



УДК 669.018.44

**ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ ОБРАЗЦОВ ДЛЯ
АТТЕСТАЦИИ ЖАРОПРОЧНЫХ СПЛАВОВ,
ВЫПЛАВЛЕННЫХ С ПРИМЕНЕНИЕМ ОТХОДОВ
ЛИТЕЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА ЗАВОДОВ ОТРАСЛИ**

А.В. Беликов

В.В. Герасимов

кандидат технических наук

Е.М. Висик

кандидат технических наук

Июнь 2013

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.

Статья подготовлена для опубликования в журнале «Труды ВИАМ»,
№6, 2013 г.

А.В. Беликов, В.В. Герасимов, Е.М. Висик

ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ ОБРАЗЦОВ ДЛЯ АТТЕСТАЦИИ ЖАРОПРОЧНЫХ СПЛАВОВ, ВЫПЛАВЛЕННЫХ С ПРИМЕНЕНИЕМ ОТХОДОВ ЛИТЕЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА ЗАВОДОВ ОТРАСЛИ

Описан процесс аттестации механических свойств шихтовых прутковых заготовок, изготовленных в ВИАМ с применением отходов литейного производства заводов отрасли. Для получения монокристаллических заготовок под образцы для определения механических свойств по техническим условиям на сплав предложено использовать полупромышленную установку направленной кристаллизации В-1790, что дает большой экономический эффект в случае малотоннажного производства и поставки сплавов по заявкам предприятий отрасли.

Ключевые слова: жаропрочные сплавы, монокристаллические лопатки, оборудование для направленной кристаллизации, использование отходов жаропрочных сплавов, прутковые шихтовые заготовки.

A.V. Belicov, V.V. Gerasimov, E.M. Visik

TECHNOLOGY OF RECEIVING SAMPLES FOR CERTIFICATION OF THE HEAT RESISTING ALLOYS MELTED WITH APPLICATION OF WASTE OF FOUNDRY PRODUCTION OF PLANTS OF BRANCH

The article is devoted to the description of the certification process of the mechanical properties of the material semifinished-products manufactured in VIAM with the use of foundry waste plants of the industry. Asked for producing monocrystalline billets for samples for determination of mechanical properties of technical conditions on alloy use полупромышленную installation of directional solidification In 1790, which gives a great economic effect in the case of small-tonnage production and supply of alloys on the requests of the enterprises of the industry.

Key words: Heat-resistant alloys, monocrystalline blades, equipment for directional solidification, the use of waste heat-resistant alloys, bar and wire rod charge of the workpiece.

В ВИАМ разработана ресурсосберегающая технология производства шихтовых прутковых заготовок жаропрочных и интерметаллидных сплавов с использованием до 100% кондиционных литейных отходов, позволяющая снизить стоимость сплава на 20–80% в зависимости от количества отходов, без снижения их качества [1–4]. В настоящее время заводам отрасли поставлено более 250 т прутковых заготовок жаропрочных и интерметаллидных сплавов [5].

Жаропрочные сплавы для монокристаллического литья с ультравысокой чистотой по примесям производят при использовании современного вакуумного плавильного и литейного оборудования [6, 7].

Для аттестации сплавов сдаточными характеристиками являются химический состав плавки и механические свойства контрольных образцов в соответствии с ТУ. При этом для проверки уровня свойств необходимо небольшое количество образцов (от одного до четырех штук) с монокристаллической структурой определенной кристаллографической ориентации (КГО). На промышленных литейных установках для направленной кристаллизации УВНК-9А одновременно получают до 18 заготовок под образцы с расходом 8 кг жаропрочного сплава. В лабораторной установке В-1790, которая является прототипом установок типа УВНК [8], за одну плавку получают 4 цилиндрические заготовки под образцы с расходом всего 2 кг дорогостоящего жаропрочного сплава. Кроме того, масса керамической формы образцов для установки В-1790 составляет 1,6 кг, а формы для установки УВНК-9: 3,33 кг (при одновременной заливке двух форм: 6,66 кг). Налицо экономия порошков электрокорунда, этилсиликата в 2–4 раза. Расход электроэнергии на плавку в установке В-1790 в 3 раза меньше, чем в установке УВНК-9. Поэтому получение образцов в небольших количествах для аттестации механических свойств поставок шихтовых прутковых заготовок жаропрочных сплавов целесообразно выполнять на установке В-1790.

Вакуумная установка В-1790 предназначена для отработки технологии литья монокристаллических образцов и лопаток из разрабатываемых в ВИАМ жаропрочных и интерметаллидных сплавов. Она снабжена кольцевым двухзонным нагревателем сопротивления, приводом вертикального перемещения форм с широким диапазоном регулирования скоростей, обеспечивающим кристаллизацию даже эвтектических сплавов типа ВКЛС, сменными кристаллизационными узлами с различными охлаждающими средами, дозатором, позволяющим при необходимости вводить в расплав до шести легирующих компонентов, термопарой погружения и оптическим пирометром для контроля температуры расплава, вакуумной системой из бустерного и механического насосов, обеспечивающих в плавильной камере вакуум $(1-5) \cdot 10^{-3}$ мм рт. ст. Установка имеет современную двухуровневую сис-

несением восьми слоев огнеупорного покрытия. В прокаленные формы в соответствующие гнезда устанавливают заправки из сплава никель–вольфрам с заданной кристаллографической ориентацией (для сплавов типа ЖС используют заправки с КГО [001], для интерметаллидных сплавов – с КГО [111]). Характерные температурные кривые параметров процесса получения монокристаллических образцов из сплава ЖС32 представлены на рис. 2.

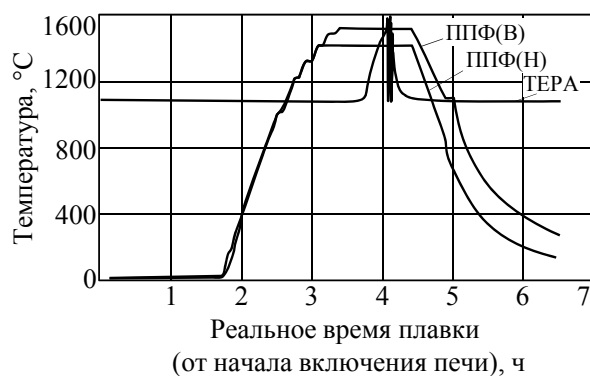


Рисунок 2. Характерные температурные кривые параметров получения монокристаллических образцов сплава ЖС32 на установке В-1790: ППФ(В), ППФ(Н) – показания термопар на нагревателях печи подогрева форм: верх и низ соответственно; ТЕРА – показания оптического пирометра

При получении монокристаллов других сплавов меняются температуры нагревателей, температура расплава перед сливом его в форму и скорость кристаллизации.

После окончания процесса и охлаждения установки до комнатной температуры ее развакуумируют, форму с отливкой извлекают из нагревательной печи, освобождают от керамической оболочки. Образцы отрезают от заливочной чаши, и проявляют макроструктуру полученных заготовок травлением в смеси соляной кислоты и перекиси водорода в соотношении 3:1 или смеси азотной и фтористоводородной кислот и воды в соотношении 1:1:1 в зависимости от сплава (например, для сплава ВЖМ4). Контроль макроструктуры осуществляют сначала визуально по фигурам травления, а затем рентгеновским методом на поперечных срезах стартовых конусов перпендикулярно оси образца с помощью рентгеновской установки ДРОН-3 [8].

На рис. 3 представлена микроструктура образцов в поперечном сечении из сплавов ВКНА-1В с КГО [111] и ЖС32 с КГО [001]. На рис. 4 представлена морфология упрочняющей γ' -фазы при КГО образцов [111] и [001] в осях дендритов и в межосных участках. Видно, что форму частиц γ' -фазы определяет КГО образцов. При КГО [111] – частицы упрочняющей фазы треугольной формы, при [001] – они выстраиваются в виде кубоидов.

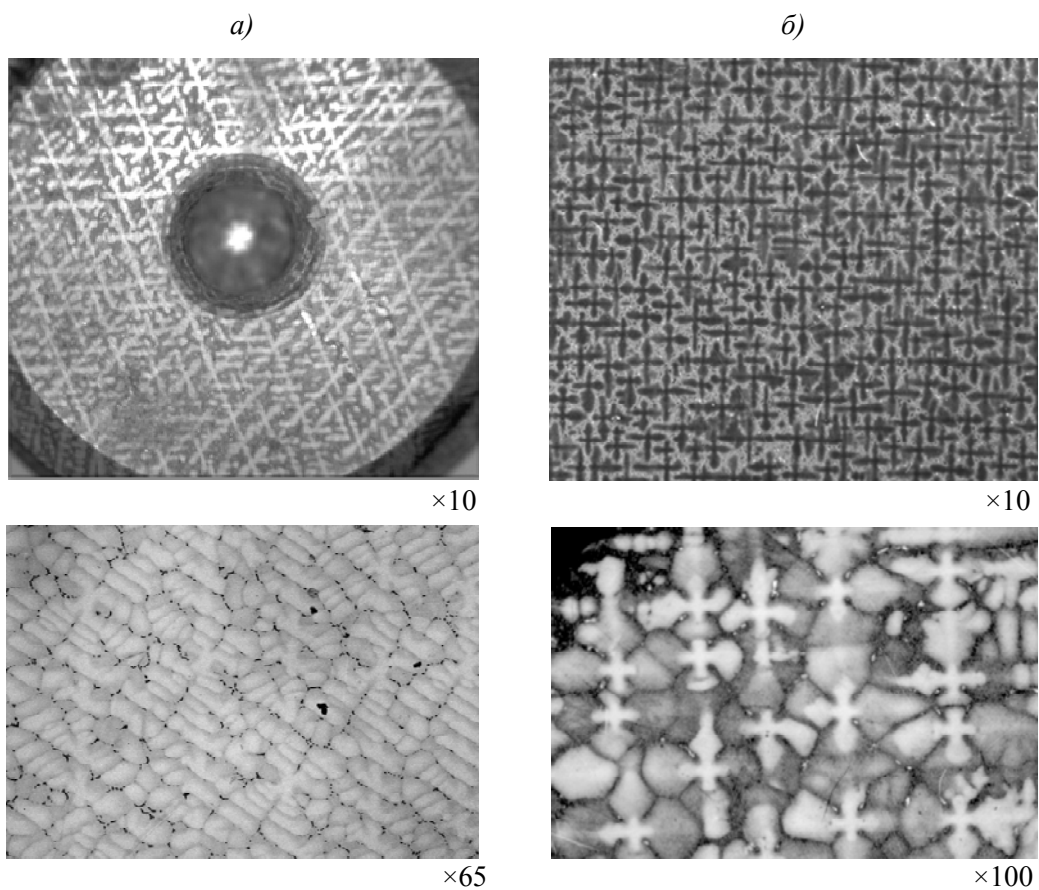


Рисунок 3. Микроструктура образцов из сплавов ВКНА-1В [111] (а) и ЖС32 [001] (б)

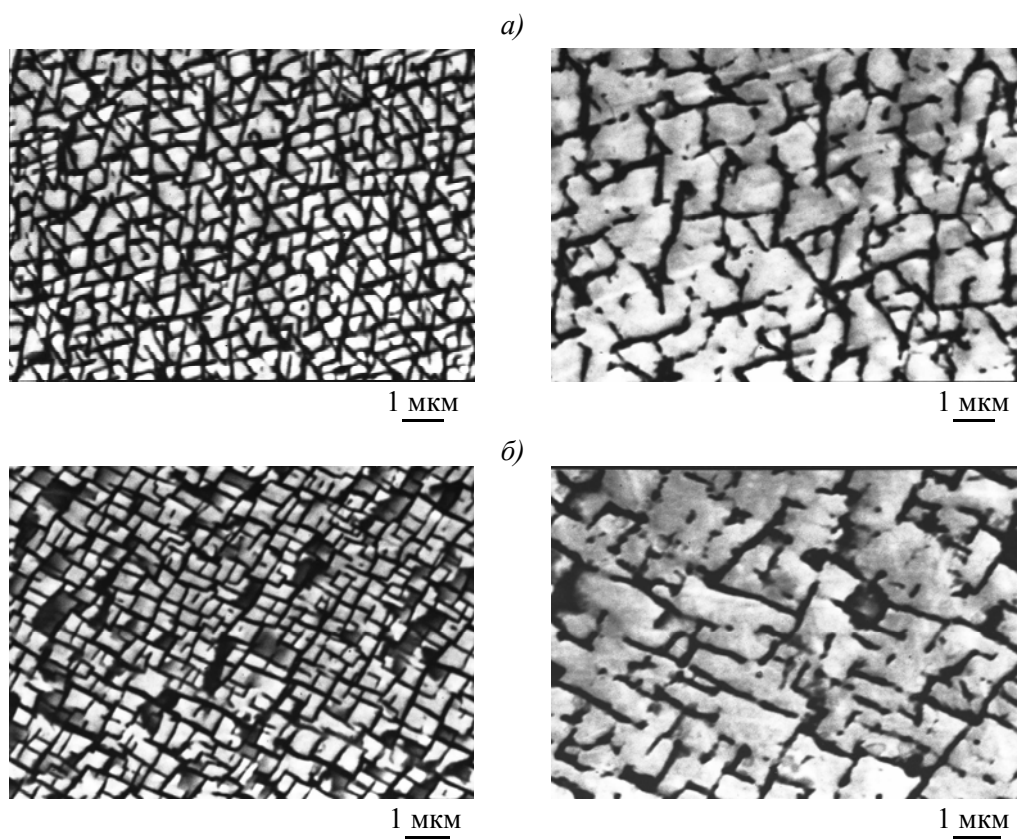


Рисунок 4. Морфология ($\times 10000$) γ' -фазы при КГО образцов [111] (а) и [001] (б) в осях дендритов (слева) и в межосных участках (справа)

Монокристаллические заготовки, стартовые конусы которых имеют отклонение по КГО ≤ 10 град от заданного направления, передают на изготовление образцов для механических испытаний. Испытания осуществляются в соответствии с техническими условиями на конкретный сплав. В таблице представлены результаты испытаний образцов из некоторых жаропрочных литейных сплавов, выплавляемых в ВИАМ, на соответствие нормам ТУ, в том числе с использованием кондиционных отходов. Годной считается плавка, отвечающая нормам ТУ.

**Результаты механических испытаний жаропрочных литейных сплавов,
выплавляемых в ВИАМ, на соответствие нормам ТУ [9–12]**

Сплав	Условный номер плавки	Отклонение от заданной КГО, град	σ_b , МПа	δ , %	Долговечность τ , ч	Нормы по ТУ
ЖС32	13ТР-18	3,8	–	–	84,0	$\sigma_{40}^{975^\circ} = 300$ МПа [6]
	13ТР-30	8,0	–	–	62,0	
	13ТР-07	4,0	–	–	77,5	
	12ТР-232	3,8	–	–	82,0	
	12ТР-178	2,6	–	–	78,5	
	12ТР-186	1,9	–	–	67,0	
	12ТР-221	0,5	–	–	87,5	
	12ТР-226	3,8	–	–	80,0	
ВКНА-1В	11я-161	6,0	120	12,0	60,0	$\sigma_b \geq 100$ МПа при 20°C; $\delta \geq 10\%$; $\sigma_{40}^{1100^\circ} = 90$ МПа [7, 11]
	я-162	3,5	117	13,5	48,0	
	я-163	0,6	160	14,0	53,5	
	я-164	6,5	106	15,0	50,0	
	13-22В	2,4	157	16,0	73,0	
	13-23В	1,3	163	17,5	72,0	
	13-24В	3,8	171	15,5	70,0 снят	
	13-25В	0,8	185	17,0	70,0 снят	
ЖСКС-2	12КС-231	2,3	124	13,0	138	$\sigma_b \geq 100$ МПа при 20°C; $\delta \geq 8\%$; $\sigma_{40}^{975^\circ} = 245$ МПа [8]
		4,2	121	16,0	142	
ВЖМ4	12ЖР-216	4,0	–	–	110	$\sigma_{80}^{1000^\circ} = 300$ МПа [6]
	12ЖР-217	1,7	–	–	99	

Полученные значения предела прочности σ_b и долговечности τ жаропрочных сплавов, выплавленных по ресурсосберегающей технологии, соответствуют требованиям ТУ по всем характеристикам.

Проанализированные результаты показывают стабильность металлургического производства шихтовых заготовок жаропрочных сплавов и технологии литья монокристаллических образцов для контроля механических свойств.

В работе принимали участие Н.А. Кузьмина, Л.М. Шишкарева, Т.Б. Французова.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сидоров В.В., Ригин В.Е., Каблов Д.Е. Организация производства литых прутковых заготовок из современных литейных высокожаропрочных никелевых сплавов //Литейное производство. 2011. №10. С. 2–5.
2. Сидоров В.В., Ригин В.Е., Горюнов А.В., Мин П.Г., Каблов Д.Е. Получение Re–Ru-содержащего сплава с использованием некондиционных отходов //Металлургия машиностроения. 2012. №3. С. 15–17.
3. Оспенникова О.Г. Стратегия развития жаропрочных сплавов и сталей специального назначения, защитных и теплозащитных покрытий //Авиационные материалы и технологии. 2012. №5. С. 19–36.
4. 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.
5. Каблов Е.Н., Сидоров В.В., Ригин В.Е., Горюнов А.В. Современные технологии получения прутковых заготовок из литейных жаропрочных сплавов нового поколения //Авиационные материалы и технологии. 2012. №5. С. 97–105.
6. Каблов Е.Н., Оспенникова О.Г., Сидоров В.В., Ригин В.Е., Каблов Д.Е. Особенности технологии выплавки и разливки современных литейных высокожаропрочных никелевых сплавов //Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Машиностроение. 2011. №2. С. 68–78.
7. Сидоров В.В., Исходжанова И.В., Ригин В.Е., Фоломейкин Ю.И. Оценка эффективности фильтрации при разливке сложнелегированного никелевого расплава //Электротехнология. 2011. №11. С. 17–23.
8. Толорайя В.Н., Остроухова Г.А., Демонис И.М. Формирование монокристаллической структуры литых крупногабаритных турбинных лопаток ГТД и ГТУ на установках высокоградиентной направленной кристаллизации //МиТОМ. 2011. №1. С. 25–33.
9. Каблов Е.Н., Петрушин Н.В., Светлов И.Л., Демонис И.М. Никелевые литейные жаропрочные сплавы нового поколения //Авиационные материалы и технологии. 2012. №5. С. 36–52.
10. Базылева О.А., Аргинбаева Э.Г., Туренко Е.Ю. Жаропрочные литейные интерметаллидные сплавы //Авиационные материалы и технологии. 2012. №5. С. 57–60.

11. Герасимов В.В., Висик Е.М., Бакерин С.В. Изготовление протяженных литых заготовок из сплава ВКНА-1В направленной кристаллизацией //Литейное производство. 2011. №10. С. 35–38.
12. Каблов Е.Н., Ломберг Б.С., Оспенникова О.Г. Создание современных жаропрочных материалов и технологий их производства для авиационного двигателестроения //Крылья Родины. 2012. №3–4. С. 34–38.