

УДК 621.074

**Л. И. Леушина**, канд. техн. наук  
Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева  
Тел./Факс: 8 (831) 4364395; E-mail: [kafmto@mail.ru](mailto:kafmto@mail.ru)

## **ОТРАБОТАННАЯ МОДЕЛЬНАЯ КОМПОЗИЦИЯ – ПЕРСПЕКТИВНЫЙ МАТЕРИАЛ ДЛЯ ЗАЩИТЫ СТАЛЬНЫХ ОТЛИВОК ОТ ОБЕЗУГЛЕРОЖИВАНИЯ**

*В статье рассмотрен вариант использования отхода литья по выплавляемым моделям - отработанной модельной парафино-стеариновой композиции – в качестве материала, позволяющего повысить качество защиты стальных отливок от обезуглероживания. Технология успешно прошла промышленные испытания в условиях действующего производства.*

**Ключевые слова:** литье по выплавляемым моделям, отход, отработанная модельная композиция, нормализация, обезуглероживание.

**L. I. Leushina**

## **THE PROCESSED MODEL COMPOSITION IS A PERSPECTIVE MATERIAL FOR PROTECTING STEEL CASES FROM HEAT CARBONIZATION**

*The article considers the option of using a casting waste cast for melted models – a worked-out model paraffin-stearin composition – as a material that allows improving the quality of protection of steel castings from decarburization. The technology has successfully passed industrial tests in the conditions of current production*

**Keywords:** investment casting, waste, tested model composition, normalization, decarburization.

### **1. Введение**

Как известно, литейное производство – основа, заготовительная база машиностроения, а литье по выплавляемым моделям (точное литье) является одним из наиболее перспективных специальных способов литья, применяемым для получения литых заготовок деталей машин высокой сложности. Основным преимуществом точного литья признается высокая точность геометрии получаемых отливок, позволяющая сократить до минимума затраты на последующую механическую обработку отливок до получения готовой детали.

Отливки, получаемые методом точного литья находят применение во многих отраслях промышленности: машиностроение, производство технологического оборудования, электротехника и точная механика, автомобилестроение, лабораторная и измерительная техника, электроника, производство насосов и арматуры, авиационная, атомная, оборонная промышленность и др. (например, для изготовления рабочих колес, направляющих аппаратов, тонкостенных корпусов, патрубков и выхлопных труб в автомобилях, нагнетателей технологического газа и т.д.).

Исследованиями проблем литья по выплавляемым моделям занимались такие ученые, как Дубровин В.К. [1], Евстигнеев А.И. [2], Кулаков Б.А. [3], Тимофеев Г.И., Чернышов Е.А., Шатульский А.А., Шкленник Я.И. и др.

Особенно активно работы проводились в период 50–90-х гг. двадцатого века, когда ставились задачи исследования физических и химических явлений и процессов, лежащих в основе действующих и вновь создаваемых вариантов технологии точного литья, а также модернизации, механизации и автоматизации литейного оборудования цехов литья по выплавляемым моделям.

В качестве приоритетных рассматривались вопросы использования новых материалов при изготовлении оболочковых форм, освоения точного литья новых сплавов со специальными свойствами, изучения условий обеспечения стабильного качества отливок. В итоге многие научные результаты успешно внедрялись в практику действующего производства, была сформирована мощная экспериментально-теоретическая база для последующих разработок.

Широкое применение данного способа литья сдерживается рядом его недостатков, таких как высокие трудо-, материало- и энергоёмкость технологических операций и переходов, длительность производственного цикла изготовления отливок и подготовки производства, в том числе специальной оснастки и оборудования. Один из основных вопросов, остро стоящих на повестке сегодняшнего дня, – утилизация отходов промышленных производств, что становится всё более актуальным в связи с интенсивно ухудшающейся экологической обстановкой и постоянно растущими производственными затратами. Литье по выплавляемым моделям в этой ситуации – не исключение.

## **2. Основное содержание и результаты работы**

Отходы производства – фактор, воздействующий на окружающую природную среду и, в конечном итоге, отрицательно влияющий на качество жизни человека. Однако их использование, например, в качестве вторичных материальных ресурсов выгодно с точки зрения экономики и позволяет успешно решать многие важные хозяйственные задачи, такие как экономия основного сырья, предотвращение загрязнения водоёмов, почвы и воздушного бассейна, увеличение объёмов производства изделий, производство новой для предприятий продукции [4].

Практика показывает, что основная масса всех образующихся техногенных отходов (отходы металлургии, машиностроения, горной промышленности, энергетики, химических и других производств, доля которых с каждым годом неуклонно возрастает) не может быть переработана (утилизирована) на тех предприятиях, где данные отходы образуются. Сегодня всё больше распространяется практика использования отходов смежных отраслей. При этом особая роль при решении данной проблемы принадлежит, в частности, литейно-металлургическому производству – основной заготовительной базе машиностроения. Всё чаще говорят о том, что предприятия машиностроения, имеющие в своей структуре литейные цеха, так же как и предприятия «большой металлургии» в состоянии с высокой эффективностью утилизировать значительную часть отходов самых различных отраслей, включая даже бытовые отходы [5].

Разработка и принятие модели устойчивого экологически безопасного промышленного развития Ecologically Sustainable Industrial Development (ESID) в конце XX столетия обозначили генезис эпохи экологически чистого производства или экологически чистых технологий. Суть единой ресурсо-экологической концепции современного производства состоит в экономии потребляемых природных ресурсов, минимизации количества образующихся отходов и их воздействия на окружающую среду; утилизации накапливающихся отходов, а также в использовании вторичных ресурсов [6]. В 2004 году была введена в действие «Инициатива 3R», узаконившая основные действия в области обращения с отходами: reduce – сокращение, reuse – повторное использование, recycling – использование в качестве вторичных ресурсов [7].

Проблема утилизации отходов играет значимую роль и серьезно влияет на экологическую обстановку и экономическую ситуацию внутри страны. Многие промышленные предприятия сейчас начинают понимать важность тщательной и правильной утилизации отходов любых видов: используются разнообразные методы и

специальные средства переработки и т.д. В данном контексте можно отметить, что на настоящий момент утилизация отходов, при катастрофической нехватке полигонов для их захоронения, – проблема, актуальная для всего мирового сообщества.

Однако существуют выходы из сложившейся ситуации, одним из которых может явиться рециклинг – повторное использование отходов в той или иной технологии после дополнительной обработки [8]. В Нижегородском государственном техническом университете им. Р.Е. Алексеева это направление считается приоритетным, а его сотрудниками в течение последних десятилетий активно проводятся научные исследования в этой области применительно к проблемам предприятий региона. Предметом данной статьи является проблема рециклинга отработанная модельная композиция на основе парафино-стеариновой группы – одного из многочисленных техногенных отходов предприятий машиностроения, имеющих в своем составе участки или цеха точного литья.

Была поставлена цель – обеспечить ресурсосбережение за счет применения данного отхода в производственном процессе, задача – адаптировать разработку в действующее производство без существенных изменений и затрат. Для реализации идеи было решено попытаться использовать этот материал, чтобы повысить качество защиты стальных отливок от обезуглероживания.

Нормализация стальных заготовок является одной из основных финишных операций изготовления качественных отливок ответственного назначения. Она представляет собой нагрев доэвтектоидной стали до температуры выше  $A_{с3}$ , а заэвтектоидной стали – выше  $A_{cm}$  на 50-60°C с последующими выдержкой и охлаждением на воздухе. При нормализации происходит перекристаллизация стали, устраняющая крупнозернистую структуру, получаемую в литье. Итогом нормализации является распад аустенита на ферритно-цементитную смесь повышенной дисперсности.

Назначение нормализации различается в зависимости от состава и марки стали [9]. Так, например, низкоуглеродистые стали подвергаются нормализации вместо отжига, в результате чего их твердость незначительно возрастает, но улучшается обрабатываемость резанием. Для среднеуглеродистых сталей нормализация применяется вместо закалки и высокого отпуска (улучшения). Механические свойства стали несколько ухудшаются, но уменьшается вероятность коробления тонкостенных деталей по сравнению с закалкой. Высокоуглеродистые стали подвергают нормализации с целью ликвидации цементитной сетки, ухудшающей структуру, и, как следствие, свойства материала отливок. Нормализацию легированных сталей с последующим высоким отпуском (600-650°C) обычно используют вместо отжига для исправления структуры.

Наиболее распространенными на практике дефектами нормализации считают окисление (окалинообразование) и обезуглероживание поверхностного слоя стальных отливок [10]. Эти два дефекта связаны с химическим взаимодействием поверхности металла отливки с окружающей средой.

Окисление стали представляет собой процесс взаимодействия железа в основном с кислородом окружающей среды с образованием на поверхности отливки оксидов железа, окалины. Окисление ухудшает качество поверхности отливки, приводит к изменению размеров отливки, к потерям металла, к затратам на механическую обработку и проведению дополнительных трудоемких и вредных операций очистки.

Обезуглероживание – это уменьшение содержания углерода в поверхностном слое отливки. Обезуглероживание вызывает ухудшение структуры материала в поверхностном слое и, как следствие, понижение уровня механических и эксплуатационных свойств изделия.

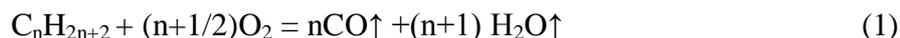
Окисление и обезуглероживание поверхности стальных отливок проявляются одновременно, имеют диффузионный характер и зависят от конструкции печи, состава и давления атмосферы рабочего пространства, температуры и времени нагрева, а также химического состава материала отливок.

Обычно для предотвращения этих процессов в условиях действующего производства применяют обработку в термических нагревательных печах с защитными газовыми средами, в вакуумных печах, а также применяют засыпку садки печи карбюризатором, в качестве которого может выступать древесный уголь или чугунная стружка.

Сейчас известны различные способы защиты стальных отливок от обезуглероживания при термической обработке: защитные газовые среды для термообработки изделий из конструкционных легированных сталей, способы термической обработки деталей в закрытом приспособлении с фиксацией их положения, предполагающие фиксацию положения в нем мелкодисперсным порошком с соответствующей температурой плавления, различные составы или защитные покрытия, предотвращающие окисление при нагреве. Однако все перечисленные варианты характеризуются не лишены недостатков, среди которых могут быть высокая трудоемкостью, материальные, энергетические затраты, сложность реализации, низкая экологическая безопасность и другие.

Именно поэтому, по мнению автора, актуальной является задача уменьшения материальных затрат на приобретение карбюризатора при одновременном улучшении качества защиты стальных отливок от обезуглероживания.

Отработанная модельная композиция на основе парафино-стеариновой группы (рециклинговые отходы ПС 50/50), часто применяемая для изготовления моделей в точном стальном литье. Этот материал представляет собой смесь твердых углеводородов предельного метанового ряда ( $C_nH_{2n+2}$ ), которая при нагреве до температур нормализации стальных отливок может вступать в реакцию с кислородом рабочего пространства термической печи:



В условиях недостатка кислорода происходит накопление CO в атмосфере печи, что делает ее восстановительной, препятствуя протеканию процессов окисления и обезуглероживания. Образующийся по реакции (1) водяной пар ( $H_2O$ ) теряет свои окисляющую и обезуглероживающую способности, поскольку в условиях высоких температур при наличии в садке карбюризатора (C) вступает в реакцию образования водяного газа:



Получающийся в результате протекания реакции (2) «сухой» водород (водород  $H_2$  без водяного пара  $H_2O$ ) практически не вызывает обезуглероживания, а также способствует поддержанию восстановительной атмосферы в печи, препятствуя окислению.

Кроме того, учитывая, что реакция (2) является эндотермической, появляется возможность устранить сильную перегрузку нагревательных элементов термической печи и добиться повышения эксплуатационного ресурса их работы.

Необходимое количество отработанной модельной композиции для реализации предлагаемой технологической схемы в условиях действующего производства определяется расчетно-опытным путем и составляет в среднем до 5% от массы садки.

### 3. Заключение

Опробование разработанной схемы в условиях действующего производства одного из предприятий показало существенное уменьшение окисления и обезуглероживания стальных отливок ответственного назначения при осуществлении их нормализации в камерных и проходных нагревательных печах, позволило увеличить ресурс работы нагревательных элементов, а также снизить расход карбюратора в ходе термической обработки. На практике была решена проблема утилизации техногенного отхода литья по выплавляемым моделям при одновременном повышении качества защиты стальных отливок от обезуглероживания.

### ЛИТЕРАТУРА:

1. Суспензия огнеупорная для оболочковых форм по выплавляемым моделям: пат. 2503520 РФ: МПК В22С1/16 / заявитель Дубровин В. К. и др.; патентообладатель [Южно-Уральский государственный университет \(национальный исследовательский университет\)](#), опубл. 10.01.2014.
2. Евстигнеев, А. И. Предпосылки к постановке задач по математическому моделированию напряженно-деформированного состояния ОФ в ЛВМ / А. И. Евстигнеев, Э. А. Дмитриев, В. И. Одинокоев, А. В. Свиридов // *Фундаментальная механика в качестве основы совершенствования промышленных технологий, технических устройств и конструкций: Материалы II Дальневосточной школы-семинара*, 2017. – С. 58-62
3. Дубровин, В. К. Влияние оборотной формовочной смеси на качество отливок / В. К. Дубровин, Б. А. Кулаков, А. В. Карпинский и др. // *Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Metallургия*, 2014. – Т.14, №2. – С. 35-40.
4. Бобович, Б. Б. Переработка отходов производства и потребления: Справочное издание / Б. Б. Бобович, В. В. Девяткин. – М.: «Интермет Инжиниринг», 2000. – 496 с.
5. Кудрин, В. А. Теория и практика производства стали: учебник для вузов / В. А. Кудрин. – М.: «Мир»; ООО «Издательство АСТ», 2003. – 528 с.
6. Симонян, Л. М. Metallургические технологии переработки техногенного вторичного сырья: курс лекций / Л. М. Симонян, А. Г. Фролов, Е. Ф. Шкурко. – М.: Изд. дом МИСиС, 2011. – 136 с.
7. Черноусов, П. И. Рециклинг. Технологии переработки и утилизации техногенных образований и отходов в черной metallургии: монография / П. И. Черноусов. – М.: Изд. дом МИСиС, 2011. – 428 с.
8. Голубев, О. В. Metallургические методы переработки промышленных и бытовых отходов. Ч. 1. Образование и проблемы переработки твердых бытовых отходов: учеб. пособие. – М.: МИСиС, 2005. – 79с.
9. Зуев, В. М. Термическая обработка металлов / В. М. Зуев. – М.: Высшая школа; Издательский центр «Академия», 1999. – 288 с.
10. Гуляев, А. П. Metallоведение / А. П. Гуляев. – М.: Metallургия, 1977. – 647 с.

Поступила в редколлегию 28.04.2018 г.