьшения количества неметаллических включений в расплаве и повышения уровня механических свойств готовой отливки. Была проведена плавка экспериментальной плавки сплава ВЖ-159. Отливка одной заготовки осуществлялась через двойной пенокерамический фильтр, а другой без фильтра. Из каждой заготовки были отобраны образцы для микроструктурного анализа. Микроструктурный анализ проводили с помощью микроскопа NEOPHOT 32. Установлено, что применение технологии фильтрации на сплаве ВЖ-159 позволяет очистить металл от крупных оксидных неметаллических включений. Было установлено, что применение технологии фильтрации на сплаве ВЖ-159 позволяет повысить комплекс механических свойств заготовки до уровня от 4 до 15%.

Ключевые слова: механические свойства, неметаллические включения, сплав ВЖ-159, фильтрация, микроструктура металла.

V. A. Korovin, I. O. Leushin, S. V. Belyaev, A. I. Demchenko, M. S. Khatsko, A. G. Panov

THE EFFECT OF FILTRATION REFINING ON MICROSTRUCTURE AND MECHANICAL PROPERTIES OF THE VJ-159 ALLOY

The analysis of literature data was carried out. It is shown that filtration of the melt is an effective way to reduce the amount of non-metallic inclusions in the melt and increase the level of mechanical properties in the finished casting. Smelting of experimental melting of VZ-159 alloy was carried out, casting of one billet was carried out through a double ceramic foam filter, and the other without a filter. Templates were selected from each blank for microstructural analysis. Microstructural analysis was carried out using a NEOPHOT 32 microscope. It has been established that the use of filtration technology on the VZ-159 alloy allows cleaning the metal from large oxide non-metallic inclusions. It was found that the use of filtration technology on the VZ-159 alloy makes it possible to increase the complex of mechanical properties of the workpiece to a level from 4 to 15%.

Keywords: mechanical properties, non-metallic inclusions, VZ-159 alloy, filtration, metal microstructure.

1. Введение.

Широкая применяемость сплава ВЖ-159 в авиационной и атомной промышленности обусловлена высоким комплексом служебных характеристик при комнатной до повышенной температурах этого сплава. Повышенный уровень служебных свойств диктует особые условия производства заготовок из данного сплава. Так, при выплавке используются только «чистые» материалы, в противном случае есть риск снижения служебных характеристик. Такая технология производства приводит к росту расходов на производство заготовок. Одним из способов снижения себестоимости производства заготовок является вовлечение отходов в переплав [1-3]. Однако такой путь может привести к снижению служебных характеристик [4] полученных изделий вследствие

накопления примесных элементов [5-9], поэтому совместно с вовлечением дополнительного количества литейных отходов применяют [10-15] фильтрационное рафинирование.

Состояние вопроса.

Известно [15-19], что фильтрационное рафинирование позволяет снизить количество неметаллических включений в готовом металле, оказывая тем самым существенное влияние на микроструктуру и механические свойства полученных заготовок. В вышеуказанных и других работах отмечено положительное влияние фильтрации на служебные характеристики полученной продукции, однако сообщений о фильтрации такого востребованного сплава, как ВЖ-159 нет. Поэтому целью работы явилось сравнение микроструктуры и механических свойств двух заготовок из сплава ВЖ-159 – подверженную фильтрации и разлитую по стандартной технологии.

2. Экспериментальная часть.

В качестве объекта исследования был выбран жаропрочный сплав на никелевой основе ВЖ-159, выплавляемый на ПАО «Русполимет». Требования к механическим свойствам данного сплава представлены в таблице 1. Выплавка производилась в вакуумно-индукционной печи ВИП-3,0 емкостью 4,6 тонн. В качестве шихтовых материалов выступали марочные отходы в количестве 30% от массы завалки, остальное чистые материалы. При расплавлении и легировании поддерживался уровень вакуума 0,5-2,5 Па. Разливка проводилась в среде аргона при давлении 8-10 МПа. Разливка осуществлялась через специальное разливочное устройство – промковш, изготовленный из керамики с содержанием корунда более 90%. Разливочное устройство подогревалось до температуры 1200°C для исключения замерзания металла. Время от окончания нагрева до начала разливки составляет менее 15 минут. Температура металла перед разливкой составила 1520°C.

Таблица 1. – Механические свойства сплава ВЖ-159 при комнатной температуре по СТО 78721433-048 (закалка и двукратное старение)

Временное сопротивление, МПа, σ_b	Предел текучести, Мпа, $\sigma_{0,2}$	Относительное удлинение, %, δ_5	Относительное сужение, %, ψ	Ударная вязкость, (кгс·м/см ²), K_c
≥ 960	≥ 590	≥ 19	≥ 30	≥ 5

При разливке первой заготовки использовали промковш без фильтра, а вторая заготовка разливалась через аналогичный промковш, но перед разливочным стаканчиком был установлен двухслойный пенокерамический фильтр (ПКФ) пористостью 5/10 ррi специальной конструкции [20] из диоксида циркония. Внешний вид разливочного устройства показан на рис. 1.

Для проведения металлографических исследований из подприбыльной части каждой из литых заготовок отбирались поперечные темплеты. Микроструктура образцов от слитков исследована с помощью оптического микроскопа НЕОРНОТ 32. Образцы для металлографического анализа подготовлены путем шлифования и полирования. Травление образцов проводилось электролитически в 10%-ом водном растворе щавелевой кислоты при величине анодного тока 5А, время травления для выявления микроструктуры составляло 2 с, для анализа макроструктуры – 4 с.

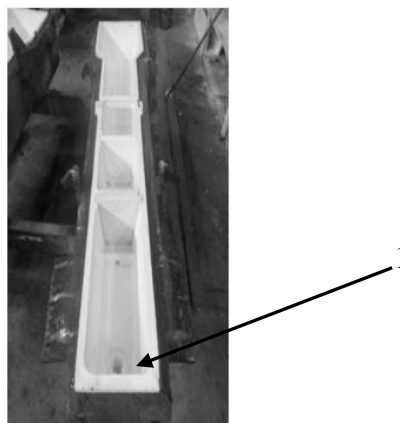
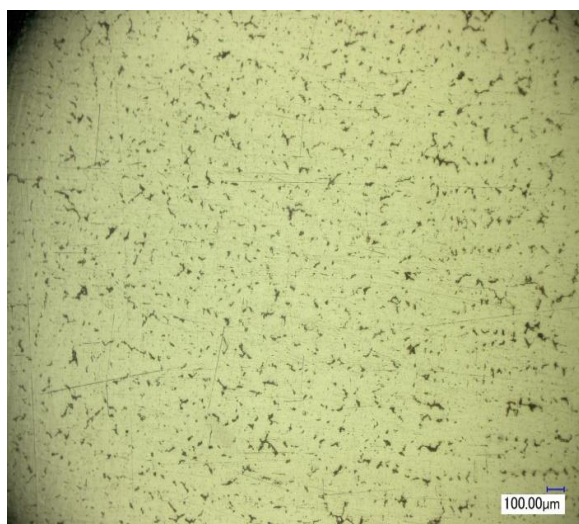


Рисунок 1. Внешний вид разливочного устройства:
1 – двухслойный фильтр.

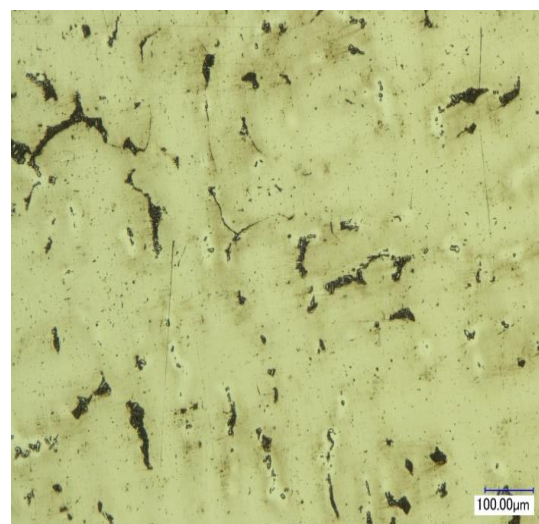
Контроль механических свойств проводили в соответствии с ГОСТ 1497-84 и ГОСТ 9454 -78 от пробы, полученной от темплета, вырезанной из подприбыльной части литой заготовки. Для этого от полученных темплетов на абразивно-отрезном станке вырезали образцы размерами 25x25x120 мм. Черновую мехобработку проводили на токарно-винторезном станке типа Б16Д25, термическую обработку выполняли в термической печи СНОЛ 7,2/1300.

3. Обсуждение результатов.

Микроструктуры образцов, полученных по двум вариантам технологии, представлены на рисунке 2:



a



б

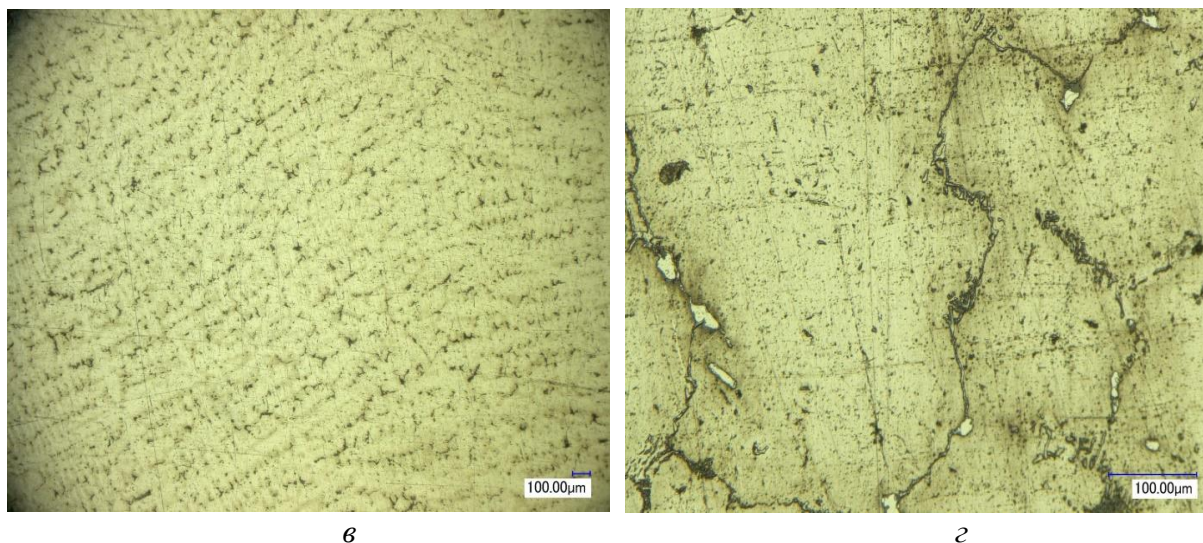


Рисунок 2. Микроструктура полученных заготовок *а, б* – без применения технологии фильтрации, увеличение 100х и 500х соответственно; *в, з* – с применением технологии фильтрации, увеличение 100х и 500х соответственно.

Как видно из рис. 2, *а* и 2, *б*, в микроструктуре сплава ВЖ-159, подвергнутого фильтрации, распределение структурных элементов по объему стало более равномерным, а сами они более мелкими. А на микроструктуре заготовки, не подвергнутой фильтрации видны неметаллические оксидные включения, имеющие характерный белый цвет на фотографиях микрошлифа. Кроме того, имеются хаотично расположенные структурные элементы сплава.

Несомненно, прямое влияние на механические свойства металла оказывает микроструктура. Механические свойства обеих заготовок показаны в таблице 2:

Таблица 2. – Механические свойства сплава ВЖ-159

№ заготовки	Временное сопротивление, МПа, σ_B	Предел текучести, Мпа, $\sigma_{0,2}$	Относительное удлинение, %, δ_5	Относительное сужение, %, ψ	Ударная вязкость, (кгс·м/см ²), K_c
1 – без ПКФ	1094	690	31	36	7,6
2 – с ПКФ	1138	726	36	46	9,0

Как видно из табл. 2, при применении ПКФ наблюдается рост служебных характеристик полученных заготовок на уровень от 4 до 15%.

4. Выводы

1. Показано, что микроструктура слитка сплава ВЖ-159, разлитого без применения технологии фильтрации, имеет в своем составе неметаллические оксидные включения, имеющие характерный белый цвет на фотографиях микрошлифа.

2. Получено почти полное удаление неметаллических включений в фильтрованном металле, по сравнению с не фильтрованным металлом.

2. Установлено, что применение технологии фильтрации на сплаве ВЖ-159 позволяет повысить комплекс механических свойств заготовки на уровень от 4 до 15%.

ЛИТЕРАТУРА

1. Тен, Э. Б. Фильтрование металла в литейной форме (сборник материалов по фильтрам, эффективности применения, опыту использования в отечественной и зарубежной практике) / Э.Б Тен. - М., 2005. – 220 с.

2. Каблов, Е. Н. Литые лопатки газотурбинных двигателей / Е. Н. Каблов. – М.: МИСиС, 2001. – 632 с.

3. Сидоров, В. В. Высокоэффективные технологии и современное оборудование для производства шихтовых заготовок из литейных жаропрочных сплавов / В. В. Сидоров, В. Е. Ригин, А. В. Горюнов, Д. Е. Каблов // *Металлург*. – 2012. – №5. – С. 26-30.

4. Brotbey, A. V. Sources of trace elements in primary raw materials used in production of superalloys / A. V. Brotbey, R. H. Parker // *Metal Techn.* – 1984. – Vol. 1. – №10. – P. 419-427.

5. Каблов, Е. Н. Современные технологии получения прутковых заготовок из литейных жаропрочных сплавов нового поколения / Е. Н. Каблов, В. В. Сидоров, В. Е. Ригин, А. В. Горюнов // *Авиационные материалы и технологии*. – 2012. – № S. – С. 97-105.

6. Каблов, Е. Н. Никелевые литейные жаропрочные сплавы нового поколения / Е. Н. Каблов, Н. В. Петрушин, И. Л. Светлов, И. М. Демонис // *Авиационные материалы и технологии*. – 2012. – № S. – С. 36-51.

7. Каблов, Е. Н. Влияние примеси азота на структуру монокристаллов жаропрочного никелевого сплава ЖС-30-ВИ и разработка эффективных способов его рафинирования / Е. Н. Каблов, В. В. Сидоров, П. Г. Мин // *Авиационные материалы и технологии*. – 2012. – №2. – С. 32-36.

8. Каблов, Е. Н. Особенности технологии выплавки и разлива современных литейных высокожаропрочных никелевых сплавов / Е. Н. Каблов, О. Г. Оспенникова, В. В. Сидоров, В. Е. Ригин, Д. Е. Каблов // *Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. «Машиностроение». Спец. вып. «Перспективные конструкционные материалы и технологии»*. – 2011. – С. 68-78.

9. Каблов, Д. Е. Исследование влияния азота на структуру и свойства монокристаллов из литейного жаропрочного сплава ЖС-30-ВИ / Д. Е. Каблов, Е. Б. Чабина, Сидоров, П. Г. Мин // *МиТОМ*. – 2013. – №8. – С. 3-7.

10. M. Bartosinski, John H. Magee, B. Friedrich. Improving the chemical homogeneity of austenitic and martensitic stainless steels during nitrogen alloying in the pressure electro slag remelting (PESR) process. [Электронный ресурс] – http://www.metallurgie.rwthachen.de/old/images/pages/publikationen/aertosinskimae_id_4297.

11. Демченко, А. И. Влияние фильтрации расплава на структуру сплава ЭП-718 / А. И. Демченко, В. А. Коровин, И. О. Леушин // *Металлургия машиностроения*. – 2019. – №5. – С. 12-16.

12. Демченко, А. И. Разливка жаропрочных никелевых сплавов в вакуумно-индукционной печи с применением пенокерамических фильтров / Сборник тезисов X конференции молодых специалистов «Перспективы развития металлургических технологий» // ГНЦ ФГУП «ЦНИИчермет им. И. П. Бардина» 27 февраля 2019г. – С. 27-31.

13. Демченко, А. И. Разливка жаропрочных никелевых сплавов в вакуумно-индукционной печи с применением пенокерамических фильтров / Демченко А. И., Шевяков В. Ф., Корзун Е. Л., Коровин В. А., Леушин И. О // Сборник трудов XV международного конгресса сталеплавателей. / Москва-Тула, 15-19 октября 2018г. – С.220-224.
14. Демченко, А. И. Повышение качества никелевого сплава фильтрацией через ПКФ / А. И Демченко, В. А. Коровин, И. О. Леушин // Литейщик России. – 2019. – №6. – С. 29-33.
15. Демченко, А. И. Влияние фильтрации на структуру и свойства жаропрочного сплава ЭП-648-ВИ / А. И Демченко, В. А. Коровин, И. О. Леушин // Технология Металлов. – 2019. – №9. – С 2-5.
16. Сидоров, В.В. Оценка эффективности фильтрации при разливке сложнолегированного никелевого расплава / В. В. Сидоров, И. В. Исходжанова, В. Е. Ригин, Ю. И. Фоломейкин // Электротехнология. – 2011. – №11.
17. Металлургия литейных жаропрочных сплавов: технология и оборудование / В. В. Сидоров, Д. Е. Каблов, В. Е. Ригин: под общ. ред. Е.Н. Каблова. – М.: ВИАМ, 2016. – 368 с.
18. Сидоров, В. В. Прогрессивные металлургические процессы получения шихтовых заготовок из литейных жаропрочных сплавов / В. В. Сидоров // Авиационные материалы. Избранные труды «ВИАМ» 1932-2002: юбилейный науч.-технич. сб. // под общ. ред. Е. Н. Каблова. – М.: МИСИС-ВИАМ, 2002. – С. 156-160.
19. Демченко, А. И. Рафинирование никелевых сплавов с применением пенокерамических фильтров / А. И. Демченко, В. Ф. Шевяков, В. А. Коровин, С. В. Беляев, В. Н. Гуцин, И. О. Леушин. // Заготовительные производства в машиностроении – 2020. – Т. 18. – №6. – С. 243-246.
20. Пат. 2739897 РФ, МПК В22 С 9/08, В22 D 11/119. Двухслойный пористый пенокерамический фильтр для перегородки промежуточного ковша машины непрерывного литья металла / Демченко А. И., Коровин В. А., Кучменко А. А.; заявитель и патентообладатель ПАО «Русполимет» (RU). – № 2020115198; заявл. 16.14.2020; опубл. 29.12.2020.

Поступила в редколлегию 04.02.2023 г.