

В. К. Постижено, О. С. Береговая

Национальный технический университет Украины «КПИ», Киев

ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ МОДЕЛЬНЫХ СОСТАВОВ С ПОМОЩЬЮ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Рассмотрена проблема изготовления отливок лопаток газовых турбин из жаростойких и жаропрочных сплавов методом литья по выплавляемым моделям, а именно качественных моделей. Доказана необходимость научно-обоснованного выбора модельного состава при производстве моделей лопаток газовых турбин. Предложена новая модельная композиция на основе парафина и церезина, а также способ ее производства. Приведены номограммы для определения оптимального процентного содержания компонентов в смеси.

Розглянута проблема виготовлення виливків лопаток газових турбін з жаростійких і жароміцних сплавів методом лиття за моделями, що виплаваються. Доведена необхідність науково-обґрунтованого вибору модельного складу при виробництві моделей лопаток газових турбін. Запропонована нова модельна композиція на основі парафіну і церезину, а також спосіб її виготовлення. Наведено номограми для визначення оптимального процентного вмісту компонентів в суміші.

The problem of making castings of gas turbines blades from heat-resistant and heatproof alloys by the method of investment casting is considered in this article, namely making of models with high quality. A necessity of scientifically-grounded choice of modeling wax for production models of gas turbines blades is proved. New modeling wax on the basis of paraffin and ceresin and also method of its production is offered. Nomograms for determination of optimum percentage of components in mixture are resulted.

Ключевые слова: газотурбинные комплексы, лопатки газовых турбин, модельный состав, синтетические модельные материалы.

Газотурбинные комплексы являются сложными агрегатами, которые используются в авиационной, судостроительной и энергетической промышленности.

Основными рабочими элементами газовых турбин являются собственно лопатки, которые изготавливают из жаропрочных и жаростойких сплавов на основе хрома и никеля. Они работают в условиях повышенных температур, высоких давлений, в контакте с агрессивными средами и поддаются значительным статическим и динамическим напряжениям [1].

Основным способом получения таких отливок является метод литья по выплавляемым моделям. Модель является обязательным компонентом формообразования, она воспроизводит внутреннюю конфигурацию формы и ее геометрические размеры, но в то же время может стать причиной брака отливок в результате нарушения размеров, образования некачественной поверхности или микротрещин.

Процесс изготовления модели является самым главным и самым длительным технологическим этапом. Цикл изготовления отливки составляет около двух недель, следовательно, лишь через 14 дней будет конечный результат. А при браке изделий необходимо повторить весь производственный цикл, включая переплав, что приведет к дополнительным расходам и, соответственно, к повышению себестоимости детали [2].

Качество моделей зависит от многих факторов – технологического процесса их изготовления, эксплуатации, конфигурации и т. д. Но основной фактор влияния – это использование такого модельного состава, который бы отвечал конкретным условиям литейного производства, имел весь комплекс необходимых свойств и физико-технологических показателей.

Решение этой задачи предусматривает не только создание универсальной модельной смеси, но и возможность изменения технологических параметров конкретной смеси в зависимости от количества и качества компонентов, которые вводятся в ее состав.

Для изготовления высокоточных ответственных деталей, которые обычно используются в авиации, ракето- и судостроении, военной промышленности и так далее, методом литья по вытапливаемым моделям используются модельные составы на основе термополимерных смол и сополимеров, они отличаются высокой скоростью твердения, имеют пониженную склонность к образованию утяжин и высокие физико-механические и технологические характеристики.

Стоит отметить модельные смеси МВД-3Т, МВД-3А, МВД-3АЯ, МВС-3 (ЗАО «ВиТех-сервис», Россия, Самарская обл., Тальяти), МВД-3Н (С.-Петербургский институт ОАО «Пластполимер», Россия), составы марок КС-107Б, КС-107С, КС-111 (ЧНПП «Карион-сервис», Украина, Днепропетровск) и др. Недавно на отечественном рынке появились модельные восковые составы марок РМС-1, РМС-2 (ОАО «Руденск», Республика Беларусь, Минская область, п. г. т. Руденск).

Зарубежные фирмы «Deumex», «Beci Handlex» (Германия), «Remet», «Blason Olefins» (Англия), «Kindt Collins», «Deu Pont» (США) и другие поставляют на отечественный рынок высококачественные модельные композиции на основе парафина, микрокристаллических восков и синтетических полимеров.

Модельные композиции марок «ВЕЛЕН» и «ВЕЛЕН-1» (ООО «Велен», Украина, Киев) нашли широкое применение при производстве отливок газотурбинных лопаток. В частности, отечественное предприятие «Зоря-Машпроект» (г. Николаев), специализирующиеся на изготовлении отливок такого типа, использует преимущественно данный состав [3].

Проанализировав требования к модельным смесям, их компоненты и свойства уже существующих модельных смесей (табл. 1), были определены их основные преимущества и недостатки. Это позволило выбрать для последующих исследований наиболее перспективную и оптимальную модельную массу «ВЕЛЕН-1» на базе парафина, церезина и полиэтиленового воска, которая широко применяется на отечественных предприятиях при изготовлении моделей лопаток газовых турбин [4, 5].

Таблица 1. Сравнительная характеристика свойств модельных смесей

Марка модельной смеси	Усадка, %	Прочность на изгиб, МПа	Теплостойкость, °С
МВД-3Н	0,8-1,1	4,0-5,0	не менее 40
РМС-1, РМС-2	0,8-1,0	2,5-4,0	30-34
«Велен-1»	0,6-0,8	6,0-7,5	не менее 36
КС-107Б, КС-107С, КС-111	0,5-1,15	2,4-5,0	28-37

Соотношение компонентов в разрабатываемом модельном составе устанавливали на основе теоретических данных и эмпирических зависимостей.

Из ряда композиций с разным процентным содержанием парафина, церезина и полиэтиленового воска изготовили опытные образцы. Процесс приготовления модельной смеси происходил в той же последовательности и в подобных условиях, что и при серийном производстве. Была проведена серия экспериментов для определения технологических параметров этих модельных смесей.

При постоянной рецептуре модельных составов принято контролировать усадку, прочность, зольность модельных соединений и содержание воздуха в пастообразных смесях, температуру каплепадения, твердость, температуры воспламенения и кипения, удельную массу, вязкость, кислотное число, коэффициент омыления, эфирное число.

В данной работе проводились измерения свободной линейной усадки, прочности при изгибе и величины прогиба образца, который характеризует теплостойкость. Данные характеристики являются важнейшими при выборе оптимального состава данной модельной смеси и имеют самое существенное влияние при изготовлении и эксплуатации моделей при достаточно высоких других показателях.

Для определения оптимального состава модельной смеси на основе полученных данных с помощью программы PRIAM_TP (Планирование регрессии и анализ модели) была со-

Проблемы технологии формы

здана математическая модель. Были определены параметры, которые наиболее влияют на показатели усадки, прочности и теплостойкости модельной смеси.

Из всех зависимостей, которые были обнаружены моделью, можно выделить две – влияние процентного соотношения в модельной смеси парафина и церезина на ее усадку, а также процентного соотношения парафина и церезина на прочность. Эти зависимости имеют сложный характер. Поэтому для практического применения были построены номограммы (рис.1, 2).

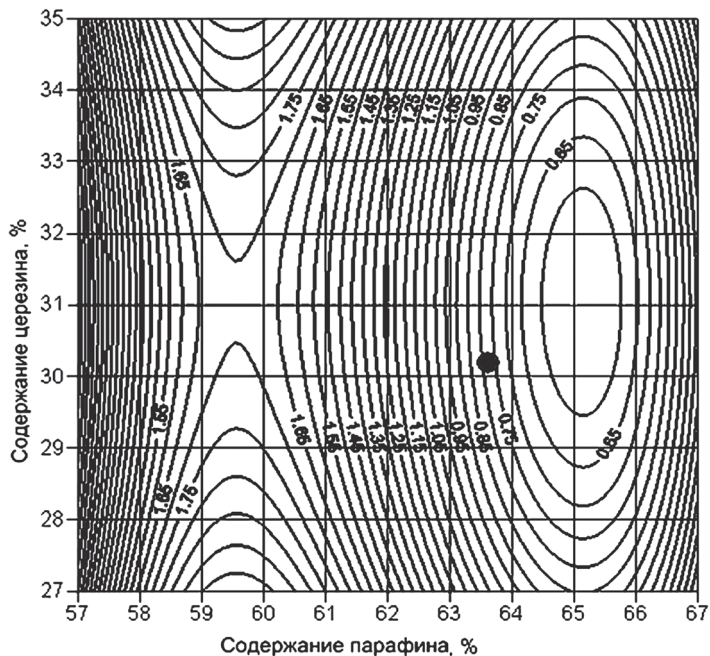


Рис. 1. Усадка модельной смеси (%) в зависимости от процентного соотношения парафина и церезина

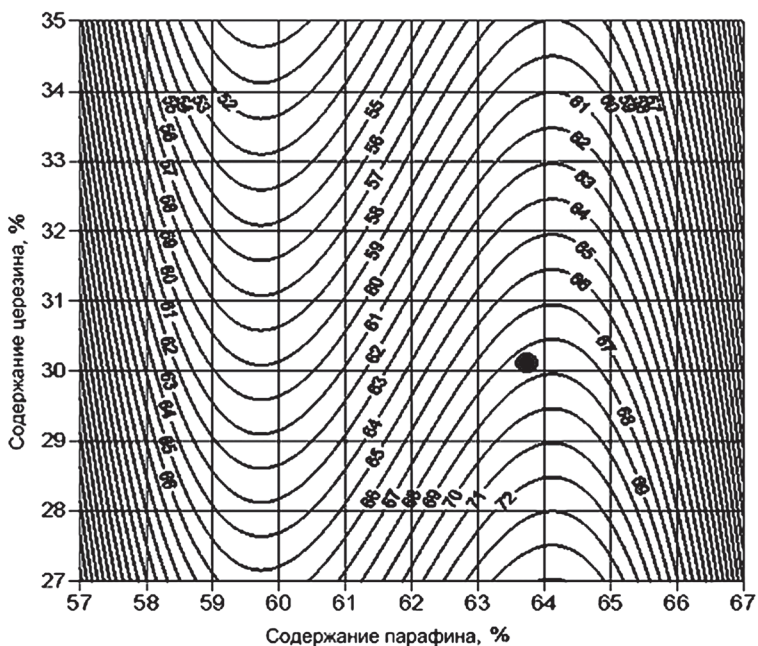


Рис. 2. Прочность модельной смеси (10 МПа) в зависимости от процентного соотношения парафина и церезина

С помощью этих номограмм по заданным технологическим параметрам можно выбрать необходимый состав смеси, то есть содержимое парафина и церезина. Точка на номограмме показывает оптимальный состав и свойства модельной смеси, то есть при соотношении 63,7 % парафина и 30,2 % церезина усадка составит 0,7 %, а прочность - 6,85 МПа. При этом, если мы хотим получить смесь с высшими показателями прочности, то выбрав необходимое процентное соотношение парафина и церезина на рис. 1, можем сразу определить и показатели усадки на рис. 2. Таким образом исключается длительный процесс последовательного подбора компонентов и их количественного соотношения в составе модельных композиций для достижения оптимальных физико-механических и технологических параметров.

Математическая модель влияния процентного содержания компонентов на показатели усадки имеет вид сложной зависимости, которая показывает, что оптимальные показатели усадки находятся в области, которая включает 64,66 % парафина и 30,32 % церезина марки 100.

Оптимальные показатели прочности находятся в области, которая включает 63,65 % парафина и 27,28 % церезина марки 100.

Повышение содержания церезина негативно влияет на показатели прочности, тогда как повышение его температуры каплепадения повышает прочность.

Температура каплепадения церезина, собственно его марка, имеет существенное влияние на свойства модельной смеси, но эта зависимость имеет линейный характер, то есть можно сказать, что при любом одинаковом процентном соотношении парафина и церезина усадка будет ниже, а прочность и теплостойкость выше при использовании церезина марки 100.

Содержание в модельной смеси полиэтиленового воска принимаем за постоянную величину. Хотя его наличие и влияет на свойства модельного состава в значительной мере, но в данном случае уменьшение или увеличение процентного содержания полиэтиленового воска не приводит к кардинальному изменению свойств.

Благодаря многокритериальной оптимизации были определены три модельные смеси, которые попадают в ранее определенные оптимальные области и совмещают высокие показатели прочности и теплостойкости с низкими показателями усадки.

Для проверки результатов многокритериальной оптимизации провели серию повторных опытов.

Выбрали три модельные состава с разным процентным соотношением компонентов, при сочетании которых смесь имеет оптимальные показатели усадки, прочности и теплостойкости по данным оптимизации (табл. 2). Из этих смесей были изготовлены опытные

Таблица 2. Сравнительная характеристика свойств опытных образцов

Свойства смеси	Данные по модели			Данные по эксперименту		
	номер смеси					
	1	2	3	1	2	3
	-	-	-	(среднее значение по 4-м образцам)	(среднее значение по 4-м образцам)	(среднее значение по 3-м образцам)
Усадка модельной композиции, %	0,76	0,98	0,71	0,66	0,93	0,78
Прочность модельной композиции на изгиб, МПа	6,87	7,16	6,52	7,29	6,58	6,12
Теплостойкость (прогиб образца при выдержке в термостате при 37 °С в течение 2 ч, мм)	0,34	0,36	0,52	0,27	0,33	0,53

образцы, их испытали и сравнили экспериментальные данные с теоретическими.

Теоретические данные были подтверждены практическими экспериментами, это говорит о том, что математическая модель «работает».

Состав «Велен-опытный» имеет отличные технологические показатели, а именно малую усадку, высокую прочность и теплостойкость. По своим свойствам он может конкурировать с уже известными модельными составами на основе парафина и полностью заменить составы на основе соляного раствора мочевины. Эта замена приведет к значительному улучшению экологического состояния окружающей среды и позволит улучшить условия труда рабочих, ведь все компоненты предложенного модельного состава являются нетоксичными, нелетучими, не имеют неприятного запаха, не требуют высоких температур для их приготовления. Использование данной модельной смеси также позволит получить значительный экономический эффект за счет снижения брака отливок.

Новизна полученных результатов подтверждена двумя патентами на полезную модель [6, 7].

Выводы

- Предложена математическая модель для определения технологических параметров модельных составов в зависимости от содержания основных компонентов.
- Разработанный модельный состав может быть предложен для производства на государственном предприятии «Зоря-Машпроект» без изменения основной технологической схемы.
- Предложенный способ получения модельной смеси с предварительно заданными свойствами может быть использован как в лабораторных условиях, так и в промышленности при изготовлении модельных составов на основе парафина и церезина.



Список литературы

1. Репях С. И. Технологические основы литья по выплавляемым моделям. - Днепропетровск: Лира, 2006. - 1056 с.
2. Цветное литье: Справочник / Под ред. Н. М. Галдина. — М.: Машиностроение, 1989. - 528 с.
3. Комплект документов на технологический процесс НПКГ «Зоря-Машпроект».
4. 48376 Украина, МПК (2006) В22с 7/02. Модельный состав / В. К. Постиженко. - Оpubл. 15.08.2002, Бюл. № 6.
5. Шкленник Я. И., Озеров В. А. Литье по выплавляемым моделям. - М.: Машгиз, 1961. - 654 с.
6. Пат. 31222 Украины, МПК (2006) В22с 7/00. Модельный состав / В. К. Постиженко, О. С. Береговая. - Оpubл. 25.03.2008, Бюл. № 6.
7. Пат. 31228 Украины, МПК (2006) В22с 7/00. Способ получения модельного состава / В. К. Постиженко, О. С. Береговая. - Оpubл. 25.03.2008, Бюл. № 6.

Поступила 27.11.2008