

# Литейное производство

УДК 669.0

## РАЗРАБОТКА РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩЕЙ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ КРУПНОГАБАРИТНЫХ ОТЛИВОК ИЗ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ

**А.О. Деменок<sup>1</sup>, А.А. Ганеев<sup>1</sup>, О.Б. Деменок<sup>1</sup>, С.В. Бакерин<sup>1</sup>, Б.А. Кулаков<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Уфимский государственный авиационный технический университет, г. Уфа;

<sup>2</sup> Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск

Целью работы является разработка ресурсосберегающей технологии получения крупногабаритных отливок из титановых сплавов деталей авиационного назначения центробежной заливкой в оболочковые формы с использованием связующих на водной основе.

В работе приведена технология получения оболочковых форм на основе водного связующего Remasol с добавлением в огнеупорную суспензию 5 % АСД-4 для центробежного литья титановых сплавов.

Проведены исследования по определению величины альфированного слоя на реальных отливках. Показана возможность использования оболочковых форм на основе водного связующего Remasol и комбинированных оболочковых форм для литья титановых сплавов.

По результатам механических испытаний и исследований альфированного слоя разработана технология изготовления оболочковых форм для литья крупногабаритных отливок. Предложено использовать в качестве связующего для изготовления оболочковых форм связующее Remasol с добавлением в суспензию АСД-4 в количестве 5 %.

Для проверки рекомендованных связующих материалов в реальных условиях по разработанной технологии были изготовлены керамические оболочковые формы отливок деталей и залиты совместно с формами, изготовленными по серийной технологии.

Заливка блоков производилась в вакуумной электродуговой плавильно-заливочной установке 833Д сплавом ВТ20Л. Для того чтобы все блоки находились в одинаковых условиях, они были помещены в один контейнер.

Заливка собранного контейнера проходила без отклонений от серийной технологии. Формы, изготовленные по разработанным технологиям, залились без разрушения. Визуально отливки, залитые в экспериментальные оболочковые формы после отделения керамики, не имели отличий от отливок, залитых в оболочковые формы, изготовленные по серийной технологии.

*Ключевые слова:* оболочковая форма, связующие на водной основе, крупногабаритные отливки, центробежная заливка, альфированный слой, огнеупорная суспензия.

Тенденция развития современного производства направлена на повышение качества, точности и эксплуатационной надежности литых изделий, получаемых методом литья по выплавляемым моделям. В авиастроении при изготовлении крупногабаритных отливок из титановых сплавов широкое распространение получили электрокорундовые формы.

Однако при использовании данной технологии на поверхности отливок образуется насыщенный примесями и отрицательно влияющий на характеристики изделия поверхностный альфированный слой, который необходимо удалять, особенно с деталей, работающих в условиях долговременных знакопеременных нагрузок и вибраций.

Целью работы является разработка ресурсосберегающей технологии получения крупногабаритных отливок из титановых сплавов деталей авиационного назначения центробежной заливкой в оболочковые формы с использованием связующих на водной основе.

В ходе ранее выполненной работы были проведены исследования различных связующих на водной основе: ЕНТ Binder (США), Remasol (Великобритания), Армосил разных модификаций (Россия, г. Казань).

На основе анализа проведенных исследований [1, 2] было установлено, что для достижения наилучших механических свойств необходимо соблюдать следующие условия:

1) прокаливание оболочковых керамических форм (для всех видов водных связующих) необходимо проводить при температуре  $\geq 1200$  °С;

2) для увеличения изгибной прочности форм необходимо в суспензию вводить 5 % (от массы наполнителя) алюминиевого порошка АСД-4 ТУ 1791-007-49421776-2011.

Исследования показали, что на образцах, изготовленных с использованием связующих ЕНТ Binder, Армосил АМ, Армосил А, Армосил Тi, величина альфированного слоя на отливках сопоставима с величиной этого слоя на отливках полу-

ченных в формах изготовленных на этилсиликатном связующем. При изготовлении оболочковых форм с использованием связующего Remasol, как с добавлением АСД, так и без АСД, на титановых отливках альфированный слой отсутствует.

По результатам механических испытаний и исследований альфированного слоя разработана технология изготовления оболочковых форм для литья крупногабаритных отливок. Предложено использовать в качестве связующего для изготовления оболочковых форм, связующее Remasol с добавлением в суспензию АСД-4 в количестве 5 %.

Для проверки рекомендованных связующих материалов в реальных условиях, по разработанной технологии были изготовлены керамические оболочковые формы отливок деталей и залиты совместно с формами, изготовленными по серийной технологии.

Для апробации разработанной технологии на основе связующего Remasol в условиях серийного производства отливок деталей были изготовлены три модельных блока (рис. 1).

Первый блок был облицован с использованием связующего на основе гидролизованного этилсиликата по технологии цеха титанового литья ОАО «УМПО».

Второй блок облицовывали с использованием связующего на водной основе Remasol, по технологии литья по выплавляемым моделям. Окунанием

модельного блока в суспензию с условной по вискозиметру ВЗ-4 вязкостью 65–70 с на первых двух слоях и обсыпкой электрокорундом зернистостью М20; на последующих слоях – вязкостью 30–35 с с обсыпкой электрокорундом зернистостью М50. Сушка производилась на воздухе в течение 4 ч для первых двух слоев и 2 ч для последующих слоев. Облицованный блок приведен на рис. 2.

С целью возможности устранения альфированного слоя в условиях технологии серийного производства было предложено изготовить третий блок по следующей схеме:

– первые два слоя оболочковой формы были изготовлены на связующем Remasol по технологии второго блока;

– последующие слои оболочковой формы были изготовлены со связующим на основе гидролизованного этилсиликата по серийной технологии цеха титанового литья ОАО «УМПО».

Вытопка блоков производилась в расплаве модельной массы ЗГВ-101, нагретой до температуры  $(170 \pm 5) ^\circ\text{C}$ .

Прокаливание блоков производили в шахтной печи при температуре  $1000 ^\circ\text{C}$  в течение 6 ч.

Заливка блоков производилась в вакуумной электродуговой плавильно-заливочной установке 833Д сплавом ВТ20Л. Для того чтобы все три блока находились в одинаковых условиях, они были помещены в один контейнер (рис. 3).



Рис. 1. Блок модельный



Рис. 2. Блок облицованный



Рис. 3. Контейнер с залитыми блоками



Рис. 4. Блок отливок после отбивки керамики



Рис. 5. Отливка после отрезки от литниково-питающей системы



Рис. 6. Отрезанный образец для исследования альфированного слоя

Заливка собранного контейнера проходила без отклонений от серийной технологии. Формы, изготовленные по разработанным технологиям, залились без разрушения. Отливки, залитые в экспериментальные оболочковые формы после отделения керамики, не имели визуальных отличий от отливок, залитых в оболочковые формы, изготовленные по серийной технологии.

После отбивки керамики с каждого блока (рис. 4) отрезалось по одной отливке (рис. 5) и проводились исследования на наличие альфированного слоя.

Методика подготовки и исследования альфированного слоя заключалась в следующем.

Образцы вырезались из отливки (рис. 6), в

дальнейшем шлифовались до зеркального состояния поверхности. После образец протравливался смесью кислот следующего состава:

- 1 часть плавиковой кислоты;
- 1 часть азотной кислоты;
- 3 части дистиллированной воды.

Микроструктуру образцов исследовали на инвертированном оптическом микроскопе Olympus GX51.

На просматриваемых микроструктурах отмечено изменение структуры по границам образца («игольчатые» зерна) и определена глубина проникновения в тело отливки.

Микроструктура полученных образцов из деталей залитых блоков приведена на рис. 7–9.

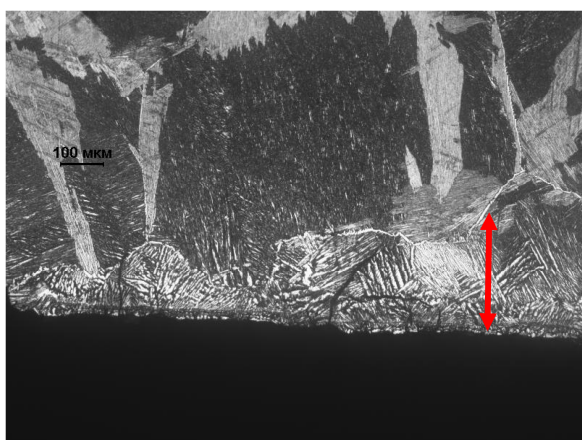


Рис. 7. Микроструктура образца отливки из блока, изготовленного со связующим на основе гидролизованного этилсиликата

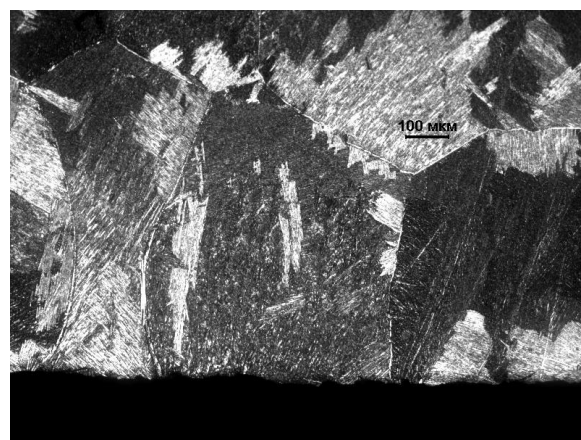


Рис. 8. Микроструктура образца отливки из блока, изготовленного со связующим Remasol

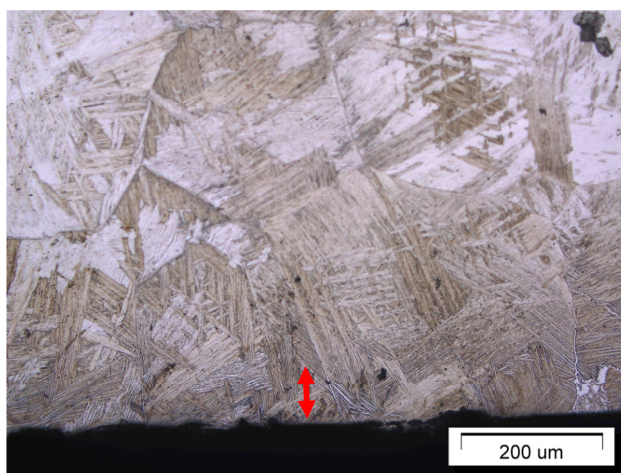


Рис. 9. Микроструктура образца отливки из блока, изготовленного комбинированным способом

#### Результаты измерений альфированного слоя

Связующее оболочковой формы	Величина альфированного слоя, мкм
Гидролизированный этилсиликат	275
Remasol	–
Комбинированная форма	76

Результаты измерений величины альфированного слоя на основе различных связующих и результаты анализа металлографических исследований отливок, полученных в оболочковых формах на основе гидролизованного этилсиликата и связующего Remasol, приведены в таблице.

Из таблицы следует:

– на отливках, полученных в оболочковой форме на основе гидролизованного этилсиликата (см. рис. 7), наблюдается альфированный слой размером 275 мкм;

– на отливках, полученных в оболочковой форме на основе связующего Remasol (см. рис. 8), альфированный слой отсутствует, а в комбинированной форме (см. рис. 9), альфированный слой покрывает лишь часть поверхности образца (не более 30 % площади) и максимальная толщина его составляет 76 мкм.

#### Выводы

1. Разработана технология получения оболочковых форм на основе водного связующего Remasol с добавлением в огнеупорную суспензию 5 % АСД для центробежного литья титановых сплавов без альфированного слоя на поверхности отливок.

2. С целью импортозамещения проведены дополнительные исследования по использованию отечественного водного связующего Армосил АМ, позволившие предложить технологию получения оболочковых форм с добавлением в огнеупорную суспензию 5 % АСД для центробежного литья титановых сплавов.

3. Приведены исследования по использованию комбинированных оболочковых форм для центробежного литья – первые два слоя с использованием водного связующего Remasol, последующие слои на основе гидролизованного этилсиликата, позволившие уменьшить альфированный слой титановых отливок и снизить их себестоимость.

4. Разработана ресурсосберегающая технология получения крупногабаритных отливок из титановых сплавов деталей авиационного назначения центробежной заливкой в оболочковые формы с использованием связующих на водной основе.

Проект выполнялся при поддержке Министерства образования и науки РФ. Договор от 12 февраля 2013 г. № 02.G25.31.0009.

#### Литература

1. Исследовательские испытания технологического процесса производства крупногабаритных тонкостенных литых заготовок из титановых сплавов в части изготовления керамических литейных форм (корпус разделительный): отчет о НИР (промежуточ.): 27-13 / ФГБОУ ВПО УГАТУ; рук. С.В. Бакерин; исполн.: А.А. Ганеев [и др.]. – Уфа, 2014. – 119 с.

2. Углев, Н.П. Термомеханические свойства керамики для литья по выплавляемым моделям / Н.П. Углев, В.З. Пойлов, А.Л. Казанцев // Литейное производство. – 2014. – № 5. – С. 19–20.

**Деменов Анна Олеговна**, аспирант кафедры машин и технологии литейного производства, Уфимский государственный авиационный технический университет, г. Уфа; nu5tochka@mail.ru.

**Ганеев Альмир Амирович**, д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры машин и технологии литейного производства, Уфимский государственный авиационный технический университет, г. Уфа; mitlp@ugatu.ac.ru.

**Деменов Олег Борисович**, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры машин и технологии литейного производства, Уфимский государственный авиационный технический университет, г. Уфа; dobor999@mail.ru.

**Бакерин Сергей Васильевич**, канд. техн. наук, доцент кафедры машин и технологии литейного производства, Уфимский государственный авиационный технический университет, г. Уфа; mitlp@ugatu.ac.ru.

**Кулаков Борис Алексеевич**, д-р техн. наук, заведующий кафедрой металлургии и литейного производства, Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск; kul@lit.susu.ac.ru.

*Поступила в редакцию 13 января 2015 г.*

---

## DEVELOPMENT OF RESOURCE-SAVING TECHNOLOGY OF RECEIVING LARGE-SIZE CASTINGS FROM TITANIUM ALLOYS

*A.O. Demenok, Ufa State Aviation Technical University, Ufa, Russian Federation, nu5tochka@mail.ru, A.A. Ganeev, Ufa State Aviation Technical University, Ufa, Russian Federation, mitlp@ugatu.ac.ru, O.B. Demenok, Ufa State Aviation Technical University, Ufa, Russian Federation, dobor999@mail.ru, S.V. Bakerin, Ufa State Aviation Technical University, Ufa, Russian Federation, mitlp@ugatu.ac.ru, B.A. Kulakov, South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation, kul@lit.susu.ac.ru*

The aim of the work is to develop a resource-saving technology for the production of large castings from titanium alloy parts for aviation applications by centrifugal casting in shell moulds using water-based binders.

In the work the technology of receiving shell forms on the basis of the water binder "Remasol" with the addition of 5 % of ASD-4 to the fire-resistant suspension for the centrifugal molding of titanium alloys is described.

Researches are conducted on the determination of the  $\alpha$ -layer size on real castings. The possibility of the employment of shell forms on the basis of water binder "Remasol" and combined shell moulds for titanium alloy castings is shown.

On the basis of the results of mechanical testing and probes of an  $\alpha$ -layer, the manufacturing technique of shell casting moulds of large-size castings is developed.

The binder "Remasol" with the addition of 5 % of ASD-4 in the suspension is offered to be used as a binder for the production of shell forms.

To check the recommended binding materials according to the developed technology in practice, ceramic shell forms of castings were made and filled in together with the forms made according to the serial technology.

Blocks priming was made in a vacuum arc melting and filling installation 833D by the alloy VT 20L. All blocks were placed in one container to be in identical conditions.

Priming of the assembled container took place without deviations from the serial technology. The forms made according to the developed technologies were filled in without any damage. Visually, castings which were filled in experimental shell forms after the separation of ceramics had no differences from castings which were filled in shell forms made according to the serial technology.

*Keywords: shell mould; water-based binder; large-size castings; centrifuging process;  $\alpha$ -layer; fire-resistant suspension.*

### References

1. *Issledovatel'skie ispytaniya tekhnologicheskogo protsessa proizvodstva krupnogabaritnykh tonkostennykh litykh zagotovok iz titanovykh splavov v chasti izgotovleniya keramicheskikh liteynykh form (korpus razdelitel'nyy)* [Research Testing of the Technological Process of Production of Large-Size Thin-Walled Castings of Titanium Alloys Concerning the Production of Ceramic Mold (Separation Block)]. Ufa, UGATU Publ., 2014. 119 p.

2. Uglev N.P., Poilov V.Z., Kazantsev A.L., Ordin D.A., Merzlyakov K.S., Zvezdin V.L., Shilov A.V., Petrov A.Yu., Trubkina S.N., Samosudov A.A. [Thermomechanical Properties of Ceramics for Investment Casting]. *Liteynoe proizvodstvo*, 2014, no. 5, pp. 19–20. (in Russ.)

*Received 13 January 2015*

---

**БИБЛИОГРАФИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ СТАТЬИ**

Разработка ресурсосберегающей технологии получения крупногабаритных отливок из титановых сплавов / А.О. Деменов, А.А. Ганеев, О.Б. Деменов и др. // Вестник ЮУрГУ. Серия «Металлургия». – 2015. – Т. 15, № 2. – С. 20–25.

**REFERENCE TO ARTICLE**

Demenok A.O., Ganeev A.A., Demenov O.B., Bakertin S.V., Kulakov B.A. Development of Resource-Saving Technology of Receiving Large-Size Castings from Titanium Alloys. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Metallurgy*, 2015, vol. 15, no. 2, pp. 20–25. (in Russ.)

---