



Список литературы

1. Дорошенко В. С. Производство металлических отливок по моделям из пенопласта в современном машиностроении / В. С. Дорошенко // Строительные и дорожные машины. – 2014. – № 2. – С. 19-23.
2. Шалевская И. А. Экологический мониторинг образования вредных выбросов в цехе литья по газифицируемым моделям / И. А. Шалевская, А. В. Богдан, В. О. Шинский // Металл и литьё Украины. – 2015. – № 2. – С. 32-36.
3. Шалевская И. А. Реализация эффективного экомониторинга объектов и процессов литейного производства на основе сенсорных и локально-региональных сетей / И. А. Шалевская // Литейщик России. – 2014. – № 1. – С. 40-42.
4. Шинский И. О. Эффективные методы и средства построения помехоустойчивых сенсорных сетей мониторинга технологических процессов и объектов литейного производства / И. О. Шинский, Б. М. Шевчук, О. М. Заставный // Металл и литьё Украины. – 2010. – № 8. – С. 34-39.

Поступила 25.02.2015

УДК 669.018.45

**И. И. Максюта, Ю. Г. Квасницкая, А. В. Нейма,
Е. В. Михнян, О. А. Тихонова**

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев

ВЫЖИГАЕМЫЕ ППС-МОДЕЛИ КАК ПЕРСПЕКТИВНЫЙ МЕТОД УЛУЧШЕНИЯ КАЧЕСТВА ЛИТЫХ ДЕТАЛЕЙ ГТД*

Исследования, посвященные особенностям термодеструкции ППС-моделей, позволяют учесть физико-химические превращения материала и определить основные температурно-временные параметры в процессе получения сложнопрофильных отливок из жаропрочных сплавов способом литья по выжигаемым моделям. Показано, что применение экструдированного высокоплотного ППС улучшает степень шероховатости отливки и даёт возможность избежать науглероживания приповерхностной зоны.

Ключевые слова: выжигаемая модель, керамическая форма, термодеструкция, экструдированный пенополистирол, жаропрочный сплав.

Дослідження, присвячені особливостям термодеструкції ППС-моделей, дозволяють врахувати фізико-хімічні перетворення матеріалу і визначити основні температурно-часові параметри в процесі отримання складнопрофільних виливків з жароміцних сплавів способом лиття за моделями, що випалюються. Показано, що застосування екструдованого ППС підвищеної густини покращує ступінь шорсткості поверхні виливків і дає можливість уникнути науглецювання приповерхневої зони.

Ключові слова: модель, що випалюється; керамічна форма, термодеструкція, екструдований пінополістирол, жароміцний сплав.

*Работа выполнена под руководством д-ра техн. наук. проф. О. И. Шинского

Studies that focus on features thermal destruction of polystyrene models allow to consider the physical and chemical transformation of materials and the basic temperature and time parameters in the development process of obtaining castings complex profile of high-temperature alloys by casting at models that burned. It is shown that the use of extruded polystyrene of high density improves the degree of surface roughness of castings and allows you to avoid the surface carburization zone.

Keywords: burns model, ceramic mold, thermal destruction, extruded polystyrene, superalloy.

Введение

На предприятиях энергомашиностроения как в Украине, так и за рубежом, в течение последних десятилетий традиционной технологией, используемой для получения литых фасонных деталей, в частности, сложнопрофильных лопаток ГТД, является литьё в многослойные оболочковые формы с выплавляемыми воско-содержащими моделями (метод ЛВМ). Этот процесс достаточно трудоёмок и экологически неблагоприятен. Кроме того, из-за низкой (около 30 °С) температуры размягчения воскодержательной модельной массы, её значительной объёмной и линейной усадки и высокого коэффициента расширения при нагревании, этот метод имеет ограниченные возможности при возрастании массы отливок. Повышение точности геометрических размеров отливок, снижение трудозатрат, в том числе на оборудование и материалы, сокращение отходов производства, обеспечивает способ литья с использованием газифицированных моделей из полимеров (ЛГМ), в том числе пенополистирола (ППС). Однако опасность появления специфических дефектов поверхности отливок, в частности науглероживание, коксогозовые раковины, плены углерода, образующиеся вследствие взаимодействия металла, заполняющего форму, с продуктами неполной деструкции модели, стали причиной того, что этот процесс практически не применяется для сплавов со строго контролируемым содержанием углерода [1-4].

Технологически, экономически и экологически перспективной, с точки зрения промышленного использования на предприятиях газотурбостроения, особенно для крупногабаритного сложнопрофильного литья, является замена воскодержательных моделей пенополистироловыми, удаляемыми методом растворения либо выжигания.

Для того, чтобы подойти к практической реализации процесса удаления материала модели из вспенивающихся полимеров, в частности полистирола, необходимо рассмотреть механизм структурно-фазовых изменений для разных температурно-временных режимов, происходящих в материале под воздействием высоких температур [1, 5-6].

В идеале подвод тепла к пенополистиролу в процессе тепловой обработки приводит к критическому или близкому к этому состоянию и дальнейший обогрев вызывает усадку материала и перевод его в вязкотекучий гель [6]. В соответствии с положениями теории доменов, предложенной авторами [5], для такого состояния характерна максимальная подвижность цепей макромолекул (звеньев) вплоть до их взаимного перемешивания и сцепления друг с другом. Вероятность существования полимера в таком состоянии стремится к нулю при $T \rightarrow T_{кр}$; состояние его структуры суперметастабильное – любое повышение температуры приводит к быстрому разрыву цепей доменов и распаду полимера в целом, то есть полимер приводит к такой энергетической точке, когда любое изменение температуры сопровождается изменением в ту или другую сторону агрегатного состояния полимера: при $T \rightarrow T_{кр}$ – к распаду его, при $T < T_{кр}$ – к стеклообразному состоянию.

Согласно законам термодинамики [1], любая система, состоящая из множества подвижных частиц или их комплексов, стремится к состоянию, которому в данных термодинамических условиях соответствует минимальный запас свободной энергии. Пенополистирол в микрообъёме (например, на уровне цепей доменов) с допущениями можно считать такой системой, которая при $T_{кр}$ имеет критический запас свободной энергии и при $T_{обр} > T_{кр}$ существование стеклообразной структуры

становится невозможным, и она переходит в иное агрегатное состояние [5]. Таким образом, если рассматривать более высокие термические диапазоны воздействия на модель при её удалении способом выжигания, то, с большой степенью приближения, можно проводить аналогию с теми процессами, которые происходят, например, при использовании технологии ЛГМ.

При совершенствовании технологии получения фасонных отливок повышенной геометрической точности из жаропрочных сплавов, авторы данной работы поставили цель определить оптимальные температурно-временные параметры процесса удаления ППС-моделей и продуктов деструкции из оболочковых форм способом одноэтапного выжигания или двухэтапного с предварительным растворением, решая при этом задачу сохранения основных этапов технологического процесса изготовления форм, принятых для конкретной номенклатуры отливок на предприятии машиностроения.

Из научно-патентной литературы известно, что в практике литейного производства встречаются три основных способа выжигания модели из формы: нагревом в сушильной печи, ацетиленокислородным пламенем, струей кислорода.

На основании экспериментов было установлено, что при нагревании формы в сушильной печи время удаления модели пропорционально температуре; например, при 300 °С время полного удаления модели из формы составляет 4 ч, а при 500 °С – только 1 ч. Противопригарное покрытие, содержащее в качестве связующей основы гидролизованый раствор этилсиликата или жидкое стекло, может отслаиваться от формы и растрескиваться. Поэтому указанный способ удаления модели можно рекомендовать только для получения отливок среднего развеса, формы которых можно выполнять повышенной плотности без противопригарного покрытия.

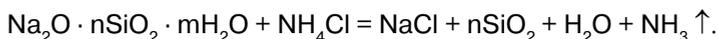
Выжигание ацетиленокислородным пламенем до настоящего времени не дало положительных результатов. Наилучшие результаты были получены при выжигании моделей направленной струей кислорода [6]. Стояк (выпор) из пенополистирола поджигают и в очаг горения при помощи резака или трубки направляют струю кислорода. Модель быстро выгорает. Продолжительность удаления модели зависит от её объёма и составляет обычно от 1 до 5 мин. Так как выжигание сопровождается обильным выделением дыма, этот процесс необходимо проводить под вытяжным зонтом.

В ФТИМС НАН Украины в отделе ФХПФ был запатентован достаточно рациональный способ термоизвлечения ППС-модели с помощью нагретой проволоки [7], при котором применяется не полностью процесс выжигания ППС-модели, а рационально используется низкотемпературный этап, приводящий к термокомпактированию, то есть усадке модели, что даёт возможность её дальнейшего механического извлечения на стадии частичного оплавления. Таким образом, удаётся избежать накопления зольного остатка от сжигания ППС-модели в облицовочных слоях формы и возможного насыщения углеродом приповерхностной зоны отливки. Авторами работы ранее была опробована [8] возможность применения дополнительной операции, включающей предварительное растворение остатков ППС в полости формы органическими растворителями с последующим сливом через специальное устройство, но это отрицательно сказывается на трудоёмкости и экономичности техпроцесса.

Выбор температуры полного выжигания авторы данной статьи проводили с учётом результатов работы, упомянутой в монографии В. С. Шуляка [1] как «способ Replicast-CS (Shell moulding refractory)». По данному способу на модель из пенополистирола повышенной плотности (40-50 кг/м³) наносится керамическая оболочка из 4-5 слоев, как при литье по выплавляемым моделям. Толщина оболочки составляет 3,2-4,7 мм. Затем полученная керамическая форма помещается в печь, где при температуре 930 °С происходит полное выгорание модели и спекание оболочки. Обжиг длится 5-10 мин при температуре 900-1000 °С. Полученную оболочку помещали в контейнер, засыпали кварцевым песком, уплотняемым

вибрацией, накрывали полиэтиленовой пленкой и вакуумировали до 0,04-0,05 МПа. Технология позволила получать качественные отливки из низкоуглеродистых марок стали без поверхностного и объёмного науглероживания.

В данной работе для изготовления экспериментальной партии оболочковых форм с целью установления основных температурно-временных параметров процесса выжигания ППС-моделей был использован метод изготовления опытных оболочковых форм на жидкостекольном связующем [5]. Известно, что заменой этилсиликату может служить жидкое стекло, с применением которого процесс значительно удешевляется и сокращается до 60 мин на цикл изготовления оболочки. Формирование слоёв огнеупорной оболочки осуществляется химическим твердением жидкого стекла в среде отвердителя, в данном случае хлористого аммония (ТУ 6-09-2540-87) в виде 20%-го водного раствора, а выделившийся SiO_2 скрепляет зёрна наполнителя в соответствии с реакцией:



Используемое в работе стекло натриевое жидкое $\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2 \cdot m\text{H}_2\text{O}$, полученное по методике [5], имеет следующие качественные показатели (в скобках – по ТУ У 21875464.004-98): плотность – 1460 (1470-1520) кг/м³; силикатный модуль – 2,48 (2,6-3,0); массовая доля кремнезема – 30,6 (30,8-31,9) %; массовая доля окиси натрия – 13,5 (11,0-12,1) %.

После подготовки к использованию стекло имело следующие показатели: плотность – 1300 кг/м³; массовая доля кремнезема – 21,0 %; массовая доля оксида натрия – 7,3 %; модуль – 3,1; продолжительность схватывания – 2 мин 25-35 с. В результате реакции выделяется гидрогель кремниевой кислоты H_2SiO_3 , то есть кремнезем питывает в себя воду из жидкого стекла и в таком виде присутствует в оболочке. Наличие воды в оболочке в составе гидрогеля придаёт ей податливость и при обжиге обеспечивает высокую газопроницаемость (до 40 единиц). Вместе с тем, присутствие в оболочке Na_2O в количестве 1,0-1,5 % является причиной низкой её прочности, что снижает качество оболочек и изготавливаемых в них отливок – одна из важных причин ограниченного применения жидкого стекла в производстве точного литья.

В используемой нами методике сухой порошок хлористого аммония в качестве закрепителя вводили в обсыпочный материал – кварцевый песок (ДСТУ Б В.2.7-131:2007) в количестве 3,5-4,0 % от массы песка (установлено опытным путем) и в жидкую суспензию на жидкостекольном связующем, находящуюся в состоянии псевдооживления, окунали ППС-модели разного типа с нанесённым слоем обмазки и выдерживали на воздухе в течение 6-8 мин. В качестве огнеупорного наполнителя для суспензии использовали маршалит (ТУ 5717-017-07623170-98). Подобным образом наносили 5-6 слоёв (рис. 1).

Для проведения исследований использовали образцы нескольких типов ППС, применяемых в литейном производстве для изготовления моделей первого типа изготавливали двух размеров: объёмом 34 и 103 см³ из пенополистирола марки ПСБ-25 (EPS-EN13163) по ДСТУ Б EN 13163-2013 плотностью 25 кг/м³. Второй тип образцов аналогичных



Рис. 1. Многослойные оболочковые формы на жидкостекольном связующем, обсыпочный материал – песок кварцевый

Проблемы технологии формы

размеров изготавливали из значительно более прочного экструдированного ППС марки 4000 CS (XPS СТО 72746455-3.3.1–2012) плотностью 35 кг/м³, имеющего однородную структуру из закрытых герметических ячеек, содержащих воздух (см. таблицу). Этот тип ППС благодаря плотной структуре, как показал предыдущий опыт, обеспечивает большую жёсткость и пониженную шероховатость элементов модели, при этом является экологически чистым, так как при его производстве не используются фреоны.

Характеристики разных типов пенополистирола

Характеристики	Вид пенополистирола					
	блочный		экструдированный			
	ПСБ-15	ПСБ-25	Carbon eco	Carbon solid 500	4000 CS	Carbon solid 700
Плотность, кг/м ³	до 15	15-25	26-32	не менее 36	35	не менее 50
Средний размер гранул, мм	3,0-3,5	2,0-2,5	–	–	–	–
Количество гранул на 1 площ. поверхн. (3,6 см ²), шт.	40-45	80-85	–	–	–	–
Прочность на сжатие при 10 % линейной деформации, МПа	0,05	0,10	0,25	0,16	0,50	0,70

Перед испытанием образцы измеряли в трёх точках с погрешностью не более 0,1 мм. Для взвешивания образцов с целью определения истинной плотности ρ (кг/м³) использовали весы лабораторные электронные 4-го класса модели ВЛ Э134 завода «Госметр» (г. Санкт-Петербург).

Согласно известной температурной зависимости фазовых превращений в пенополистироле [1] усадочные изменения ППС становятся заметны при температуре выше 100 °С и усиливаются к 160 (рис. 2). Поэтому первичный этап выжигания из готовых форм (образцы с предварительно растворёнными моделями и образцы без растворения) выполняли в камере лабораторного сушильного электрошкафа СНОЛ 67/350 с диапазоном автоматического регулирования температуры в интервале 50-350 °С. С целью инициации первичного газовыделения и начального этапа деструктивных изменений, формы в течение 1 часа подвергались тепловому воздействию при постепенном повышении температуры от 20 до 150 °С; при нагревании с первых же минут фиксировали резкое уменьшение объёма ППС-моделей и соответственно увеличивалась их объёмная плотность.

Оценка эффекта объёмных превращений и изменения объёмной плотности ППС при низко-температурном нагреве ранее была проведена в работе [9] (рис. 3).

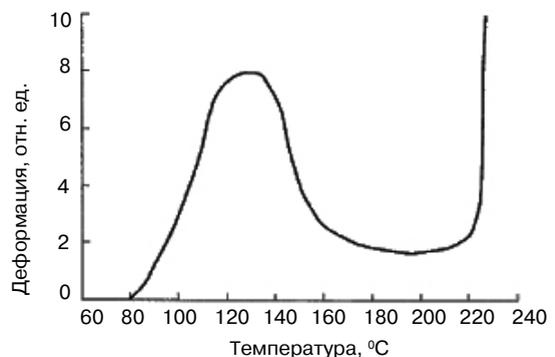


Рис. 2. Деформация полистирола в зависимости от температуры

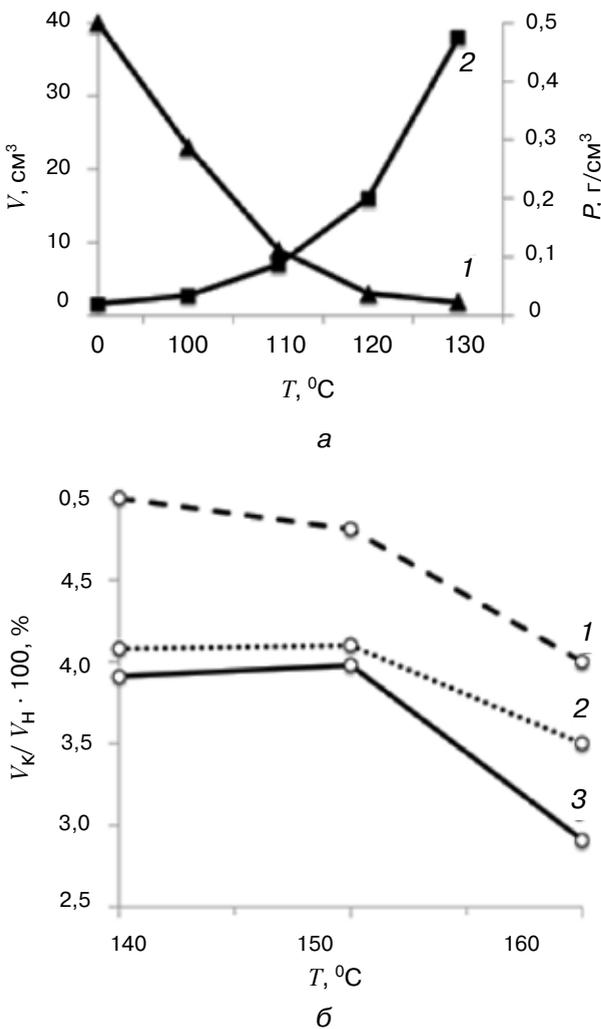


Рис. 3. Влияние температуры нагрева пяти образцов ППС размерами 2×2×2 см: а – на изменения их объёма и плотности при нагреве в течение 15 мин: 1 – кривая изменения объёма; 2 – кривая изменения плотности; б – на степень уменьшения их объёма при продолжительности (в %, к началному): 1 – 5; 2 – 10; 3 – 15 мин

По результатам исследований для образцов объёмом $V_n = 1 \text{ см}^3$ плотность увеличилась в 10,9 раз, с объёмом 8 см^3 – в 10,3 раз, для более крупных образцов с объёмом 27 см^3 – в 12,0 раз при нагреве по аналогичному тепловому режиму. При $130 \text{ }^\circ\text{C}$ наблюдалось дальнейшее незначительное уменьшение объёма образцов. С ростом температуры в интервале $100\text{-}130 \text{ }^\circ\text{C}$ начальная m_n и конечная m_k массы образцов ППС не отличались ($m_n = m_k$). При $140 \text{ }^\circ\text{C}$ и продолжительности нагрева 5 мин объём образцов ППС уменьшился в 20 раз, при 10 и 15 мин эти изменения были незначительными, при $150\text{-}160 \text{ }^\circ\text{C}$ картина аналогична.

Для образцов моделей с высокой плотностью (экструдированный ППС) более чётко фиксируются фазовые переходы материала ППС – модели, соответствующие данным, полученным авторами [1]. При нагреве выше $81 \text{ }^\circ\text{C}$ ППС переходит в высокоэластичное состояние, при котором происходит его увеличение в объёме за счёт внутреннего давления паров порообразователя, затем первичная усадка и вновь переход полистирола в эластичное состояние; при дальнейшем нагреве до $239 \text{ }^\circ\text{C}$ пенополистирол переходит в вязкотекучее состояние; при $300 \text{ }^\circ\text{C}$ начинается процесс деполимеризации

полистирола, плавление, образование и накопление жидкой фазы, и её термодеструкция до паровой и газовой фаз. В работах [1, 6] установлено, что, при нагреве полистирола до $350 \text{ }^\circ\text{C}$, его разрушение происходит с выделением четырёх основных фракций. Самая летучая фракция состоит из оксида углерода, который образуется в результате химического взаимодействия полистирола с адсорбированным кислородом. Две другие фракции имеют одинаковую молекулярную массу (263-264), но обладают различной летучестью. Одна фракция летуча как при температуре реакции ($350\text{-}420 \text{ }^\circ\text{C}$), так и при комнатной ($20 \text{ }^\circ\text{C}$); она состоит из 92-94 % стирола, 4-8 % толуола и содержит следы этилбензола и метилстирола. Вторая летуча только при температуре реакции и содержит наряду со стиролом димер стирола (19,32 %), тример стирола (32,08 %) и тетрамер стирола (3,85 %). Жидкая фракция нелетуча и состоит из осколков полимерной

цепи с молекулярной массой около 2000. При нагреве полистирола до 500 °С его деструкция идёт, в основном, до мономера и небольшого количества димера. При нагреве выше 500 °С происходит интенсивный рост газовой выделения и появляется негазифицируемый остаток.

В наших экспериментах для постоянного контроля температуры дополнительно через отверстие в крышке камеры вводили горячий спай термопары типа хромель-алюмель. Спай термопары снабдили специальным приспособлением, позволяющим фиксировать его в любой точке пространства, как в объёме формы, так и в рабочей камере печи.

Вторая высокотемпературная фаза выжигания проводилась нами в электрической печи сопротивления (марки СНОЛ 7,2/900) одновременно с процессом отжига оболочки формы по режиму: нагрев до температуры 700-750 °С со скоростью 120-130 °С / ч и последующей выдержкой на протяжении 2-х часов. В интервале температур 500-550 °С наблюдали особенно интенсивное газовыделение. Предположительно, состав выделившихся газов может соответствовать результатам, полученным авторами работы [1, 6]. Ими проведён количественный и качественный хроматографический анализ выделившихся газов и конденсата (коксового остаток, сажа) при выжигании пенополистирола (марок ПСВ-Л и ПСВ-А) плотностью 25 кг/м³ при температуре металла 700, 1300 и 1550 °С. Наличие кислорода в пенополистироле, как адсорбированного, так и свободного в порах пенопласта, приводит к окислительной термодеструкции полистирола с образованием СО. По данным хроматографического исследования газа в процессе деструкции полистирола при температуре 800 °С, газ состоит из 25,8 % CH₄; 14,6 % C₂H₄; 2,6 % C₃H₆. Выделение газа при 800-1200 °С происходит с постоянной скоростью, количество его возрастает пропорционально температуре. Как установлено [6], углерод в газовой фазе может существовать в виде многоатомных частиц: C₂, C₃, C₄ и т. д., причём, с возрастанием числа атомов в частице углерода, энергия отщепления атома от частицы возрастает.

Вероятно, экзотермическим эффектом деструкции высокоплотного пенополистирола с повышенным газоотделением, сопровождающим объёмное расширение модели, объясняется то, что оболочки с моделью из экструдированного ППС (марки 4000 CS) в наших опытах растрескивались в интервале температур 130-150 °С. Уцелевшие оболочки после выжигания имели на внутренней поверхности следы выгоревшего геля в виде зольного остатка (сажи). С подобным эффектом образования зольного скопления столкнулись авторы работы [10, 11]. Химический анализ показал, что эти скопления более чем на 98 % состоят из двуоксида кремния, а содержание углерода в них и в форме ~ 0,12 %, то есть такое же, как и в формах, получаемых по выплавляемым моделям. Одной из причин возникновения дефектов может являться адсорбционное поглощение гидролизованного раствора этилсиликата (ГРЭ) микропорами пенополистироловой модели. Так, было установлено, что ППС-модели лучше смачиваются суспензиями, чем выплавляемые, а высохшие покрытия с трудом отделяются от моделей. На основании этого выдвинуто следующее предположение о механизме образования скоплений пылевидного материала. При нанесении покрытия микровпадины на поверхности моделей заполняются жидкой фазой суспензии ГРЭ. После сушки покрытий микровпадины остаются заполненными высохшим связующим, состоящим в основном из SiO₂. При выжигании моделей суспензии ГРЭ смывается расплавом пенополистирола и собирается в тех местах формы,

Проблемы технологии формы

где сосредотачивается пенополистирол при выжигании моделей. Для устранения этого явления модели покрывали маслосодержащими веществами, например, водомасляными эмульсиями, которые уменьшают адгезионное взаимодействие ГРЭ.

Оболочки с моделью из блочного ППС все уцелели после выжигания и практически не имели следов присутствия продуктов сгорания углеводородов во внутренних слоях формы. Визуальный осмотр оболочек (10 шт.) и последующее использование форм для получения сопловых лопаток из жаропрочного сплава (марки ЧС 104) и стали (12Х18Н10Т), показали высокую трещиностойчивость и прочность форм. Так, из залитых десяти форм разного объёма растрескивание обнаружили у одной в области перехода стояк – чаша. В последующем выявленный недостаток предполагается устранить за счёт увеличения количества облицовочных слоев или введением модификаторов в формовочную смесь (рис. 4) [12].

Проведённый металлографический и микрорентгеноспектральный анализы поперечного шлифа отливки лопатки показали значительное уменьшение (с 60 до 20 мкм) глубины контактной зоны металл-форма, не обнаружено обеднения основными легирующими элементами – алюминием, кобальтом, никелем, хромом, вольфрамом, молибденом, практически не наблюдается дефектов приповерхностного слоя в виде зоны газовой пористости (рис. 5).

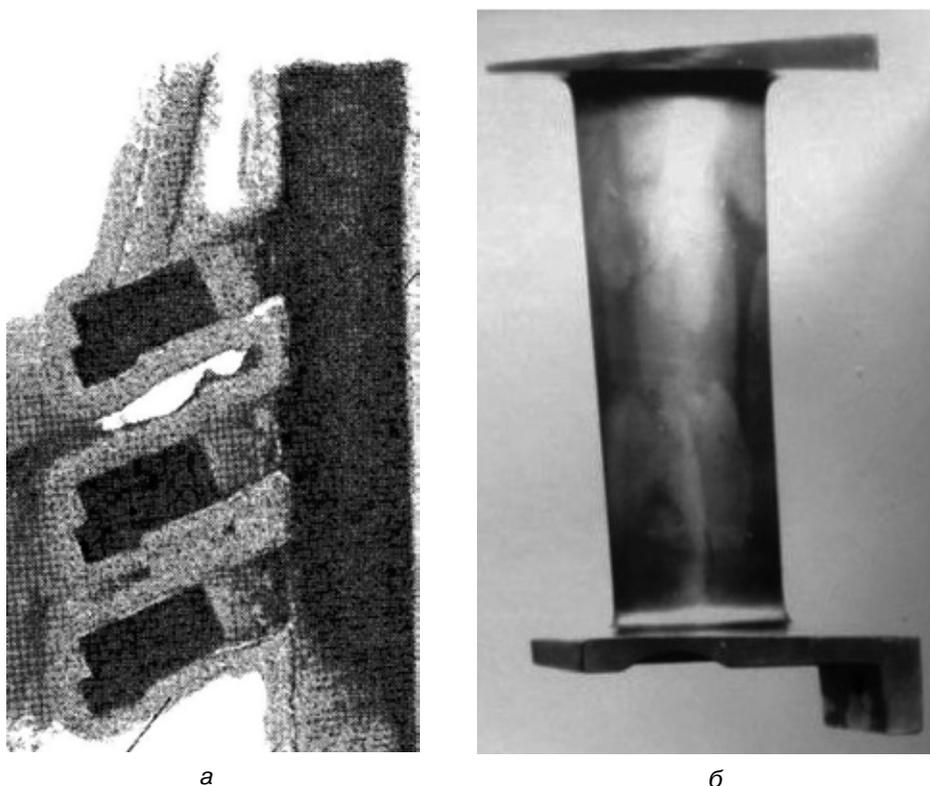
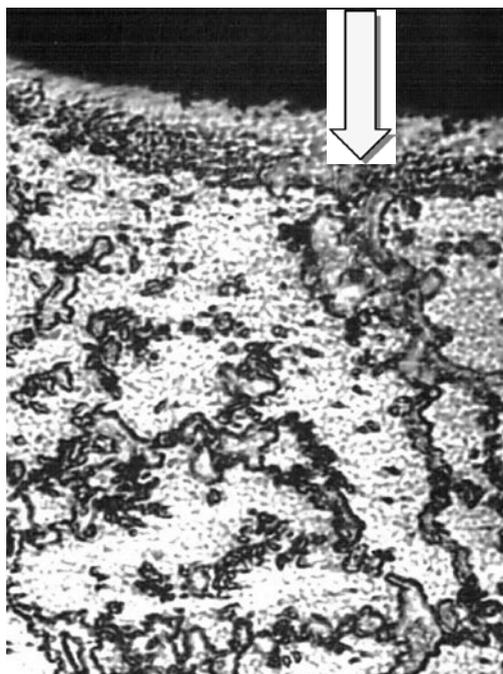
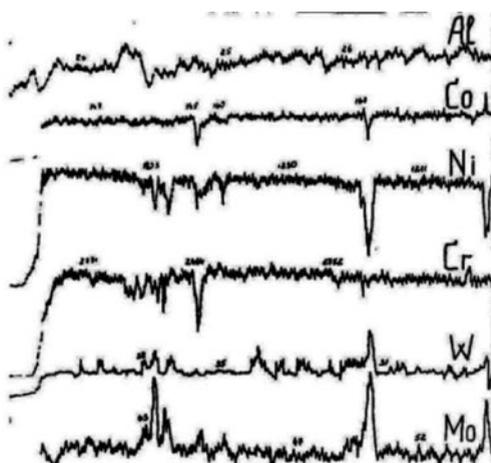


Рис. 4. Опытные образцы, полученные при литье по выжигаемым моделям: а – разрез формы после выжигания ППС-модели; б – лопатка ГТД, полученная литьём по выжигаемым моделям

Определение степени шероховатости опытной партии деталей показало, что она соответствует 4 классу при средней высоте неровностей 22, 4-24,2 мкм.



а



б

Рис. 5. Распределение легирующих элементов вдоль зоны сканирования отливки (МРСА, микроанализатор JXA8600 фирмы JEOL): а – фрагмент микроструктуры литой детали из жаропрочного сплава ЧС 104; б – кривые распределения легирующих элементов

Выводы

• Полученные результаты дают возможность сделать благоприятные выводы о достаточно полном удалении продуктов деструкции ППС-модели, а именно – зольного остатка (сажи) предложенным способом литья по удаляемым моделям методом выжигания, и получить отливку с улучшенной степенью шероховатости в сравнении с данными по аналогичным отливкам, полученным принятым на предприятиях отрасли методом ЛВМ. Сужение и бездефектность контактной зоны металл-форма позволяет снизить затраты на механическую обработку деталей.



Список литературы

1. Шуляк В. С. Литьё по газифицируемым моделям / В. С. Шуляк. – СПб.: НПО «Профессионал», 2007. – 408 с.
2. Шинский О. И. Газогидродинамика и технологии литья железоуглеродистых и цветных сплавов по газифицируемым моделям / О. И. Шинский. – Дис. ... д-ра техн. наук. – Киев, 1997. – 481 с.
3. Тупчиенко В. И. Разработка и внедрение новых направлений процесса литья по растворяемым пенополистироловым моделям / В. И. Тупчиенко. – Дис. ... канд. техн. наук. – Краматорск, 1984. – 224 с.
4. Петров В. В. Теоретические и технологические основы управления свойствами моделей и форм в литье по удаляемым моделям для получения качественных отливок: Автореф. дис. ... д-ра техн. наук. – Комсомольск-на-Амуре, 2002. – 394 с.
5. Мандрик Е. А. Совершенствование метода точного литья по растворяемым пенополистироловым моделям / Е. А. Мандрик, В. И. Тупчиенко, Е. А. Апанасенко // Прогрессивные методы получения отливок. – Нижний Новгород, 1983. – С. 33-35.

Проблемы технологии формы

6. Литьё по выжигаемым моделям: Учебное пособие для студентов специальности 110400 литейное производство чёрных и цветных металлов // Сост. В. М. Григорьев. — Хабаровск: Изд-во Хабар. гос. техн. ун-та, 2002. — 58 с.
7. Пат. UA 91224, МПК В22С 9/02. Способ формовки по разовым моделям. / О. И. Шинский, В. С. Дорошенко, А. В. Нейма. — Опубл. 25.06.2014, Бюл. № 12.
8. Шинский О. И. Кинетика растворения пенополистироловых моделей при способе литья в оболочковые формы / О. И. Шинский, И. И. Максютя, Ю. Г. Квасницкая и др. // Процессы литья, 2014. — № 4. — С. 40-48.
9. Дорошенко В. С. Формовочные процессы с применением термической обработки пенополистирола / В. С. Дорошенко, О. А. Тихонова, В. О. Шинский // Металл и литьё Украины, 2014. — № 10. — С. 23-28.
10. Конотопов В. Улучшение качества отливок, получаемых по пенополистироловым моделям в керамических формах / В. В. Конотопов, С. И. Кулагина, А. Ф. Бойко // Литейн. пр-во. — № 9. — 1988. — С. 34.
11. А. с. 722654, СССР, МКИ В22С Заполнитель микропор поверхн. ППС моделей. В. С. Конотопов, С. И. Кулагина, А. Ф. Бойко. — Опубл. 28.03.1980, Бюл. № 11.
12. Пат. № 82603, Украина, МПК (2006) В22С 9/10 С04В 35/04 (2008.01), С04В 35/10. Суміш для виготовлення ливарних керамічних стрижнів / В. М. Сімановський, Ю. Г. Квасницка, О. И. Шинський, І. І. Максютя, М. О. Сушков, В. Г. Єфімова. — Опубл. 25.04.2008 р, Бюл. № 8.

Поступила 15.03.2015

ВНИМАНИЕ!

Предлагаем разместить в нашем журнале рекламу Вашей продукции или рекламный материал о Вашем предприятии. Редакция также может подготовить заказной номер журнала.

Стоимость заказного номера - 4000 грн.

Расценки на размещение рекламы (цены приведены в гривнях)

Размещение	Рекламная площадь	Стоимость, грн.
Рекламные блоки в текстовой части журнала		
Цветные	1/2 страницы	900
	1/3 страницы	600
	1/4 страницы	300
Черно-белые	1/2 страницы	550
	1/3 страницы	380
	1/4 страницы	200
Цветная реклама на обложке		
Третья страница обложки	1 страница	2800
	1/2 страницы	1400
	1/4 страницы	700
Четвертая страница обложки	1 страница	3100
	1/2 страницы	1550
	1/3 страницы	1000

При повторном размещении рекламы - скидка 15 %

Наш адрес: **Украина, 03680, г. Киев- ГСП. Вернадского, 34/1**

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины

телефоны: (044) 424-04-10, 424-34-50

факс: (044) 424-35-15; E-mail: proclit@ptima.kiev.ua