

УДК 621.74.045

Канд. техн. наук В. В. Наумик*Национальный технический университет, г. Запорожье*

ПОЛУЧЕНИЕ КАЧЕСТВЕННЫХ ОТЛИВОК ИЗ ЖАРОПРОЧНЫХ НИКЕЛЕВЫХ СПЛАВОВ МЕТОДОМ ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ НАПРАВЛЕННОЙ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ НА УСТАНОВКАХ ТИПА УВНК-8П

Проведен статистический анализ производственных данных по браку отливок из жаропрочных никелевых сплавов с направленной макроструктурой. Установлено, что наиболее перспективным направлением повышения выхода годных отливок является обеспечение температурных градиентов в ходе осуществления технологического процесса. Определен оптимальный срок эксплуатации жидкометаллического кристаллизатора, разработан метод оперативного контроля его эксплуатационных свойств.

Жаропрочный никелевый сплав, температурный градиент, направленная макроструктура, жидкометаллический кристаллизатор, вакуумная плавка, теплопроводность, статистический анализ, оперативный контроль

Постановка вопроса

Метод высокоскоростной направленной кристаллизации предусматривает вакуумную плавку жаропрочных никелевых сплавов, заливку металла в предварительно разогретые до температуры 1580–1600 °С керамические литейные формы и опускание их с определенной скоростью в ванну жидкометаллического кристаллизатора для формирования направленной макроструктуры отливок. В производственных условиях данный способ литья реализуется на установках типа УВНК-8П. В качестве жидкометаллического кристаллизатора используется расплав исходно чистого алюминия (99,999 % Al). Общий вид установки УВНК-8П в раскрытом виде приведен на рис. 1.

Методика исследований

Провели статистический анализ имеющихся производственных данных о причинах отбраковки отливок, полученных методом высокоскоростной направленной кристаллизации.

Закономерности загрязнения материала жидкометаллического кристаллизатора в процессе его эксплуатации изучали методами электронной микроскопии и микроанализа с помощью ретрового электронного микроскопа Supra при увеличениях $\times 2000$ – 7000 .

Для изучения закономерностей изменения качественных показателей алюминия провели ряд исследований с использованием оригинальных методик и приспособлений.



Рис. 1. Общий вид установки УВНК-8П

Провели математическую обработку полученных экспериментальных данных.

Основной материал исследований

За контролируемый период на предприятии на установках типа УВНК-8П по серийной технологии высокоскоростной направленной кристаллизации изготовлено 2035 лопаток из сплава ЖС-26ВИ и 374 лопатки из сплава ЖС-32ВИ (табл. 1).

Преобладающее количество (более 80 %) лопаток сплава ЖС-26ВИ было получено с направленной кристаллической структурой, состоящей из нескольких макрокристаллов. Менее 20 % лопаток характеризовалось монокристаллической макроструктурой.

Среди проконтролированных лопаток из сплава ЖС-26ВИ 64,2 % соответствовали требованиям технических условий и 35,8 % были забракованы по различным причинам. Причем более половины забракованных отливок (табл. 1) не соответствовали требованиям, предъявляемым к макроструктуре, 8,3 % от всех проконтролированных лопаток имели рыхлоты, раковины, сор и в 7,3 % отливок вылезли стержни. Наиболее высокий выход годного наблюдался при производстве отливок, при изготовлении которых не требовалось применение стержней.

Среди лопаток из сплава ЖС-32ВИ признано годными было 70,3 % и забраковано 29,7 %. При

этом брак по макроструктуре более чем в два раза превышал суммарный брак по рыхлотам, раковинам и сору.

Суммарный выход годного по лопаткам, изготовленных из обоих жаропрочных сплавов составлял около 65 %, а брак – 35 %. Причем более половины всех забракованных лопаток не прошли контроль по макроструктуре, и примерно по четверти суммарного брака составляли рыхлоты, раковины, сор и вылезшие стержни (табл. 1).

Количество лопаток, не соответствующих предъявляемым требованиям по макроструктуре, существенно снижалось после замены материала жидкометаллического кристаллизатора на свежий чистый алюминий.

Таким образом, можно сделать вывод, что наиболее актуальным, с точки зрения повышения выхода годных отливок при литье методом высокоскоростной направленной кристаллизации является обеспечение температурных градиентов в ходе осуществления технологического процесса. И, соответственно, необходимым является постоянный оперативный контроль параметров и материалов, обеспечивающих соблюдение корректного теплового режима в ходе проведения плавки.

В процессе эксплуатации алюминий жидкометаллического кристаллизатора неизбежно загрязняется. Исследованиями с помощью растрового электронного микроскопа Supra установлено, что,

Таблица 1 – Статистические данные по браку лопаток из жаропрочных никелевых сплавов с направленной и монокристаллической макроструктурой, числитель – штук, знаменатель – процент от общего количества лопаток

Марка сплава	№ лопатки	Количество проконтролированных лопаток	Годные при структуре		Брак отливок						
			Направленной поликристаллической	Монокристаллической	Макроструктура	Вылезшие стержни	Трещины	Рыхлоты, раковины, сор	Отбитые углы	Недолив	Всего
ЖС-26ВИ	1	$\frac{505}{100}$	$\frac{224}{44,4}$	$\frac{50}{9,9}$	$\frac{142}{28,1}$	$\frac{34}{6,7}$	0	$\frac{45}{8,9}$	$\frac{5}{1,0}$	$\frac{5}{1,0}$	$\frac{231}{45,7}$
	2	$\frac{356}{100}$	$\frac{235}{66,0}$	$\frac{1}{0,3}$	$\frac{58}{16,3}$	$\frac{8}{2,2}$	$\frac{5}{1,4}$	$\frac{22}{6,2}$	$\frac{27}{7,6}$	0	$\frac{120}{33,7}$
	3	$\frac{344}{100}$	$\frac{182}{52,9}$	$\frac{2}{0,6}$	$\frac{29}{8,4}$	$\frac{106}{30,8}$	$\frac{3}{0,9}$	$\frac{22}{6,2}$	0	0	$\frac{160}{46,5}$
	4	$\frac{830}{100}$	$\frac{492}{59,3}$	$\frac{119}{14,3}$	$\frac{134}{16,2}$	Нет стержней	0	$\frac{80}{9,6}$	$\frac{5}{0,6}$	0	$\frac{219}{26,4}$
	Всего	$\frac{2035}{100}$	$\frac{1133}{55,7}$	$\frac{172}{8,5}$	$\frac{363}{17,8}$	$\frac{148}{7,3}$	$\frac{8}{0,4}$	$\frac{169}{8,3}$	$\frac{37}{1,8}$	$\frac{5}{0,2}$	$\frac{730}{35,8}$
ЖС-32-ВИ	1	$\frac{137}{100}$	$\frac{96}{70,1}$	0	$\frac{25}{18,2}$	0	$\frac{4}{2,9}$	$\frac{12}{8,8}$	0	0	$\frac{41}{29,9}$
	2	$\frac{237}{100}$	$\frac{167}{70,5}$	0	$\frac{47}{19,8}$	0	0	$\frac{23}{9,7}$	0	0	$\frac{70}{29,5}$
	Всего	$\frac{374}{100}$	$\frac{263}{70,3}$	0	$\frac{72}{19,2}$	0	$\frac{4}{1,1}$	$\frac{35}{9,4}$	0	0	$\frac{111}{29,7}$
Итого	$\frac{2409}{100}$	$\frac{1396}{58,0}$	$\frac{172}{7,1}$	$\frac{434}{18,1}$	$\frac{148}{6,1}$	$\frac{12}{0,5}$	$\frac{204}{8,5}$	$\frac{37}{1,8}$	$\frac{5}{0,2}$	$\frac{841}{34,9}$	

в результате взаимодействия перегретого расплава алюминия в вакууме с материалом керамической литейной формы, обмазкой изложницы, в которой находится жидкометаллический кристаллизатор, материалом самой изложницы - чугуном, и непредвиденно попадающим в него жаропрочным никелевым сплавом, материал жидкометаллического кристаллизатора загрязняется кремнием, углеродом, железом, никелем, кобальтом и некоторыми другими компонентами сплава — материала отливки [1]. Указанное загрязнение естественно приводит к снижению основной эксплуатационной характеристики жидкометаллического кристаллизатора — его теплопроводности, а в результате к снижению возникающих тепловых градиентов и нарушению тепловых условий формирования направленной структуры отливок.

Для проведения прямых измерений теплопроводности материала жидкометаллического кристаллизатора стационарным методом при различных температурах на кафедре «Машины и технология литейного производства» Запорожского национального технического университета разработана специальная установка [2]. Также автором разработана оригинальная расчетно-экспериментальная методика определения теплопроводности металлических материалов в жидком агрегатном состоянии при различных температурах [3].

Сопоставив имеющиеся статистические данные и результаты расчетов, можно сделать вывод, что для обеспечения нормального осуществления процесса высокоскоростной направленной кристаллизации теплопроводность жидкометаллического кристаллизатора при температуре протекания технологического процесса должна быть не менее 40 Вт/мК.

Проведенным комплексом исследований установлено, что оптимальный допустимый срок эксплуатации исходно чистого алюминия — материала жидкометаллического кристаллизатора при литье отливок из жаропрочных никелевых сплавов с направленной макроструктурой на установках типа УВНК-8П составляет 9–12 циклов плавок. После указанного количества проведенных циклов плавок необходимо провести чистку и освежение или же полную замену материала жидкометаллического кристаллизатора. В противном случае резко возрастает процент брака отливок по показателям макроструктуры.

Исследованиями также установлена четкая взаимосвязь между теплопроводностью и другими качественными показателями алюминия, такими как отражательная способность поверхности шлифа [4], температурный интервал затвердевания [5].

Для оперативного контроля степени загряз-

ненности алюминия жидкометаллического кристаллизатора, а, следовательно, и его теплопроводности, в производственных условиях разработан и предложен способ, основанный на замере температур ликвидуса и солидуса. Установлено, что снижение температуры ликвидуса ниже 655 °С, и, соответственно, солидуса — ниже 645 °С свидетельствует о критической степени загрязнения материала жидкометаллического кристаллизатора и необходимости проведения его чистки, освежения или полной замены.

Вводы

Таким образом, установлено, что основной причиной отбраковки лопаток, полученных методом высокоскоростной направленной кристаллизации на установках типа УВНК-8П, является несоответствие требованиям, предъявляемым к макроструктуре.

Причиной возникновения указанного типа брака является снижение градиентов температур, обеспечивающих формирование направленной макроструктуры отливок, в результате неизбежного загрязнения материала жидкометаллического кристаллизатора в процессе его эксплуатации.

Установлено, что оптимальный срок эксплуатации исходно чистого алюминия как материала жидкометаллического кристаллизатора составляет 9–12 циклов плавок, после чего необходимо проводить его чистку, освежение или полную замену.

Разработанный метод контроля загрязненности жидкометаллического кристаллизатора в процессе его эксплуатации позволяет осуществлять в производственных условиях постоянный контроль и оперативную корректировку его основного эксплуатационного показателя — теплопроводности в жидком виде при температурах ведения процесса, а в результате обеспечить получение качественных отливок с минимальным браком по макроструктуре.

Перечень ссылок

1. Наумик В.В. Загрязнение жидкометаллического кристаллизатора в процессе его эксплуатации / В.В. Наумик // Вісник двигунобудування. — 2009. — № 2. — С. 73–75.
2. Деклараційний патент 4291 Україна, МПК⁷ G 01 N 25/18 Пристрій для визначення теплопровідності зразка матеріалу / Наумик В. В., Бялік Г. А., Луньов В. В. — заявл. 16.04.04; видано 17.01.05, Бюл. № 1.
3. Наумик В. В. Изменение теплофизических свойств жидкометаллического кристаллизатора в процессе его эксплуатации при вакуумном литье жаропрочных сплавов / В. В. Наумик // Проблеми трибології. — 2006. — № 1. — С. 31–35.

4. Наумик В. В. Ускоренный метод контроля загрязненности жидкометаллического кристаллизатора / Наумик В. В., Бялик Г. А. // Вісник двигунобудування. – 2006. – № 4. – С. 123–125.
5. Наумик В. В. Изменение температур затвердевания жидкометаллического кристаллизатора в процессе его эксплуатации / Наумик В. В. // Вісник двигунобудування. – 2008. – № 1. – С. 91–95.

Поступила в редакцию 26.02.2010

V. V. Naumik

RECEIPT OF HIGH-QUALITY CASTINGS OF HEAT-RESISTANT NICKEL ALLOYS BY MEANS OF HIGH-SPEED DIRECT CRYSTALLIZATION ON УВНК-8П UNITS

Проведено статистичний аналіз виробничих даних про брак виливків із жароміцних нікелевих сплавів зі спрямованою макроструктурою. Встановлено, що найбільш перспективним напрямком підвищення виходу придатних виливків є забезпечення температурних градієнтів під час здійснення технологічного процесу. Визначено оптимальний термін експлуатації рідкометалевого кристалізатора, розроблено метод оперативного контролю його експлуатаційних властивостей.

Жароміцний нікелевий сплав, температурний градієнт, спрямована макроструктура, рідкометалевий кристалізатор, вакуумна плавка, теплопровідність, статистичний аналіз, оперативний контроль

There is conducted statistical analysis of production data on defective castings made of heat-resistant nickel alloys with direct macrostructure. It is determined that the most perspective way for increasing the output of nondefective castings is to provide temperature gradients during technological process. There is determined optimum operating life of liquid-metal crystallizer. There is developed method of on-line control of its performance characteristics.

Heat-resistant nickel alloy, temperature gradients, direct macrostructure, liquid-metal crystallizer, vacuum melting, heat conductivity, statistical analysis, on-line control