
ПРОБЛЕМЫ ТЕХНОЛОГИИ ФОРМЫ

УДК 669.245.018:629

О. И. Шинский, д-р техн. наук, проф., зав. отделом

И. И. Максюта, канд. техн. наук, ст. науч. сотр.,

e-mail: inna.maksiuta@ukr.net

Ю. Г. Квасницкая, канд. техн. наук, ст. науч. сотр.

А. В. Нейма, мл. науч. сотр., *e-mail: neima_alex@ukr.net*

Е. В. Михнян, канд. техн. наук, ст. науч. сотр., *e-mail: mixnyan@ukr.net*

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев

ПРИМЕНЕНИЕ «ГОРЯЧЕГО» РАСТВОРЕНИЯ ПЕНОПОЛИСТИРОЛОВЫХ МОДЕЛЕЙ ПРИ ПОЛУЧЕНИИ ОТЛИВОК В ОБОЛОЧКОВЫЕ ФОРМЫ ИЗ КОМПЛЕКСНОМОДИФИЦИРОВАННОЙ КЕРАМИКИ

Приведены результаты исследований путей интенсификации процесса растворения литейных моделей из различных типов пенополистирола способом «горячего» растворения. Установлено влияние термовременных условий проведения процесса для нескольких видов растворителей. Показаны преимущества предложенного метода в сравнении с ЛВМ как для повышения качества поверхности, так и для сокращения временных затрат при получении сложнопрофильных отливок.

Ключевые слова: жаропрочный сплав, керамические формы, пенополистирол, «горячее» растворение, термокинетические параметры, пористость.

Введение, состояние вопроса

Одной из актуальных проблем современной энергетики была и остается на протяжении многих лет задача производства газотурбинных установок (ГТУ) длительного ресурса работы повышенной мощности. Эта проблема требует решения материаловедческих и технологических вопросов, связанных, в том числе, с процессами литья при получении как маломерных, так, особенно, габаритных отливок сопловых и рабочих лопаток турбин. Это связано, прежде всего, со сложностью геометрии лопаток, а именно, с большим количеством поверхностей критического формообразования, что является причиной низкого выхода годной продукции. К сожалению, как показывает научно-патентный анализ работ, проводимых в последние годы специалистами, занимающими лидирующие позиции в отрасли газотурбостроения в нашей стране и за рубежом (НПКГ «Зоря» –

«Машпроект», ОАО «Мотор-Сич», ЗМКБ «Прогресс», Украина; ФГУП «ВИАМ», ФГУП ММПП ВИЛС, ЦНИИТМАШ, ЦКТИ, Россия; концерны Pratt&Whitney, General Electric Co, Teledyne, Rolls-Royce Ltd, США; «INCO», «First Rixson», Великобритания; Martin Marietta Corp., ONERA, Франция), совокупность научных и практических вопросов не нашла на протяжении многих лет оптимального решения.

Констатация производственных данных по статистическому анализу выбраковки таких отливок, полученных традиционной технологией литья в многослойные оболочки с воскодержущими вытапливаемыми моделями (ЛВМ), показывает, что 80 % дисперсии геометрических размеров отливок приходится на долю моделей из-за их недостаточной высокими прочностных характеристик, нестабильности усадки и коробления. Общее количество брака деталей, связанного с нарушением их размерной точности, может быть существенно уменьшено за счет применения литья в оболочковые керамические формы с использованием в качестве материала моделей различного вида полимеров, в том числе, пенополистироловых (ППС) моделей вместо воскодержущих, которые удаляются газифицированием (ЛГМ), растворяются и/или выжигаются.

Успешное использование ППС моделей базируется на стабильно низкой усадке полистирола. Например, 0,67–0,80 % для ППС моделей плотностью 40 кг/м³, в сравнении с 1,0–2,0 % для модельной парафино-стеариновой композиции, которая применяется на отечественных предприятиях в соответствии с технологическими регламентами при получении ответственных деталей методом ЛВМ.

В случае использования ЛГМ-процесса следует учитывать, что для жаропрочных лопаточных сплавов со строго контролируемым низким содержанием углерода 0,01–1,0 % может наблюдаться при заливке расплава насыщение всего объема отливки углеродсодержащими газовыми фракциями. Так, под действием тепловой энергии происходит деструкция пенополистирола с образованием жидкой, твердой и газообразной фаз, соотношение которых зависит от плотности полистирола, его теплофизических констант и температуры расплава [1–2]. Жидкие продукты на границе металл – форма подвергаются дальнейшей деструкции до образования твердых, паро- и газообразных летучих компонентов. Установлено [1], что парообразные продукты включают стирол, толуол и их производные. Твердые частицы представляют собой частички углерода, газообразная фаза состоит из непредельных углеводородов типа C_2H_4 , C_3H_6 , а также из водорода, окиси углерода и азота. Хотя остаточное количество продуктов деструкции незначительно с точки зрения объема модели, но его достаточно, чтобы при формировании литой поверхности отливок из низкоуглеродистых сталей и жаропрочных сплавов могло происходить науглероживание в зоне контакта «отливка–форма» и снижение эксплуатационных характеристик деталей. Кроме того, при температуре заливки металла 1450–1550 °С пенополистирол способен мгновенно увеличиваться в объеме на 25–30 % от первоначального, что может приводить к растрескиванию формы с образованием трещин. Из этого следует, что кинетику объемных трансформаций ППС моделей следует контролировать, чтобы избежать разрушения керамической многослойной оболочки формы.

Проведенным авторами на предварительных этапах комплексом исследований, освещенных в научной литературе, показано, что гарантии прецизионности химического состава по всему объему отливки, отсутствия науглероживания, снижения газонасыщенности поверхности, повышения размерной точности деталей можно достичь при применении литья в оболочковые формы с использованием удаления ППС моделей с помощью предварительного растворения, выжигания либо комбинацией этих методов [3–5]. Совместно с ГП НПКГ «Зоря» – «Машпроект» (г. Николаев, Украина) был решен ряд технических задач, существенно важных для определения технологических границ возможностей применения этого процесса для литых заготовок из марочных жаропрочных сплавов ЧС70, ЧС104, ЧС88-ВИ (ХН57КВЮТМБРЛ-ВИ) [3–7].

При получении отливок литьем по растворяемым моделям, основным фактором оптимальной производительности процесса является скорость растворения ППС моделей. Как показывают собственные исследования и литературные данные, время

Проблемы технологии формы

процесса растворения моделей, особенно крупногабаритных, может исчисляться часами, сдерживая массовое применение рассматриваемого способа [1, 4, 7]. С ростом плотности модели увеличиваются толщины стенок микроячеек, что существенно влияет на продолжительность растворения в целом.

Рассматривая предлагаемые в научной литературе гипотезы механизма растворения, авторы предполагают, что кинетика процесса связана с двумя механизмами перемещения молекул растворителя в полимере – относительно медленная диффузия макромолекул растворителя в полимер и достаточно быстрое капиллярное течение растворителя в пористую структуру материала модели. С этой точки зрения, кроме термических параметров, характеризующих процесс растворения, определяющую роль играет структура полимера литейных моделей [8].

Учитывая вышесказанное, *целью данной работы* авторы выбрали оптимизацию процесса изготовления форм с помощью растворяемых моделей из ППС при получении литых заготовок лопаток ГТД первых ступеней силовой турбины из разработанных во ФТИМС НАН Украины новых жаропрочных коррозионностойких сплавов ЧС104 (Ta+Re) и СМ88У (Ta+Re) с высоким содержанием активных тугоплавких элементов, что требует, в свою очередь, повышения термической и химической стойкости керамической оболочки формы [9].

Экспериментальными и аналитическими задачами являлось определение дополнительных факторов, прежде всего, температурного, а также морфологического строения используемых ППС моделей, интенсифицирующих процесс растворения и приближающих его к технологически приемлемому и экономически перспективному в условиях мелко- и крупносерийного производства. Как важный практический резерв увеличения скорости растворения можно рассматривать также фактор увеличения поверхности реагирования, связанный с плотностью открытых и закрытых пор.

В предыдущих комплексах исследований экспериментально была показана целесообразность выбора в качестве материала модели крупногабаритных отливок (350–700 мм) экструдированного ППС повышенной плотности (30–35 кг/м³), например, марки StyrodurC (Германия), обеспечивающего уровень прочности на сжатие при 10 % линейной деформации, МПа до 0,30–0,50, что в 3–5 раз превышает прочность ППС блочного типа, в частности, ПСБ-35, с общей открытой пористостью 37–40 % [4–7] (табл. 1). Кроме того, экструдированный ППС, благодаря

Таблица 1
Характеристики разных типов пенополистирола

Характеристики	Вид пенополистирола, марка					
	блочный, марки		литейный, марки	экструдированный, марки		
	ПСБ-25	ПСБ-35		Carbon solid 500	4000 CS	Carbon solid 700
Плотность, кг/м ³	15–25	25–35	25–30	не менее 36	35	не менее 50
Средний размер гранул, мм	3–3,5	2–2,5	–	–	–	–
Количество гранул на единицу площади поверхности (3,6 см ²), шт.	40–45	80–85	–	–	–	–
Прочность на сжатие при 10%-ой линейной деформации, МПа	0,05	0,10	0,28	0,16	0,50	0,70

плотной структуре, обеспечивает большую жесткость и пониженную шероховатость на уровне $R_a = 0,6-1,0$ мкм элементов модели. Определены корреляции скорости процессов растворения при комнатной температуре для различных химических субстанций – растворителей в зависимости от морфологии пористой структуры с учетом соотношения величины открытой и закрытой пористости, диаметра пор.

Для маломерных отливок было установлено, что с учетом макро- и микроструктурных особенностей строения гранул (рис. 1, а, б), количеством закрытых и открытых пор, прочностные характеристики ПСБ-25 (блочный тип) обеспечивают технологичность моделей для отливки определенной конфигурации (II-ая ступень ГТД ДН-80, сопловая лопатка из сплава марки ЧС104, рабочая лопатка из сплава СМ88У). При этом кинетические параметры процесса растворения, а именно, скорость растворения, были определены также в зависимости от объема, конфигурации модели, расходного коэффициента использования растворителей различных типов, учета степени токсичности ПДК, мг/м³ [7, 10].

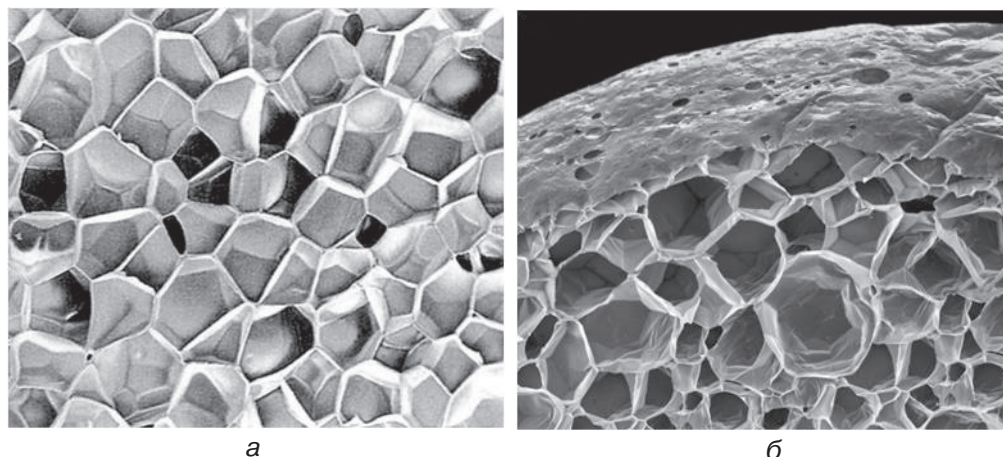


Рис.1. Структура применяемых типов пенополистирола: а – экструдированного, $\times 25$; б – блочного, $\times 25$

Результаты экспериментов. Как наиболее значимый из факторов повышения кинетических характеристик процесса растворения, был испытан подогрев растворителей, так называемое «горячее» растворение. Исходя из проведенных ранее экспериментов, физических и эксплуатационных характеристик материалов (табл. 2), для определения термокинетических характеристик процесса были отобраны такие растворители, как технический скипидар и растворитель № 646 на основе толуола. Исследовали влияние температуры растворителей на скорость растворения пенополистирола на образцах объемом 34 и 103 см³, полученных из двух типов ППС: блочного пенополистирола марки ПСБ-25 (EPS-EN13163) по ДСТУ Б EN 13163-2013 плотностью 25 кг/м³ и более прочного (см. табл. 1) экструдированного ППС марки 4000 CS (XPS СТО 72746455-3.3.1-2012) плотностью 35 кг/м³, имеющего однородную структуру из закрытых герметических ячеек и практически отсутствием макропор. Температура растворителей, при условии учета температуры вспышки, составила 18, 20, 30 и 35 °С. Методика проведения экспериментов подробно описана в работах [4, 7, 10].

В процессе анализа результатов экспериментов использовали физическую модель, согласно которой считается, что механизм растворения пенополистирола заключается в проникновении молекул жидкости в пространство между макромолекулами полимера по принципу взаимодиффузии веществ [11].

При этом с момента контакта растворителя со стирольной основой полимера начинают разрушаться связи между макромолекулами и происходит их диффузия

Сравнительная характеристика ряда растворителей

Наименование и химическая формула	Молекулярная масса	Плотность, г/см ³	Температура вспышки, °С	Температура кипения, °С	ПДК, мг/м ³	Летучесть по этиловому эфиру, %
Ацетон CH ₃ COCH ₃	58,08	0,79	-18	56,1	200	2,1
Декалин C ₁₀ H ₁₈	138,25	0,87	-40	185,5	100	175
Этанол C ₂ H ₅ OH	46	0,79	13	78,4	1000	8,3
Скипидар живичный C ₁₀ H ₁₆	136	0,85–0,86	34	160	300	–
Тетралин C ₁₀ H ₁₂	132,21	0,97	71,1	207,6	100	190
Уайт-спирит	–	0,77	33–36	147–200	300	40–60
№ 646 (основа толуол)	–	0,87	6	59	150	8–15

в объем растворителя. Макромолекулярные звенья (кластеры) полимера при этом отделяются друг от друга и в дальнейшем, не разрушаясь, перемещаются в фазу растворителя, не вступая с ним в химическое взаимодействие. Механизм такого взаимоперемешивания веществ подчиняется известным законам диффузии и может быть описан, в частности, уравнениями Фика [11]:

$$Q = D \frac{dc}{dx}, \quad (1)$$

где Q – поток вещества, диффундирующего в направлении x (количество растворителя, прошедшего за единицу времени через единицу площади сечения перпендикулярно x); D – коэффициент пропорциональности, характеризующий интенсивность потока вещества как функцию изменения его объемной доли, то есть интенсивность растворения.

При $\tau \neq 0$ диффузный процесс переходит в нестационарное состояние, отражающее нелинейность изменения концентрации вещества, а следовательно, и его поток. Это состояние описывается вторым уравнением Фика, которое выражает изменение объемной доли вещества в разных точках пространства как функцию времени.

Исходя из условий неразрывности потока:

$$\frac{\partial Q}{\partial x} = \frac{\partial c}{\partial \tau} D \frac{\partial^2 c}{\partial x^2}. \quad (2)$$

Согласно этому предположению, зная количество растворителя, затраченного на растворение данного образца за время τ , можно определить коэффициент диффузии. Однако необходимо учитывать, что такая зависимость справедлива лишь для стационарных систем, когда изменение концентрации идет по линейному закону. В реальных квазистационарных условиях концентрация растворителя, от которой зависит диффузия, является функцией многих параметров, в частности, изменяющейся температурной кривой при «горячем» растворении в отсутствие

термостата. Это делает невозможным получить точные решения уравнений Фика в реальных условиях, поэтому коэффициент диффузии, по возможности, определяют на основании экспериментальных данных.

Ранее проведенные авторами эксперименты показали [4, 10], что особенности растворения блочного ППС заключаются в том, что на начальной стадии растворения жидкость проникает во множественные открытые поры и наблюдается некоторая степень разряжения в гранулах ППС. Это вызывает изменение объема образца в целом при всасывании растворителя в объем гранул до полного их распада на отдельные ячейки и разрушение стирольных стенок ячеек, сопровождающееся на последнем этапе супербыстрым распадом пенополистирола. Растворение экструдированного ППС с плотной микроструктурой и практически отсутствием макропор тормозит проникновение растворителя и происходит с постепенным уменьшением объема модели без распада на отдельные гранулы, что увеличивает время растворения по сравнению с блочным.

Аналогичные результаты были получены при исследовании термокинетических характеристик процесса растворения пенополистирола нескольких типов (рис. 2, 3), которые показали снижение скорости растворения образцов из экструдированного ППС в среднем в 20–30 раз по сравнению с блочным ППС. Особенно существенно это проявляется при использовании технического скипидара, где время растворения образцов из разных типов ППС отличается в десятки раз и является технологически неприемлемым. Так при $t = 18\text{ }^{\circ}\text{C}$ образец из блочного ППС объемом 34 см^3 растворяется в техническом скипидаре за 1 мин, а аналогичный образец из экструдированного ППС за 30 мин. Растворитель № 646 значительно эффективнее технического скипидара, однако он и более токсичен (см. табл. 2).

Как видно из рис. 2, 3, с ростом температуры подогрева растворителя, скорость растворения ППС обоих типов стремительно увеличивается в несколько раз. Так, подогретый до $35\text{ }^{\circ}\text{C}$ технический скипидар растворяет образцы разных объемов из блочного ППС (ПСБ-25) в 2,5–3 раза быстрее, чем при комнатной температуре ($t = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$).

Применение операции подогрева растворителей, как интенсифицирующего фактора процесса растворения, способствует росту производительности операции удаления моделей из керамической оболочки. Следует особо отметить, что применение более эффективных «горячих» растворителей становится возможным только при условии использования разработанных во ФТИМС НАН Украины более термо- и химически стойких комплексномодифицированных оболочковых форм [9]. Это объясняется тем, что агрессивная химическая среда при повышенной температуре может приводить к выкрашиванию микрочастиц керамики и дальнейшему загрязнению контактного слоя отливки неметаллическими частицами.

Скорость процесса растворения ППС также зависит от морфологии пористой структуры модели: распределения пор по размерам, соотношения величины открытой и закрытой пористости. Проведенные исследования показали, что наименьшая открытая пористость (суммарно до $17\text{ мм}^3/\text{г}$) наблюдается у ПСБ-35, при этом общая открытая пористость составляет 37–40 %. Наибольший объем приходится на поры диаметром от 4000 нм. В образцах ПСБ-25 открытая пористость составляет в среднем $300\text{ мм}^3/\text{г}$, а общая открытая пористость – свыше 50 %, что позволяет предполагать значительно большую скорость растворения модели. С другой стороны, у моделей, полученных из экструдированного ППС, практически отсутствуют макропоры, что в свою очередь значительно замедляет процесс растворения. При растворении таких моделей необходимо применять факторы, интенсифицирующие этот процесс, например, использовать «горячее» растворение, а также увеличение площади реагирования модели с растворителем путем получения технологических полостей в теле модели.

С целью дальнейшей корректировки режимов технологического процесса для повышения чистоты поверхности получаемых отливок исследовали возможность



а

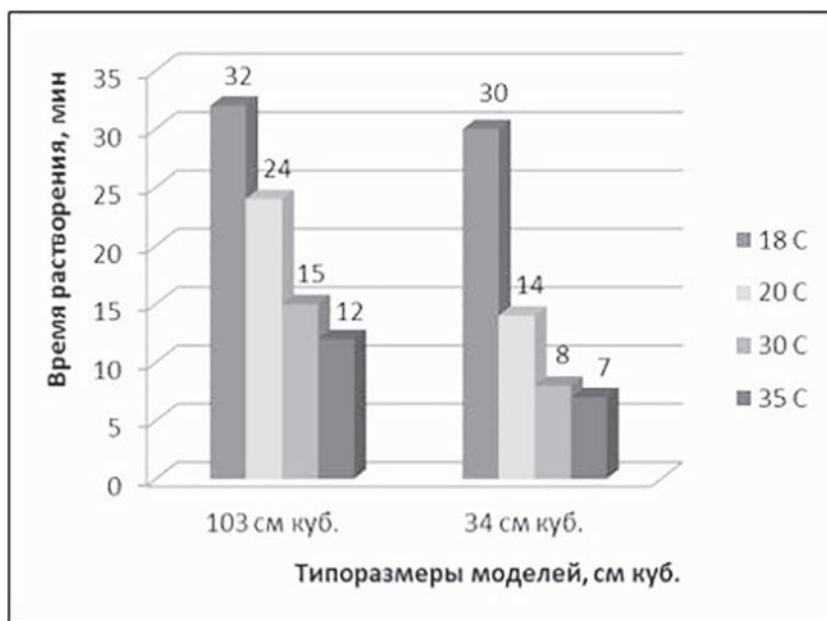


б

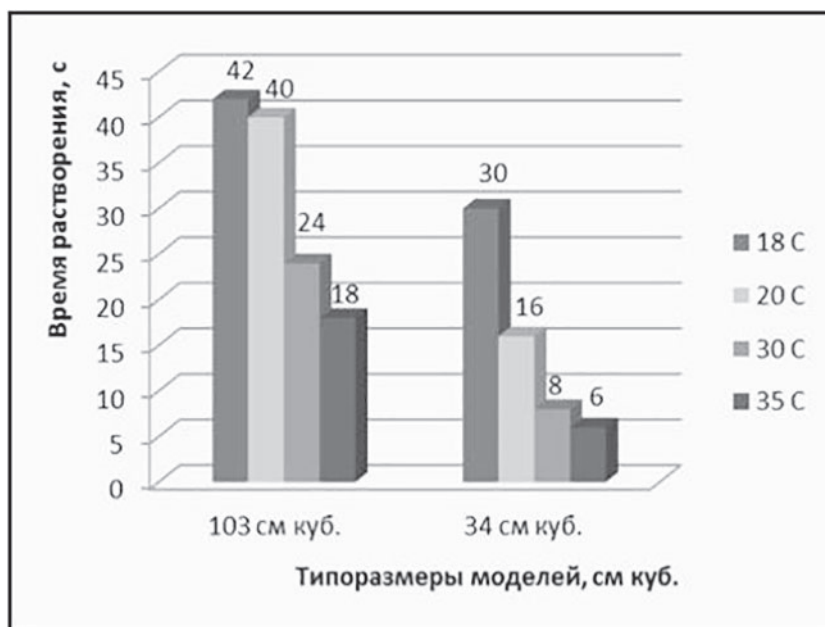
Рис. 2. Зависимость времени растворения моделей из блочного ППС ($\rho = 25 \text{ кг/м}^3$) от температуры растворителя: а – технический скипидар; б – растворитель № 646

улучшения поверхности ППС моделей нанесением тонкого слоя легкоплавкого модельного воскодержающего состава, то есть комбинированием способов ЛВМ и растворения. Рецептура и свойства широко используемых на предприятиях отрасли основных воскоподобных материалов приведены в табл. 3.

Для обеспечения требуемой чистоты поверхности керамической оболочки формы, а соответственно, и литой детали, были испытаны три вида покрытий: модели лопаток погружали в расплавленный парафин марки Т-1 (СТО 00148636-004-2007), а также в воскоподобную модельную массу «Велен 1» и 3%-й раствор канифоли в спирте. Погружали три раза с выдержкой 5 мин для высыхания. При этом на поверхности модели оседает слой покрытия толщиной 0,2–0,7 мм, что обеспечивает гарантированный припуск на механическую обработку деталей и снижает их шероховатость.



а



б

Рис. 3. Зависимость времени растворения моделей из экструдированного ППС ($\rho = 35 \text{ кг/м}^3$) от температуры растворителя: а – технический скипидар; б – растворитель № 646

При проектировании пресс-форм необходимо учитывать изменение геометрии деталей на эти величины. По полученным моделям с нанесенным покрытием были изготовлены оболочковые формы на основе электрокорунда, модифицированного порошками алюминия и кремния. На первом этапе проводили заливку «горячего» растворителя (35 °C) в полость формы с последующей деструкцией (растворением) материала модели. Гелеобразные продукты растворения выливаются вместе с остатками растворителя из полости формы и отправляются на переработку. На

Рецептура и свойства используемых воскоподобных материалов

Наименование компонентов и показатели свойств модельных составов	Условные обозначения модельных составов						
	В5-МТ	В-5	ПС	ПСЭ	Р-3	ВИАМ-102	ИПЛ
	Содержание компонентов в модельных составах, %						
Парафин, марка Т1	30	25	50	48,5	58	20	45
Стеарин	–	–	50	48,5	–	–	–
Этилцеллюлоза	–	–	–	3,0	–	–	–
Буроугольный воск	45	35–45	–	–	13	50	40
Церезин синтетический	14	–	–	–	24	–	–
Торфяной воск	–	–	–	–	–	25	–
Триэтаноламин	–	5	–	–	–	5	–
Пушечная смазка	–	–	–	–	–	–	15
Буроугольная смола	11	25–35	–	–	–	–	–
физико-механические свойства модельных составов							
Температура каплепадения, °С	–	–	47	50	76	80	82
Линейная усадка, %	0,8–1,0	0,8–1,15	0,8–1,2	0,8–1,2	0,9–1,2	0,9–1,3	0,9–1,5
Коэффициент термического расширения, град ⁻¹ ×10 ³	–	–	47	42	25	48	32
Предел прочности при изгибе, кг/см ²	50	50	18	28	32	38–40	41
Теплоустойчивость, °С	44	38	35	38	38	40	39
Зольность, %	0,2	0,2	0,05	0,05	0,05	0,25	0,12

втором этапе вытапливается ранее нанесенное покрытие с оставшимися на нем продуктами растворения ППС.

Анализ результатов проведенных исследований показал, что повышение температуры обоих растворителей при растворении образцов разных объемов из блочного ППС с 20 до 35 °С увеличил скорость растворения в 2,5–3,0 раза, а для образцов из экструдированного – в 3,0–3,5. Такие показатели позволяют сократить время проведения операции изготовления многослойных форм на 10–15 % при снижении брака отливок по короблению в сравнении со способом ЛВМ на 5–8 %.

Кроме того, нанесение опробованных покрытий снижает до минимума смачиваемость облицовочного керамического слоя форм гелеобразными продуктами деструкции ППС, защищая внутреннюю полость оболочки. Такое барьерное покрытие обеспечивает требуемое регламентными документами качество поверхности отливок – $Ra = 1,6–3,2$ мкм для форм, изготовленных по удаляемым ППС моделям.

Список литературы

1. Шуляк В. С. Литье по газифицируемым моделям. – 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. Шинский О. И. Особенности применения растворяемых пенополистироловых моделей

- для получения сложнопрофильных деталей ГТД / О. И. Шинский, И. И. Максютя, А. В. Нейма // *Металл и литье Украины*. – 2013. – № 9. – С. 14–18.
4. Шинский О. И. Применение растворяемых пенополистироловых моделей при получении литых деталей газотурбинных установок / О. И. Шинский, И. И. Максютя, Ю. Г. Квасницкая, А. В. Нейма, Е. В. Михнян // *Литье и металлургия*. – 2016. – № 1. – С. 46–52.
 5. Шинский О. И. Получение сложно-профильных деталей комбинированным способом литья по выплавляемым и выжигаемым моделям / О. И. Шинский, И. И. Максютя, Ю. Г. Квасницкая, Е. В. Михнян, А. В. Нейма // *Там же*. – 2016. – №3. – С. 31–37.
 6. Симановский В. М. Разработка нового технологического процесса получения оболочковых керамических форм по удаляемым моделям / В. М. Симановский, И. И. Максютя, Ю. Г. Квасницкая, Ю. Ф. Аникин // *Процессы литья*. – 2006. – № 4. – С. 66–71.
 7. Шинский О. И. Получение деталей ГТД в оболочковых формах с растворяемыми моделями / О. И. Шинский, И. И. Максютя, А. В. Нейма, Ю. Г. Квасницкая, Е. В. Михнян // *Литейное производство*. – 2015. – № 5. – С. 19–25.
 8. Квон Св. С. Исследование структуры пенополистирола при литье по газифицируемым моделям / Св. С. Квон, В. Ю. Куликов, А. З. Исагулов, С. К. Аринова, Т. В. Ковалева // *Там же*. – 2017. – № 7. – С. 18–20.
 9. Максютя И. И. Взаимодействие компонентов в системе «оксид–модификаторы» в корундовой формовочной керамике для деталей с ориентированной структурой / И. И. Максютя, Ю. Г. Квасницкая, А. М. Верховлюк, Е. В. Михнян, Ю. Н. Левченко // *Металл и литье Украины*. – 2017. – № 8–10. – С. 31–37.
 10. Шинский О. И. Кинетика растворения пенополистироловых моделей при способе литья в оболочковые формы / О. И. Шинский, И. И. Максютя, Ю. Г. Квасницкая, А. В. Нейма, Е. В. Михнян // *Процессы литья*. – 2014. – № 4. – С. 40–48.
 11. Алексеев Г. Н. *Общая теплотехника*. – М.: Высшая школа, 1980. – 552 с.

Поступила 25.09.2018

References

1. Shuljak, V.S. (2007). Casting on gasified models. St. Petersburg: Professional [in Russian].
2. Shinskij, O.I. (1997) Gas-hydrodynamics and casting technologies of iron-carbon and non-ferrous alloys in gasified models. Diss. dokt. tekhn.nauk. Kiev, 481 p.
3. Shinskij, O.I., Maksjuta, I.I., Nejma, A.V. (2013) Features of the application of soluble cellular polystyrene models for getting complex GTE parts. *Metall i lit'e Ukrainy*, Vol. 9, pp. 14–18 [in Ukrainian].
4. Shinskij, O.I., Maksjuta, I.I., Kvasnitskaia, Yu.H., Nejma, A.V. & Mihnian, E.V. (2016) The use of soluble foam polystyrene models for the production of cast parts of gas turbine plants. *Lit'e i metallurgija*, Vol. 1, pp. 46–52 [in Belarus].
5. Shinskij, O.I., Maksjuta, I.I., Kvasnitskaia, Yu.H., Mihnian, E.V. & Nejma A.V. (2016) The production of complex profile details by combined method of lost-wax casting and of consumable pattern models. *Lit'e i metallurgija*, Vol. 3, pp. 31–37 [in Belarus].
6. Simanovskij, V.M., Maksjuta, I.I., Kvasnitskaia, Yu.H. & Anikin, Yu. F. (2006) Development of a new technological process for obtaining shell ceramic molds for deleted models. *Processy lit'ja*, Vol. 4, pp. 66–71 [in Ukrainian].
7. Shinskij, O.I., Maksjuta, I.I., Nejma, A.V., Kvasnitskaia, Yu.H. & Mihnian, E.V. (2015) The technological problems of getting GTE parts in shell molds with dissolved models. *Litejnoe proizvodstvo*, Vol. 5, pp. 19–25 [in Russian].
8. Kvon, Sv.S., Kulikov, V.Yu., Isagulov, A.Z., Arinova, S.K., Kovaleva, T.V. (2017) Examination of polystyrene foam in the gasifiable pattern casting. *Litejnoe proizvodstvo*, Vol. 7, pp. 18–20 [in Russian].
9. Maksjuta, I.I., Kvasnytska, Yu.H., Verhovliuk, A.M., Mihnian, O.V. & Levchenko, Yu.N. (2017) Interaction of components in the system «oxide-modifiers» in corundum molding ceramics for details with an oriented structure. *Metall i lit'e Ukrainy*, Vol. 8–10, pp. 31–37. [in Ukrainian].
10. Shinski, O.I., Maksjuta, I.I., Kvasnitskaia, Yu.H., Nejma, A.V. & Mihnian, E.V. (2014) Dissolution kinetics of polystyrene models for the method of casting in shell molds. *Processy lit'ja*, Vol. 4, pp. 40–48 [in Ukrainian].
11. Alekseev, G.N. (1980) *General heat engineering*. Moscow: Vysshaja shkola [in Russian].

Received 25.09.2019

О. Й. ШИНСЬКИЙ, д-р техн. наук, проф., зав. відділом

І. І. МАКСЮТА, канд. техн. наук, ст. наук. співр., e-mail: inna.maksiuta@ukr.net

Ю. Г. КВАСНИЦЬКА, канд. техн. наук, ст. наук. співр.

О. В. НЕЙМА, мол. наук. співр., e-mail: neima_alex@ukr.net

О. В. МИХНЯН, канд. техн. наук, ст. наук. співр., e-mail: mixnyan@ukr.net

Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України, Київ

ЗАСТОСУВАННЯ «ГАРЯЧОГО» РОЗЧИНЕННЯ ПІНОПОЛІСТИРОЛОВИХ МОДЕЛЕЙ ПРИ ОТРИМАННІ ВИЛИВКІВ В ОБОЛОНКОВІ ФОРМИ З КОМПЛЕКСНОМОДИФІКОВАНОЇ КЕРАМІКИ

Наведено результати досліджень шляхів інтенсифікації процесу розчинення ливарних моделей з різних типів пінополістиролу способом «гарячого» розчинення. Встановлено вплив термочасових умов проведення процесу для декількох видів розчинників. Показано переваги запропонованого методу в порівнянні з ЛВМ як для підвищення якості поверхні, так і для скорочення витрат часу при отриманні складно-профільних виливків.

Ключові слова: жароміцний сплав, керамічні форми, пінополістирол, «гаряче» розчинення, термокінетичні параметри, пористість.

O. I. SHINSKY, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Head of Department

I. I. MAKSIUTA, Candidate of Engineering Sciences, Senior Research Officer,
e-mail: inna.maksiuta@ukr.net

YU. G. KVASNITSKAYA, Candidate of Engineering Sciences, Senior Research Officer

A. V. NEIMA, Research Assistant, e-mail: neima_alex@ukr.net

E. V. MYKHNIAN, Candidate of Engineering Sciences, Senior Research Officer,
e-mail: mixnyan@ukr.net

Physico-Technological Institute of Metals and Alloys NAS of Ukraine, Kiev

APPLICATION OF «HOT» DISSOLUTION OF POLYSTYRENE MODELS IN THE PRODUCTION OF CASTINGS IN SHELL-SHAPED FORMS FROM COMPLEX-MODIFIED CERAMICS

The results of investigations of ways of intensifying the process of dissolution of casting models from different types of expanded polystyrene by the method of «hot» dissolution are given. The influence of the thermo-temporal conditions of the process for several kinds of solvents is established. Advantages of the proposed method are shown in comparison with investment casting for both the improvement of surface quality and the reduction of time costs in obtaining complex-shaped castings

Keywords: heat-resisting alloy, ceramic mold, polystyrene, «hot» dissolution, thermo kinetic parameters, porosity.