

5. Акимов, О. В. Проблемы обеспечения качества отливок малоразмерных колес турбин турбокомпрессоров для наддува ДВС. (Часть 1. Рабочие характеристики.) / О. В. Акимов, В. А. Петросянц, В. А. Солошенко // Вестн. Харьков. политехн. ун-та. – 1999. – Вып.30. – С. 48 - 51

6. Акимов, О. В. Проблемы обеспечения качества отливок малоразмерных колес турбин турбокомпрессоров для наддува ДВС. (Часть 2. Прочностные характеристики.) / О. В. Акимов, В. А. Петросянц, В. А. Солошенко // Вестн. Харьков. политехн. ун-та. – 1999. – Вып.46. – С. 46 - 50

7. Акимов, О. В. Анализ погрешностей формообразования отливок колес турбин турбокомпрессоров для наддува ДВС на этапе изготовления их восковых моделей / О. В. Акимов, В. А. Солошенко // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2003. – №3. – С. 11 – 18

8. Акимов, О. В. Применение методов компьютерно-интегрированного ресурсного проектирования к литым деталям ДВС по критерию эксплуатационных характеристик на примере колеса турбины турбокомпрессора / О. В. Акимов, А. П. Марченко, В. А. Петросянц // Вісн. нац. техн. уні-ту «ХПІ». – 2008. – №9. – С. 3 – 15.

9. Дёмин, Д. А. Обработка экспериментальных данных и построение математической модели технологического процесса методом наименьших квадратов (МНК) / Д. А. Дёмин // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2006. – №3/1. – С. 47 – 50.

10. Дёмин, Д. А. Оптимизация технологических режимов / Д. А. Дёмин // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2006. – №2/1(20). – С. 32 – 35.

11. Ресурсосберегающие технологии в литейном производстве: справочное пособие / Д. А. Дёмин, Е. Б. Дёмина, О.В. Акимов и др.; под общ. Ред. Д. А. Дёмина. – 1 изд. – Х.: Технолог. центр, 2012. – 320 с.

Поступила в редакцию 16.10.13

¹Б. П. Таран, канд. техн. наук

¹В. В. Малахов

¹К. О. Молодов

e-mail: molodov2009@yandex.ru

¹Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна

УДК 621.74

ПРОЕКТИРОВАНИЕ КОКИЛЯ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОТВЕТСТВЕННЫХ СЛОЖНОПРОФИЛЬНЫХ ЛИТЫХ ДЕТАЛЕЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ

Ключові слова: енергетичне машинобудування, прототипування, кокіль, розмірний ланцюг

Анотація. *Описаний приклад застосування комплексного підходу до проектування оснащення для виготовлення відповідальних складнопрофільних литих деталей енергетичного машинобудування: моделей, стрижневих ящиків, кокілів. Показано, що застосування методів оптимізації припусків на основі побудови та аналізу розмірних ланцюгів для проектування робочої порожнини кокіля в поєднанні з технологією швидкого прототипування забезпечують можливість отримання високоякісних відповідальних литих деталей. Наведено результати експериментальних досліджень термостійкості кокілів зі вставками з псевдославу Fe - Si.*

Введение

На современном этапе развития энергетического машиностроения часто возникают проблемы создания гибких технологических процессов производства деталей и машин с целью получения готовых узлов и механизмов в кратчайшие сроки. Для производства литых деталей сложной конфигурации с внутренними полостями требуется проектирование и изготовление модельной оснастки, включающие как саму модель, так и стержневые ящики. Выполнение такой работы осуществляется с использованием сложных процессов механической обработки и точной лекальной доводки, что ведет к большому материальным и финансовым затратам, а самое главное к длительности выполнения данных работ. В этой связи представляет практический интерес использование современного метода быстрого прототипирования, позволяющего по заранее спроектированной 3D – модели выращивать с помощью установок лазерного спекания из фотополимерной смолы готовые модели.

Анализ литературных данных и постановка проблемы

Технология быстрого прототипирования Rapid Prototyping быстро получила признание среди конструкторов и технологов, занимающихся вопросами разработки литейной оснастки [1]. Внедрение

© Б. П. Таран, В. В. Малахов, К. О. Молодов, 2013

данной технологии в процесс конструкторско-технологической подготовки производства потребовал решения ряда вопросов, которым до сих пор уделялось незаслуженно мало внимания, в частности вопросов оптимизации припусков на механическую обработку на основе построения и исследования размерных цепей [2]. Такая оптимизация составляет суть аналитического расчета припусков и позволяет эффективно решать ряд вопросов не только по экономичности процесса получения заготовок для сложнопрофильных деталей машиностроительного назначения [3 – 8], но и повышения надежности металлорежущего оборудования, зависящего, в том числе, от геометрической точности отливок [9]. Авторами работы [10] предложен модельный модуль, который можно использовать как в качестве стержневого ящика, так и в качестве модели. Для этого согласно имеющемуся чертежу детали изготавливается пустотелая модель с профилем и толщиной стенки, соответствующей будущей отливке. Для фиксации стержней в форме предусмотрены съемные дополнительные элементы - вставки, позволяющие отказаться от знаковых частей, что дает дополнительную экономию металла. Применение такого модуля обеспечивает возможность снижения дефектов по несоответствию геометрии литых деталей и повышению их размерной точности. С точки зрения обеспечения остальных показателей качества литых деталей следует отметить, что сочетание технологии быстрого прототипирования с выбором оптимального по обеспечению заданного комплекса свойств сплава позволяет получать качественную конкурентоспособную продукцию. При этом многие исследователи склоняются к использованию технологии кокильного литья и применению композиционных материалов [11, 12]. Поэтому актуальной можно считать задачу комплексного подхода к формированию компонентов технологического обеспечения изготовления литых деталей: обоснование конструктивных особенностей унифицированных модулей для изготовления оснастки методами быстрого прототипирования, выбор рациональных режимов изготовления литых деталей в кокилях и режимов термической обработки, а также исследования формирования свойств литых деталей из композиционных материалов.

Особенности проектирования унифицированных модулей литейной оснастки

В процессе проектирования модельного модуля особое внимание следует уделять определению точности размеров модели и стержневого ящика и их взаимной увязки. Расчеты размерных цепей необходимы в процессе подготовки производства, при конструировании оснастки и в период разработки технологического процесса. Все эти аспекты целесообразно рассмотреть подробнее на основе практического примера – проектирования реального модуля «модель – стержневой ящик». Данный модуль представлен на рис. 1.

Элементами размерной цепи являются все составляющие размеры, оказывающие влияние на формирование размера замыкающего звена, размерная цепь начинается от базы, которой в данном случае является ось отверстия (рис. 2, 3).

В данных размерных цепях A_2 и B_2 являются величинами усадки фотополимерного стержня и заливаемого металла, остальные звенья – размеры соответствующих частей детали, A_Σ и B_Σ – размеры замыкающих звеньев, подлежащие расчету. В качестве методики расчета выбран метод, изложенный в работах [8, 12]. Уравнение размерной цепи для звеньев категории А выглядит следующим образом: $A_\Sigma = A_1 + A_2 + A_4 + A_5 + A_6 + A_7 + A_8 + A_9 + A_{10} + A_{11} + A_{12} - A_3$ (рис. 4), соответственно для звеньев В: $B_\Sigma = B_1 + B_2 + B_4 + B_5 + B_6 + B_7 - B_3$. Расчет по (1) – (12) получено: $ПМО_A = 1.5 + 0.12 = 1.62$ мм, $ПМО_B = 1.5 - 0.09 = 1.41$ мм.

При расчете размерных цепей для внутренней полости отливки (стержня) получены следующие отклонения: $ВО_A = +0.11$ мм;

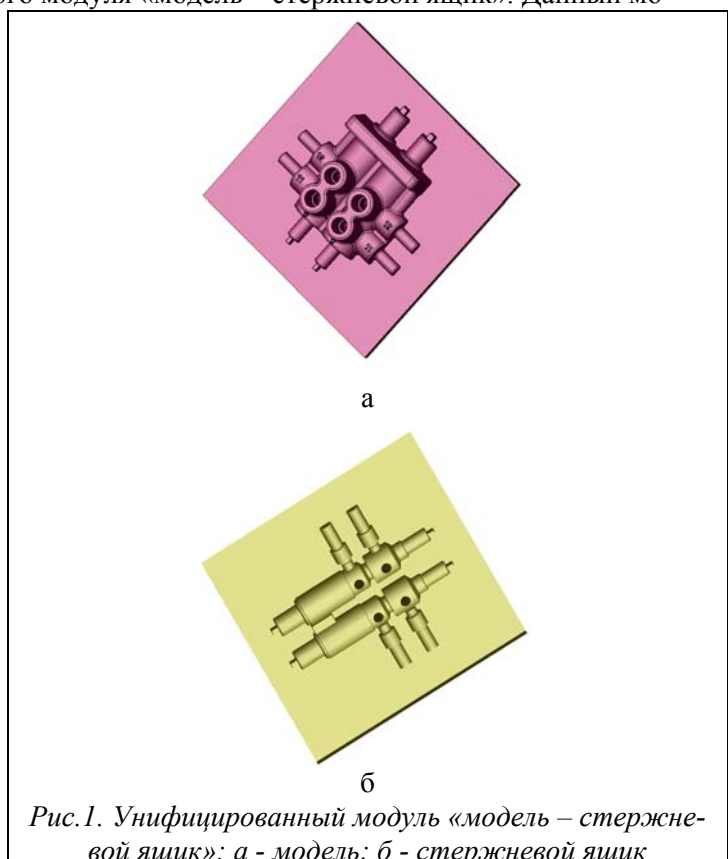


Рис. 1. Унифицированный модуль «модель – стержневой ящик»: а - модель; б - стержневой ящик

$HO_A = -0.12$ мм; $BO_B = +0.31$ мм; $HO_B = +0.09$ мм, что указывает на точность изделия. Внутренняя часть отливки формируется стержнем, наружная – контурами модели. За базу расчета размерных цепей также выбрано отверстие, выполненное с помощью стержня. Расчет цепей Б и Г производится аналогично расчетам по А и В с учетом того, что B_2 и Γ_2 – усадка фотополимерной модели и заливаемого металла.

Расчетом установлено, что $PMO_B = 1.5 + 0.07 = 1.57$ мм, $PMO_\Gamma = 1.5 - 0.06 = 1.44$ мм. Отклонения размеров модели: $BO_B = +0.16$ мм; $HO_B = -0.07$ мм; $BO_\Gamma = +0.19$ мм; $HO_\Gamma = +0.06$ мм.

Найденные ПМО свидетельствуют о том, что выполненная модельная оснастка по точности и шероховатости поверхностей не отличается от отливок по выплавляемым, выжигаемым и газифицируемым моделям.

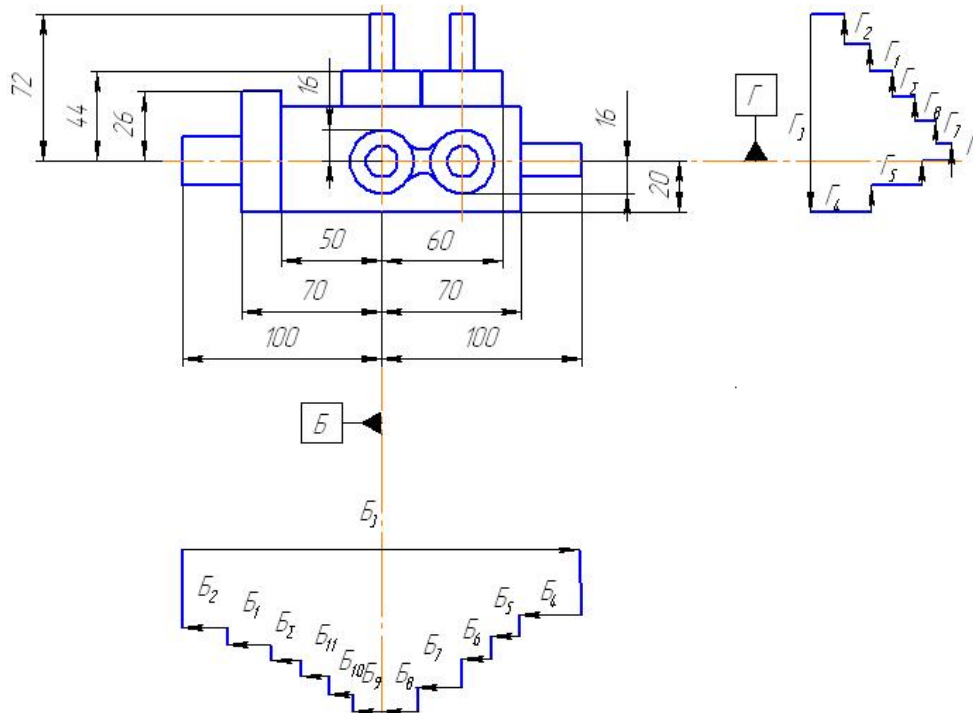


Рис. 2. Модель модельного модуля и формирование размерной цепи

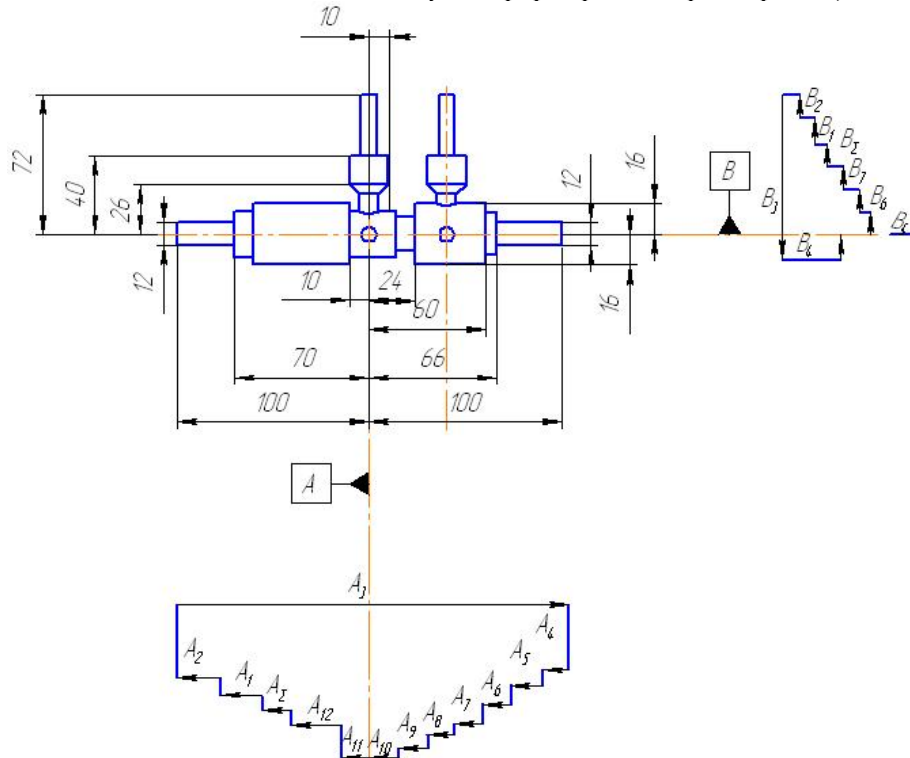


Рис. 3. Стержневой ящик модельного модуля и формирование размерной цепи

Проектирование кокиля и экспериментальные исследования термостойкости сплава кокиля – псевдосплава Fe-Cu

Результаты расчетов размерных цепей и определение оптимальных припусков позволили спроектировать рабочую полость кокиля и с учетом этого спроектировать сам кокиль (рис. 4).

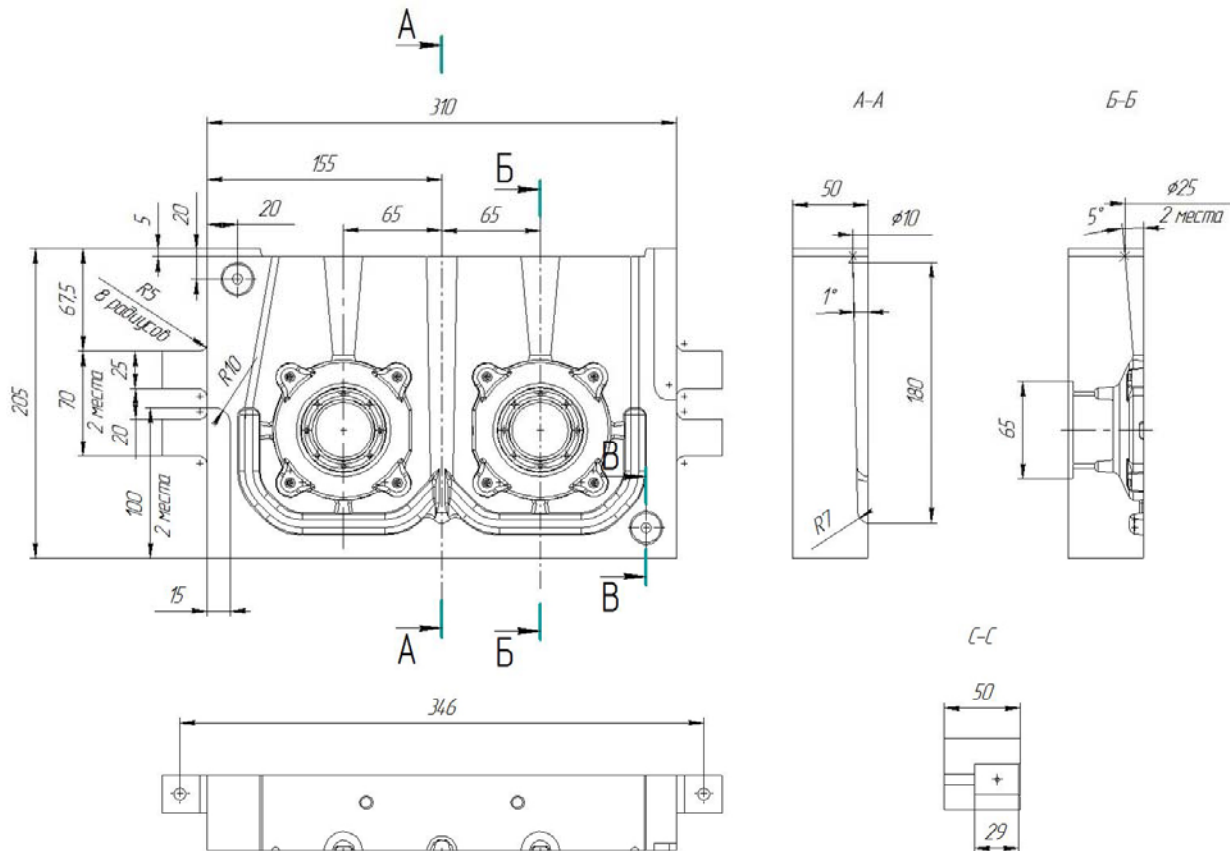


Рис.4. Спроектированный кокиль

В качестве материала кокиля может быть выбран серый чугун с пластинчатым графитом СЧ20 – СЧ25 ГОСТ1412-85, модифицированный любым из альтернативных модификаторов: ФС75, ФС65КБаСт2, Фс40Вд7, смесью ФС75+сажа, ФС65Ба4 по технологическим режимам, описанным в работах [13 – 16]. Применение такого материала обусловлено относительно небольшой ценой серого чугуна и удовлетворительным набором свойств. При необходимости повышения эксплуатационных свойств кокиля определенным интерес представляет использование вставок из композиционных материалов, в частности псевдосплава Fe-Cu. Для проверки условий применения этого материала

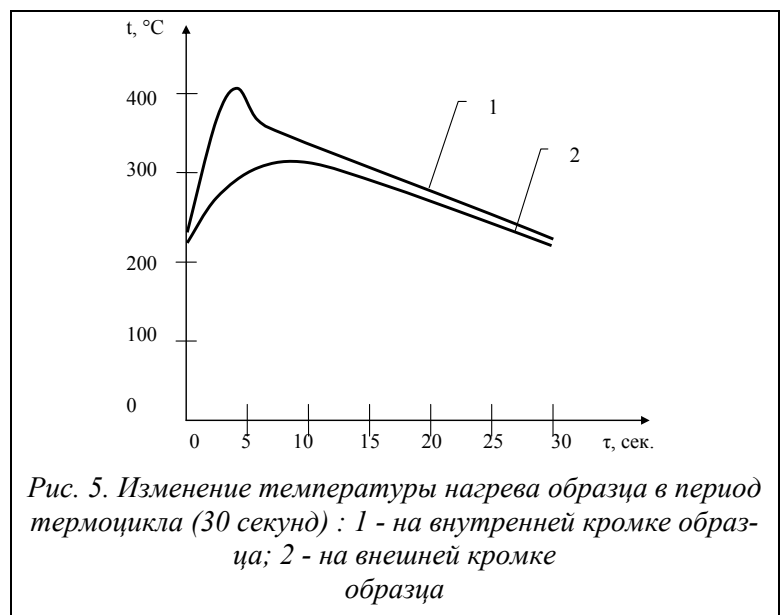


Рис. 5. Изменение температуры нагрева образца в период термоцикла (30 секунд) : 1 - на внутренней кромке образца; 2 - на внешней кромке образца

проводились экспериментальные исследования термостойкости кокиля (рис. 5). При этом исходили из следующих теоретических предпосылок. Высокое напряжённое состояние приводит к образованию трещин термической усталости. В зависимости от условий эксплуатации наблюдаются три случая напряжённого состояния материала кокиля.

В первом случае, когда перепад температур невелик, напряжение и деформация находятся в

упругой области, благодаря чему в термоциклируемом материале длительное время не образуются трещины термической усталости.

Во втором случае градиент температур приводит к появлению небольших остаточных деформаций, связанных с переходом процесса деформирования за пределы упругости материала. Это приводит к накоплению остаточных напряжений растяжения, но не превышающих предела упругости материала. Однако в данном случае под воздействием многократных нагревов происходит накопление пластической деформации, что приводит к росту термических напряжений растяжения. Кроме того, возможны изменения свойств материала и снижение сопротивления возникающим напряжениям.

В третьем случае, когда градиент температур очень высокий, уровень сжимающих напряжений приводит к большим пластическим деформациям и накоплению больших растягивающих напряжений. Трещины термической усталости появляются после большого числа термоциклов.

Поэтому целью экспериментов было определение сопротивления термической усталости опытных образцов. В частности, в процессе термоциклирования определяли:

- наличие трещин после 50, 100, 250, 500 и 1000 циклов;
- качественные изменения поверхности термоциклированной кромки образца;
- деформацию кромки образца (внутренний диаметр);
- зарождение и развитие трещин;
- изменение микротвёрдости матрицы и питателя в процессе термоциклирования.

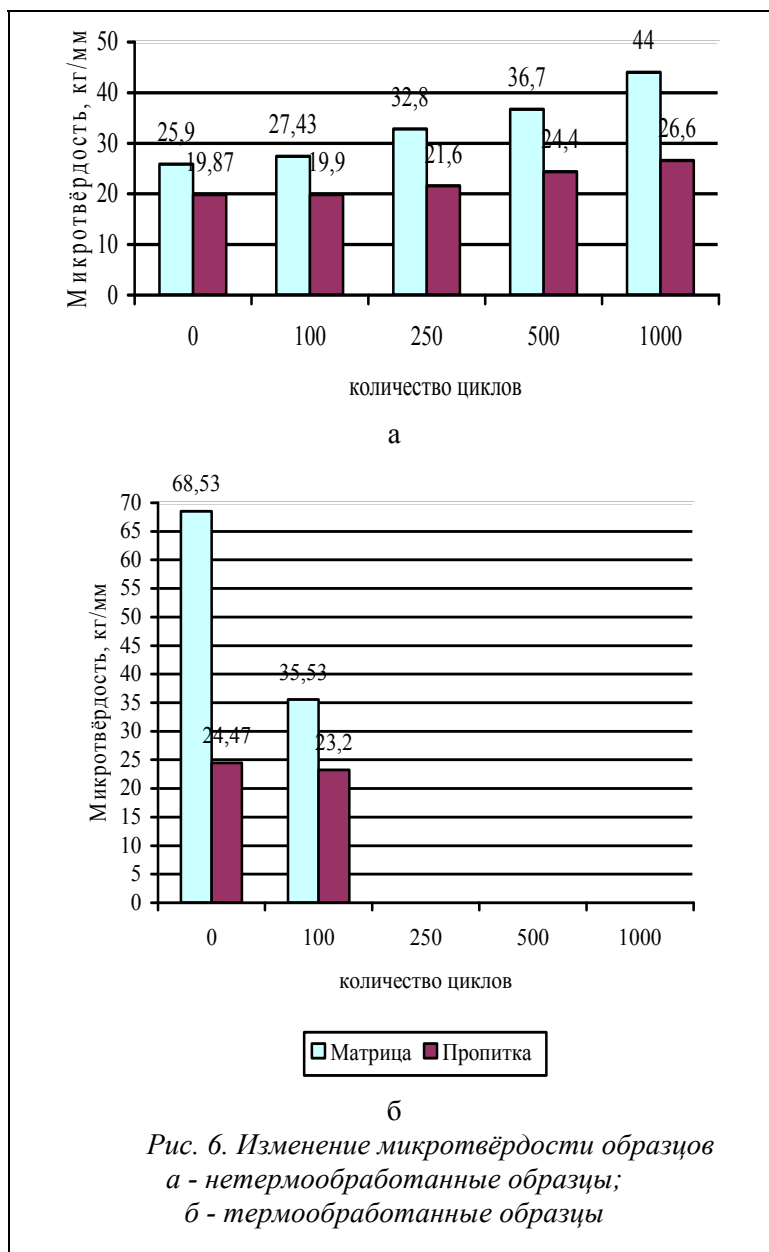
Испытания показали, что при максимальной температуре термоцикла $t = 600\text{ }^{\circ}\text{C}$ трещины в образцах образуются после 50-70 термоциклов, что свидетельствует о невозможности использования псевдосплава Fe-Cu в качестве вставок в кокиля для литья высокотемпературных сплавов, например бронзы, чугуна. В связи с этим дальнейшие испытания были проведены при нагреве кромки до $400\text{ }^{\circ}\text{C}$, что соответствует максимальной температуре нагрева рабочих поверхностей кокильной оснастки при литье алюминиевых сплавов.

Сравнение двух видов (нетермообработанных и закалённых) образцов показывает, что закалка не обеспечивает повышение термостойкости, а наоборот, трещины в этих образцах появляются, как правило, после 100 термоциклов. В нетермообработанных образцах даже после 1000 циклов трещин не наблюдалось.

Это свидетельствует о том, что термоциклирование таких образцов обеспечивает постепенное повышение микротвёрдости, особенно матрицы (рис. 6, а).

По всей вероятности, это связано с пластической деформацией кромки образца и некоторым наклёпом, а также повышением растворимости углерода в феррите. Микротвёрдость питателя при этом увеличивается незначительно.

Закалка придаёт начальное повышение микротвёрдости с дальнейшим её снижением при термоциклировании до значений, близких к незакалённым образцам (рис. 7, б). Следовательно, закалён-



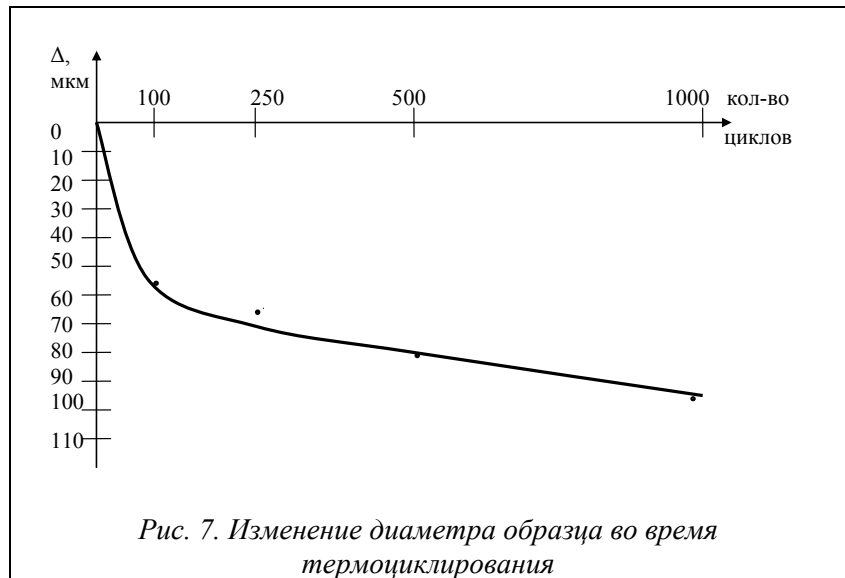
ные образцы не обеспечивают повышение термостойкости при циклических нагревах и их можно рекомендовать для деталей, работающих в условиях повышенного износа с незначительным нагревом рабочей поверхности.

Исследования деформации внутреннего диаметра образцов показали практически одинаковую величину после 100 циклов испытаний, однако в связи с появлением трещин в термообработанных образцах получение корректных значений их деформаций при дальнейших испытаниях становится невозможным.

Что касается нетермообработанных образцов, то деформация их диаметров имеет наибольшее значение после 100 циклов (рис. 7).

При дальнейших испытаниях она незначительная, достигает практического насыщения.

Таким образом, композиционный материал Fe-Cu можно использовать в качестве материала вставок для кокилей с рабочей температурой поверхности, не превышающей 400 °С. В случае необходимости использования псевдосплавов для указанных целей необходимо выбрать другой, более термостойкий материал пропитки.



Выводы

На основе комплексного подхода к формированию компонентов технологического обеспечения изготовления литых деталей был спроектирован кокиль для изготовления литых деталей с повышенными требованиями к геометрической и размерной точности. Установлено, что применение метода размерных цепей при проектировании рабочей полости кокиля обеспечивает возможность снижения ресурсозатрат, что проявляется в уменьшении припусков на механическую обработку. Обоснована возможность учета конструктивных особенностей унифицированных модулей для изготовления оснастки – моделей и стержневых ящиков – методами быстрого прототипирования. Проведенные экспериментальные исследования позволяют рекомендовать в качестве вставок для кокилей псевдосплава Fe-Cu, который эффективно работает при условии прогрева кокиля до температуры не более 400 °С. Спроектированный кокиль может быть использован для изготовления литых деталей из сплавов на основе алюминия.

Литература

1. Тринева, Т. Л. Rapid Prototyping. Технологии получения твердотельных 3D CAD-моделей / Т. Л. Тринева // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2004. – №6(12). – С. 37 – 40.
2. Солонин, С. И. Расчёт размерных цепей. М.: Машгиз, 1983. – 188 с.
3. Новый техпроцесс в производстве литья повышенной точности Под ред. Ф. Д. Оболенцева. – Л.: Машиностроение, 1957. – 344 с.
4. Оболенцев, Ф. Д. Сравнительная оценка точности отливок, изготовленных различными способами. – Специальные способы литья. – Л.: Машиностроение, 1971, С. 35 – 47.
5. Платонов, Б. П. Размерные расчёты литейной формы. / Б. П. Платонов Горький: Волго-Вятское книж. изд-во, 1970. – 164 с.
6. Селективное лазерное спекание стальных порошков для получения изделий на основе САПР-моделей // НТВП «Поверхность», ЦНИИ, Чёрная металлургия, Металлург. – 2000. – № 4. – С. 43 – 45.
7. Ресурсосберегающие технологии в литейном производстве: Справочное пособие / Д.А. Дёмин, Е. Б. Дёмина, О.В. Акимов и др.; под общ. Ред. Д. А. Дёмина. – 1 изд. – Х.: Технологический Центр, 2012. – 320 с.
8. Дьомін, Д. О. Рішення оптимізаційних задач в дипломному проектуванні магістрів за спеціальністю «Обладнання та технології ливарного виробництва» / Д. О. Дьомін // Технологический аудит и резервы производства. – 2012. – №2(4). – С. 3 – 14.
9. Дёмин, Д. А. Повышение надёжности металлообрабатывающего оборудования. Взгляд литейщиков на проблему / Д.А. Дёмин // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2005. - №2/1(14). – С. 42 – 47.

10. Таран, Б. П. Расчет размеров модельного модуля с помощью размерных цепей / Б. П. Таран, Т. Л. Тринева, В. В. Малахов // Вестник НТУ «ХПИ». – 2005. – № 24 – С. 191 – 196.
11. Солнцев, А. А. Практика литья в кокиль чугуновых деталей / А. А. Солнцев, В. Д. Шифрин, А. С. Наджафов. – Харьков, 1990. – 112 с.
12. Структура и свойства композиционных материалов / Ред. К. И. Портной, С. Е. Салибеков, И. Л. Светлов, В. М. Чубаров. – М.: Машиностроение, 1979. – 256 с.
13. Demin, D. A. Optimization of the method of adjustment of chemical composition of flake graphite iron / D. A. Demin, V. F. Pelikh, O. I. Ponomarenko // Litejnoe Proizvodstvo – 1995 (7-8), pp. 42-43.
14. Demin, D. A. Complex alloying of grey cast iron / D. A. Demin, V. F. Pelikh, O. I. Ponomarenko // Litejnoe Proizvodstvo – 1998 (10), p. 18–19.
15. Demin, D.A. Change in cast iron's chemical composition in inoculation with a Si-V-Mn master alloy / D. A. Demin // Litejnoe Proizvodstvo – 1998 (6), p. 35.
16. Дьомін, Д. О. Деякі аспекти управління якістю чавуна з пластинчастим графітом : Автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.16.04 / Д. О. Дьомін; [Харківський політехнічний інститут]. – Х., 1995. – 24 с.

Поступила в редакцію 23.10.2013

¹А. М. Жерносеков, канд. техн. наук

¹В. Н. Сидорец, д-р техн. наук

¹В. В. Приходько

¹Институт электросварки
им. Е.О. Патона НАН Украины, Киев,
Украина

e-mail: maximan23@i.ua

Ключові слова: зварювання, дуга,
розбризування, сталь, імпульс, регулювання.

УДК 621.791

ПРИМЕНЕНИЕ ИМПУЛЬСНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ СВАРКЕ КОНСТРУКЦИОННЫХ СТАЛЕЙ

Анотація. Показані результати досліджень процесу імпульсно-дугового зварювання плавким електродом конструкційних сталей, включаючи застосування порошкових дрітків. Показано, що застосування імпульсних технологій дозволяє значно зменшити розбризування металу. Встановлено, що використання джерел живлення з регульованою формою імпульсів зварювального струму підвищує ефективність процесів зварювання та наплавлення порошковими дротами, включаючи самозахисні.

Введение

В последнее десятилетие наметилась тенденция к расширению областей применения процесса импульсно-дуговой сварки плавящимся электродом в защитных газах (ИДСПЭ) для различных конструкционных сталей, в том числе изделий ответственного назначения, включая трубопроводный транспорт [1 – 4]. Это связано со многими преимуществами данного способа сварки: управляемый перенос электродного металла во всех пространственных положениях, небольшое разбрызгивание, высокие механические свойства металла швов. Разбрызгивание – один из главных показателей эффективности процесса сварки плавящимся электродом в защитных газах. Повышенный уровень потерь металла на разбрызгивание и угар приводит не только к перерасходу сварочной проволоки, но и засорению сопла сварочной горелки, ухудшению газовой защиты, налипанию брызг на изделие. Применение импульсных технологий дуговой сварки позволит эффективно решить ряд технологических вопросов.

Анализ исследований и публикаций

Известно, что разбрызгивание металла в защитных газах определяется составом смеси и средним током сварки [5, 6]. На рис. 1 [6] представлена зависимость разбрызгивания металла для сварки на постоянном токе в 100 % CO₂, на постоянном токе в смеси 82 % Ar + 18 % CO₂, а также на импульсном токе в смеси 82 % Ar + 18 % CO₂. Как видно из рис. 1, разбрызгивание металла при сварке в защитном газе 100 % CO₂ значительное и может достигать 10-11 %, причем максимум приходится на наиболее эффективные технологические режимы, когда производительность высокая, а сварочная ванна еще не перегрета большим сварочным током. В смеси газов 82 % Ar + 18 % CO₂ разбрызгивание снижается до максимального уровня 5,5...6,5 %. Однако нелинейная зависимость от сварочного тока по-прежнему сохраняется. При ИДСПЭ процент разбрызгивания не зависит от сварочного тока и не превышает 1,5...2 % для сплошных проволок. Таким образом, ИДСПЭ конструкционных сталей является весьма перспективным способом сварки.

В институте электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины (ИЭС им. Е. О. Патона) проводились исследования [7] по влиянию параметров процесса ИДСПЭ на уровень выгорания легирующих