

УДК 621.74.045

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ЗАТВЕРДЕВАНИЯ ОТЛИВКИ «КОЛЕСО ТУРБИНЫ»**

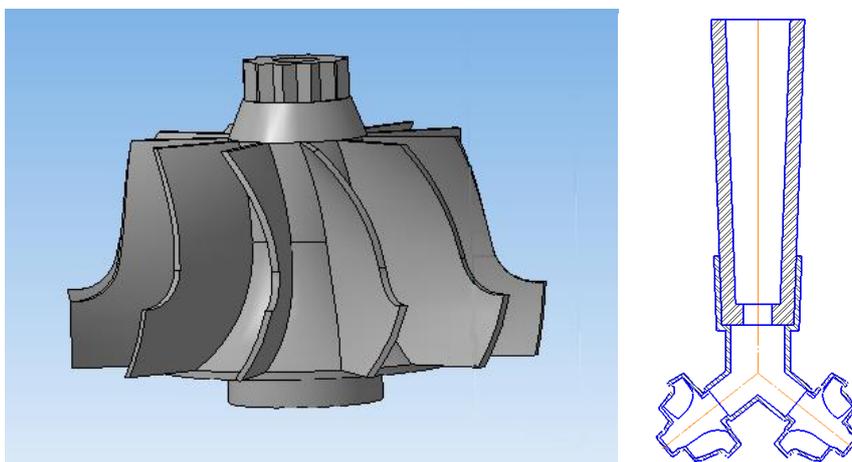
Илья Олегович Бабийчук

*Студент 6 курса,**кафедра «Литейные технологии»**Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана**Научный руководитель: А.А. Мандрик,**кандидат технических наук, доцент кафедры «Литейные технологии»*

Детали типа «Колесо турбины» турбокомпрессора и ряд других деталей из жаропрочных сплавов на хромоникелевой и кобальтовой основе получают методом заливки керамических форм в вакууме.

3D модель детали «Колесо турбины» представлена на рисунке) —Отливка;  
б) — Керамическая форма

Рисунок 1.



а) —Отливка;

б) — Керамическая форма

Рисунок 1 – Колесо турбины

Габариты отливок – до 130 мм в диаметре, диаметр формы – до 230 мм. Сплав Inconel 713C жаропрочный, заливается при температуре 1500-1600 °С, в вакууме или инертной среде [ 1].  $T_{лик}$  1340°С,  $T_{eut}$  1307°С,  $T_{sol}$  1245°С [2].

Плавка в вакууме обеспечивает получение особо чистых сплавов. Кроме того значительно сокращается количество растворенных в металле примесей и газов. Легирующие компоненты не реагируют с атмосферой и не образуют оксидов и нитридов. Индукционная плавка обеспечивает высокую скорость расплавления и повышает коэффициент полезного действия. Для получения качественных отливок необходимо обеспечение направленной кристаллизации [ 3].

В предыдущей статье [4] предлагалась установка, в которой индукторы для нагрева прибыли плавки совмещены на одной позиции.

Данная установка состоит из вакуумной камеры 1, индуктора 2 для плавления мерной заготовки 4, индуктора 3 для нагрева прибыли, вакуумного насоса 5 большой мощности, вакуумного насоса 6 малой мощности, насоса 7 [ 5].

Рассмотрим этапы работы данной установки (Рисунок 2):

- На первом этапе производится установка формы на подъемный стол;
- Далее происходит поднятие стола и закрытие вакуумной камеры;

- Включается вакуумный насос 5 большой мощности, в вакуумной камере создается разрежение (Рисунок 2,а) ;
- После завершения откачки воздуха, вакуумный насос 5 большой мощности отключается и включается вакуумный насос 6 малой мощности, который поддерживает вакуум в камере (Рисунок 2,б);
- Одновременно включается индуктор 2, начинается процесс плавки мерной заготовки;
- При завершении плавки металл заполняет полость формы, включается индуктор 3, выключается индуктор 2 (Рисунок 2,в);
- Так как в вакууме отсутствует конвективный теплообмен, необходимо наполнить камеру газовой средой. Вакуумный насос 6 выключается, включается насос 7, закачивающий в камеру газ; индуктор 3 продолжает работать, нагревая шейку прибыли (Рисунок 2,г). Происходит процесс направленной кристаллизации отливки в контролируемой атмосфере;
- При завершении кристаллизации все системы установки отключаются, камера раскрывается, рабочий достает форму. Цикл повторяется.

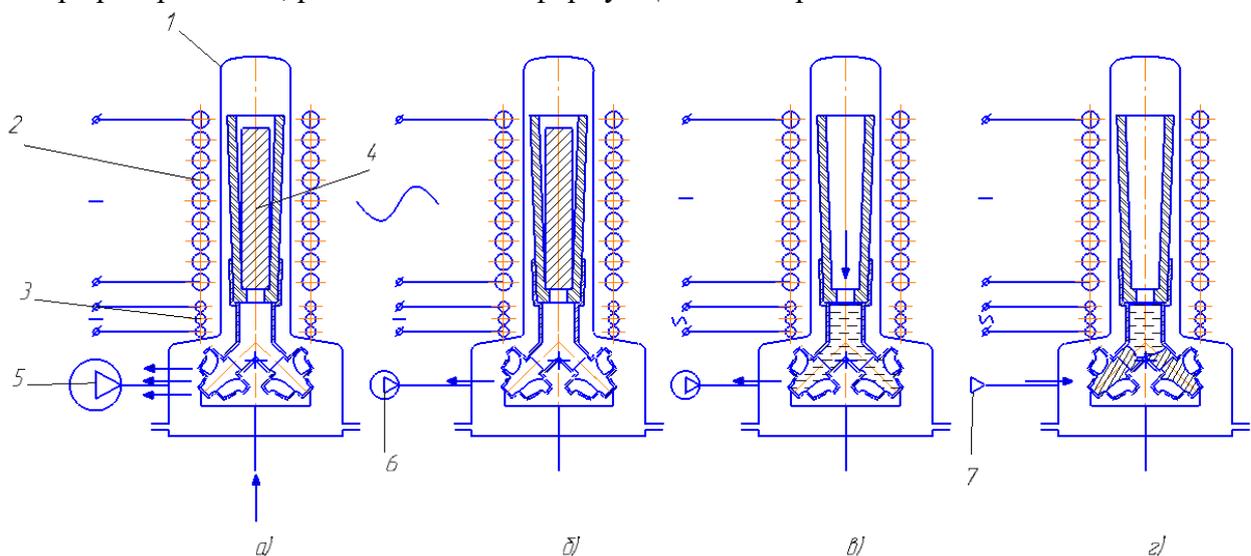


Рисунок 2 – Этапы работы установки

1 — вакуумная камера; 2 — индуктор; 3 — индуктор;  
4 — мерная заготовка; 5 — вакуумный насос; 6 — вакуумный насос; 7 — насос

#### Преимущества:

- Установка состоит из одной машины;
- Исключаются операции по переноске формы из одной установки в другую, что благоприятно влияет на технологический процесс;
- Человеческий фактор не влияет на процессы плавки и кристаллизации отливки;
- Процесс получения отливки становится быстрее, нет лишних потерь перегрева;
- Процесс плавки и заливки происходит в вакууме, процесс кристаллизации проходит в контролируемой среде (в воздухе/инертном газе), температуру и давление которой можно изменять в зависимости от требуемых условий;
- Установка универсальна и подходит как для массового производства, так и для мелкосерийного гибкого производства.

Но в статье не был дан ответ на следующие вопросы:

- Требуется ли подогрев прибыли?

— Обоснованно ли расположение индуктора для подогрева прибыли и плавильного индуктора в одной камере?

В данной статье проводятся расчеты, позволяющие ответить на этот вопрос.

Был более подробно рассмотрен процесс плавки, заливки и затвердевания отливки.

В программе Flow 3D был смоделирован процесс затвердевания отливки с подогревом прибыли и без.

Исходя из расчетов, можно сказать, что:

1. Подогревая прибыль мы можем значительно сократить ее размер, как минимум в 2 раза.
2. Вынося тепловой узел из отливки, мы обеспечиваем процесс направленного затвердевания.
3. Если подогрев прибыли происходит в другой установке, то у нас есть время 15-20 секунд до того, как в отливке начнут образовываться дефекты. На 20 секунде уже отчетливо видна усадочная раковина в теле отливки.
4. На 60 секунде подогрев прибыли можно прекратить.

Также было смоделировано затвердевание отливки при подводе литниковой системы с противоположного торца детали.

Так как после заливки расплава в форму в камеру подается аргон, который дополнительно охлаждает форму, необходимо было исследовать, как данный газ влияет на отливку. На базе Литейного завода КамАЗ был проведен эксперимент, при котором сравнивалась микроструктура отливок, которые в процессе кристаллизации охлаждались газом с отливками, кристаллизовавшимся в воздушной среде.

#### **Вывод:**

1. Использование индуктора для подогрева прибыли обосновано, так как это сокращает размер прибыли больше, чем в два раза, что (данный сплав дорогой и закупается в форме мерных заготовок) и уменьшает производственный цикл.
2. Расположение индуктора для подогрева прибыли в плавильно-заливочной установке исключает образование усадочных раковин, уменьшает цикл плавка-заливка-затвердевание, что повышает производительность установки.
3. Литниковая система, подводимая к противоположному торцу отливки позволяет исключить операцию механической обработки посадочного отверстия под вал.
4. Принудительное охлаждение газом формы в процессе кристаллизации вместе с подогревом прибыли положительно влияет на микроструктуру отливки, уменьшает зернистость, предположительно повышает ее пластичные свойства.

#### **Литература**

1. Иванов В.Н., Казеннов С.А., Курчман Б.С и др. и под общ. ред. Шкленника Я.И., Озерова В.А. Литье по выплавляемым моделям. Москва : Машиностроение, 1984.

2. *Binczyk F., Cwajna J., Roskosz S., Gradon P.* Evaluation of Metallurgical Quality of Master Heat IN-713 C Nickel Alloy Ingots. Katowice, Poland : Archives of Foundry Engineering, 2012 г., Т. Volume 12.
  3. *Каблов Е.Н.* Литые лопатки газотурбинных двигателей (сплавы, технология, покрытия). Москва : МИСИС, 2001 г.
  4. *Бабийчук И. О.* Индукционная бестигельная вакуумная плавильно-заливочная установка. [Электронный ресурс] // Всероссийская научно-техническая конференция «Студенческая научная весна: Машиностроительные технологии»: материалы конференции, 4 – 7 апреля, 2017,.
  5. *Белов В.Д., Фадеев А.В., Иващенко А.И., Бельтюкова С.О.* Вакуумная плавка и производство фасонных отливок из титана и титановых сплавов. Москва : Изд. Дом МИСиС, 2013.
-