

**УДК 548.5:621.74.045**

## **АНАЛИЗ УСЛОВИЙ ПОЛУЧЕНИЯ МОНОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ОТЛИВОК С ПРИМЕНЕНИЕМ ПЛОСКОГО КРИСТАЛЛООТБОРНИКА**

Елена Святославна Иванина

*Аспирант 1 года ,  
кафедра «Машины и технологии литейного производства»  
Московский политехнический университет*

*Научный руководитель: В.П. Монастырский,  
доктор технических наук, профессор кафедры «Машины и технологии литейного  
производства»*

Для получения монокристаллических лопаток газовых турбин используется метод направленной кристаллизации с охлаждением формы в расплаве алюминия. Получение монокристалла заданной кристаллографической ориентации обеспечивается применением монокристаллической затравки. В конструкции затравочного узла обычно присутствует спиралевидный кристаллоотборник – геликоид. Существуют многочисленные исследования особенностей конкурентного роста зерен в криволинейном канале кристаллоотборника, ссылки на которые можно найти в работе [1]. Использование этого элемента позволяет повысить качество монокристалла за счет уменьшения количества зерен с малоугловыми границами, обычно присутствующими в промышленных монокристаллах, в том числе и в затравках.

В настоящее время в промышленности проводятся эксперименты с более простым и более удобным для серийного изготовления плоским зигзагообразным кристаллоотборником. Опираясь на литературные, а также на результаты исследования [1], ясно, что идея применения такого кристаллоотборника требует более тщательного обоснования на основе экспериментальных данных и результатов математического моделирования.

В настоящей работе проведено исследование условий отбора одного зерна в плоском кристаллоотборнике при направленной кристаллизации с зарождением твердой фазы на медном кристаллизаторе. Метод направленной кристаллизации на медном кристаллизаторе (метод Бриджмена) предполагает зарождение зерен со случайной кристаллографической ориентацией, отбор некоторого количества зерен с кристаллографической ориентацией, близкой к преимущественному направлению роста в стартовой зоне отливки и, затем, отбор одного зерна в криволинейном канале кристаллоотборника для формирования монокристаллической отливки. Цель работы состояла в выяснении, насколько эффективен плоский кристаллоотборник для отбора одного зерна.

Для моделирования процесса направленной кристаллизации была использована коммерческая система ProCAST. Моделировался процесс направленной кристаллизации отливки цилиндрической формы из сплава ЖС26. Химический состав сплава и теплофизические свойства керамической оболочки, использованные в расчетах, приведены в работе [1]. Теплофизические свойства сплава были рассчитаны для условий равновесной кристаллизации по его химическому составу в термодинамической базе данных COMPUTERM (ProCAST). Моделирование роста зерен проводилось в модуле CAFÉ для стохастического прогнозирования макроструктуры отливки.

Для получения статистически значимого результата была проведена серия из 30 расчетов роста зерен при одних и тех же условиях направленной кристаллизации.

Макроструктура отливки контролировалась в нескольких поперечных сечениях по высоте стартовой зоны и по высоте плоского зигзагообразного канала, а также в вертикальном сечении отливки, содержащем осевую линию зигзагообразного канала. Монокристалльность отливки контролировалась также в поперечном сечении отливки на выходе из кристаллоотборника.

Во всех вариантах в стартовой зоне происходил конкурентный рост зерен, и отбирались зерна с кристаллографической ориентацией [001] с отклонением от осевого направления не более чем на  $14^\circ$ .

Из расчетов следует, что, при конструкции кристаллоотборника с плоским зигзагообразным каналом, в 20% случаев получается монокристалл, в 80% - два зерна или более с отклонениями в пределах от  $1^\circ$  до  $14^\circ$ .

Таким образом, установлено, что из 30 проведенных расчетов в 6 случаях отливка имеет монокристаллическую структуру, а в 24 - два или более зерен.

Полученные результаты полностью применимы к технологии получения монокристалла на затравке. На основе стохастической модели роста зерен, можно сделать вывод, что, в случае технологии получения монокристалла на затравке, применение плоского зигзагообразного кристаллоотборника в большинстве случаев не приведет к устранению малоугловых границ и улучшению качества монокристалла.

Для повышения качества технических монокристаллических отливок необходимо использовать геликоидальные кристаллоотборники при их изготовлении затравок. При получении затравок с более совершенной структурой, можно отказаться от применения геликоидов и упростить технологию серийную изготовления монокристаллических отливок.

## Литература

1. *Монастырский В.П., Иванина Е.С., Ершов М.Ю.* Особенности конкурентного роста зерен в криволинейном канале кристаллоотборника при направленной кристаллизации никелевого жаропрочного сплава // *Фундаментальные и прикладные исследования в области создания литейных жаропрочных никелевых и интерметаллидных сплавов и высокоэффективных технологий изготовления деталей ГТД: материалы Всероссийской научно-технической конференции (г. Москва, 9 нояб. 2017 г.), [Электронный ресурс] / ФГУП «ВИАМ». – М.: ВИАМ, 2017, с. 227-241.*