

## ОСОБЕННОСТИ РАЗРАБОТКИ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОТЛИВОК ЛИТЬЕМ ПОД ДАВЛЕНИЕМ С ПРИМЕНЕНИЕМ СИСТЕМ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Макаров А.Н. – студент, Марширов И.В. – к.т.н., доцент  
Алтайский государственный технический университет (г. Барнаул)

Литье под давлением заключается в том, что расплавленный металл заливается в камеру прессования специальной машины, а затем под действием поршня, перемещающегося в этой камере, через литниковые каналы заполняет полость металлической пресс-формы, затвердевает под избыточным давлением и образует отливку. После затвердевания и охлаждения до определенной температуры из отливки сначала извлекаются металлические стержни, а затем пресс-форма раскрывается и толкатели удаляют отливку из пресс-формы.

Таким образом, сущность процесса заключается в том, что форма заполняется расплавом под действием внешних сил, превосходящих силы гравитации, а затвердевание отливки протекает под избыточным давлением.

Сочетание этих двух особенностей процесса позволяет получать отливки высокого качества. Чистая поверхность и точные размеры рабочей полости металлической пресс-формы, высокая скорость движения расплава позволяют резко сократить продолжительность заполнения, улучшить заполняемость и получить тонкостенные отливки сложной конфигурации с чистой поверхностью.

Внешнее давление на затвердевающий расплав и высокие скорости охлаждения его в металлической форме способствуют измельчению структуры металла в отливке, уменьшению усадочных дефектов, повышению механических свойств.

*Согласованно решить комплексную задачу конструирования, обеспечения прочности литых изделий и технологичности литейной формы возможно с применением современных программных сред CAD/CAE/CAM.*

Развитие и адаптация в литейном производстве интегрированных систем автоматизированного проектирования (CAD), инженерных расчетов (CAE), подготовки производственно-технологических процессов (CAM) и управления проектом (PDM) предоставляет новые возможности для изготовления отливок и разработки литейных технологий гарантированного качества. При этом следует учитывать специфику литейного производства, которая заключается в многообразии контролируемых факторов, взаимно влияющих друг на друга.

Эффективная эксплуатация сквозных систем проектирования в литейном производстве опирается на обобщенную информационную базу жизненного цикла изделия, в которой используется единая цифровая модель, включающая литую деталь, отливку с литниково-питающей системой, литейную форму и технологическую оснастку.

Правильный выбор конструкции и технологических параметров необходимо подтверждать расчетами в программе для анализа литейных процессов CAE. В данной работе использована российская программа LVMFlow, которая уверенно входит в повседневную практику рядового технолога-литейщика и позволяет моделировать процессы заполнения формы расплавленным металлом под давлением с последующим его затвердеванием.

Наиболее дорогостоящая часть подготовки производства литых деталей – изготовление пресс-форм на станках с числовым программным управлением (ЧПУ). В условиях мелкой серии стоимость оснастки оказывает заметное влияние на конечную цену отливки. И что не менее важно, качество изготовления литейной оснастки определяет зачастую и качество литых деталей, а значит функциональность изделия в сборке. Правильно сконструированная и тщательно выполненная оснастка обеспечивает высокий класс точности отливок, снижает литейный брак, повышает производительность труда,



Рисунок 1 – Геометрическая модель отливки

сокращает затраты на механическую обработку заготовок. Пресс-формы для литья под давлением представляют собой сложный и точный механизм. Выполнение различных этапов работы с использованием единой цифровой модели в обобщенной среде CAD/CAM обеспечивает минимум ошибок и затраченного времени.

Согласно общей концепции объемного конструирования литейной оснастки, на начальном этапе CAD создаются 3D-модели литой детали и отливки с литниково-питающей системой, связанные общими построениями. Затем куст отливок с литниково-питающей

системой и средствами направленного охлаждения подвергается инженерному анализу CAE. В случае положительных результатов анализа на заключительном этапе CAD с использованием ранее выполненных построений проводится объемное конструирование необходимой технологической оснастки, в том числе для литья под давлением – пресс-формы.

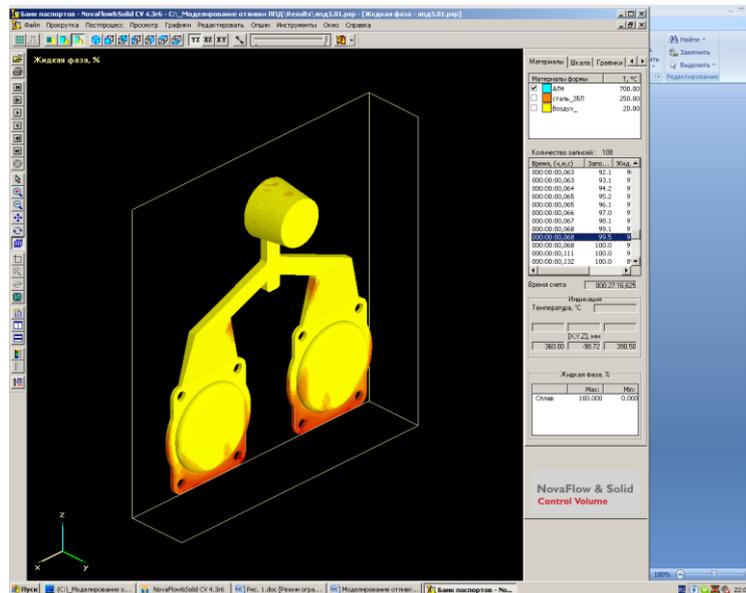


Рисунок 2 – Заполнение расплавом формы

Предварительная проверка технологичности проекта и ожидаемого качества литого металла основана на компьютерном моделировании литейных процессов заполнения формы расплавом и его затвердевания при направленном охлаждении. Компьютерному моделированию подвергают куст отливок с литниково-вентиляционной системой, конфигурацию которой изменяют и вновь проверяют до получения приемлемого уровня дефектности анализируемых отливок. Наилучший вариант геометрии используют в дальнейшем для оформления полости при объемном конструировании пресс-формы. В случае технологий литья под давлением алюминиевых сплавов важными факторами, определяющими формирование отливки, являются давление в камере прессования и пресс-форме, скорость впуска жидкого металла в форму, геометрия и параметры литниково-вентиляционной системы, температура заливаемого металла, температура прогрева формы, интенсивность охлаждения, режим смазывания оформляющей поверхности формы, теплофизические свойства сплавов и материалов. Все перечисленные параметры можно изменять в настройках компьютерной программы, подбирая оптимальные значения. Достоверность компьютерных расчетов зависит от точности исходных данных, прежде всего

- теплофизических свойств и адекватности используемых математических моделей.

В ходе представленной работы была разработана литейная технология для отливки «Крышка» (данная отливка изготавливается из алюминиевого сплава АК9ч литьем под давлением). Для построения геометрической модели данной отливки использована САД-система SolidWorks. Моделирование литейных процессов выполнялось посредством применения САЕ-системы «LVMFlow».

Основными этапами выполнения работы являлись:

- построение геометрической модели детали;
- разработка геометрической модели отливки;
- расчет элементов литниково-питающей системы (ЛПС);
- моделирование усадочных процессов (образование макро- и микропористости), а также решение тепловой и гидродинамической задач;
- разработка геометрических моделей модельной оснастки и рабочих чертежей для изготовления отливок.

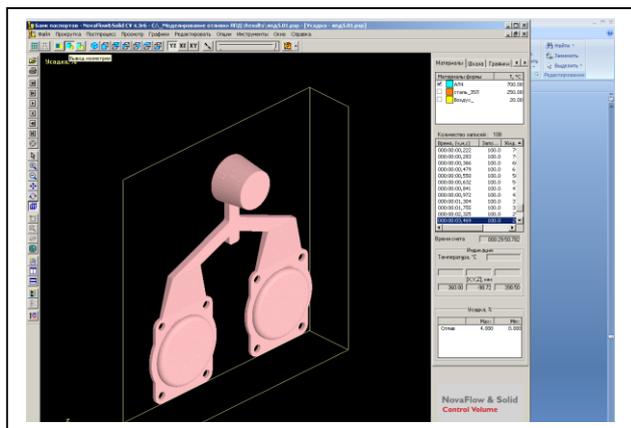


Рисунок 3 – Результаты моделирования усадочных процессов

технологом еще на стадии разработки техпроцесса и выбрать наиболее оптимальный вариант для получения качественной отливки, не прибегая к дорогостоящему опытно-производственному опробыванию. При этом использование указанной системы компьютерного моделирования позволяет существенно сократить время отработки ЛПС, повысить качество принимаемых конструктивных и технологических решений при значительном сокращении материальных затрат на опытную отработку технологии литья.

## РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПРЕСС-ФОРМ ИЗ ДВУХКОМПОНЕНТНЫХ ЛИТЕЙНЫХ РЕЗИН

Сушевская Е.В., Мустафина Т.В., Мустафин Г.А.

Алтайский государственный технический университет (г. Барнаул)

Наиболее известным способом получения резиновых пресс-форм для изготовления выплавляемых моделей из литейных восков является вулканизация из материалов на основе каучуков. Однако, в последнее время появились новые материалы, позволяющие изготавливать пресс-формы без нагрева. К ним относится литейная двухкомпонентная резина Castaldo.

Предварительные опыты показали, что при разрезании пресс-формы после отверждения резины Castaldo, из-за высокой её прочности, трудно получить качественный разъем. Поэтому было принято решение изготавливать пресс-формы отдельно. Для этого модели имеющие сложный рельеф с обеих сторон вначале укладывались на «фальшивую» подмодельную плиту, в которую они вдавливались до половины высоты рельефа. После

этого «фальшивая» подмодельная плита покрывалась тальком и помещалась в специальную рамку (рисунок 1).

Затем части резины А и В смешивались до однородного состава (контроль производился по равномерному цвету) и резина вдавливалась в лицевую сторону модели. После установки пуансона рамка с резиной и моделью устанавливалась в пресс (рисунок 2) и выдерживалась в течении 15 минут под давлением до полного отверждения.

Модели, у которых имеется хотя бы одна плоская поверхность для ее установки, формовались в резине без применения фальшивой модельной плиты. В дальнейшем порядок изготовления был аналогичным.

Такая технология позволила получать пресс-формы с качественным разъемом без разрезания (рисунок 3). Точность разъема позволила получать выплавляемые модели без заливов, не требующих большого объема дополнительной обработки.

Для получения качественных моделей из литейного воска CASTALDO (зелёный цвет) опытным путем был подобран оптимальный режим: температура запрессовки жидкого воска в пресс-форму – 64° С, оптимальное давление запрессовки 0,10 – 0,12 МПа. Полученные модели приведены на рисунке 4.



Рисунок 1 – Рамки



Рисунок 2 – Пресс



Рисунок 4 – Восковые модели

#### Список литературы

1. И.Х. Халилов, М.И. Халилов, Ювелирное литье. Издание 2-ое, переработанное. Саратов 2001 г.
2. Зотов Б.Н., Художественное литье, Москва, Машиностроение, 1988, 304с.
3. Ухин С.В., Художественное литье, Москва, АСТ, Сталкер, 2004, 59 с.

#### ЛИТЕЙНЫЙ МАГНИТНЫЙ СТЕРЖЕНЬ НЕКРУГЛОГО СЕЧЕНИЯ С КРУГЛЫМИ ПОЛЮСНЫМИ НАКОНЕЧНИКАМИ

Левшин Г. Е. – д.т.н., профессор, Ершов Р. Ю. – студент, Костылев А.С. – студент.  
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

В статье рассмотрены конструкция и технология изготовления литейного магнитного стержня круглого и некруглого поперечного сечения с круглыми полюсными наконечниками

(ПН), диаметр которых одинаков или превышает наибольший поперечный размер стержня. Применение таких ПН позволяет с помощью одного намагничивающего устройства (НУ) изготавливать группу стержней близких размеров и конфигураций для получения разных отливок. Стержень может быть круглого и любого некруглого поперечного сечения, например, овального, прямоугольного, трех-, пяти-, шести-, семигранного и т. п. Он содержит упрочненный слой намагничивающегося формовочного материала (ФМ), электрическую катушку, сердечник, крайние ПН круглого сечения с цилиндрической или конусной образующей поверхностью. Катушка с сердечником образуют электромагнитную систему, а в совокупности с наконечниками – НУ. ПН установлены в знаковой части стержня.

При изготовлении литейного магнитного стержня круглого или некруглого поперечного сечения обычно применяют намагничивающее устройство (НУ), содержащее электромагнитную систему (ЭМС), к которой присоединяют полюсные наконечники (ПН) такого же сечения, расположенные в полости отливки у ее краев и имеющие скосы [1]. При изменении конфигурации или размеров сечения стержня изготавливают новые ПН соответствующего сечения. Это увеличивает расходы и длительность подготовки производства. Кроме того, установлено, что при изготовлении стержня прямоугольного сечения на его углах возле ПН появляются флоккулы. Для их устранения на этих углах ПН устанавливают дополнительно концентраторы магнитной индукции [2], что усугубляет упомянутый недостаток.

Для его устранения и попутного решения других задач разработана специальная конструкция магнитного стержня (рис. 1, 2) и способ его изготовления [3, 4].

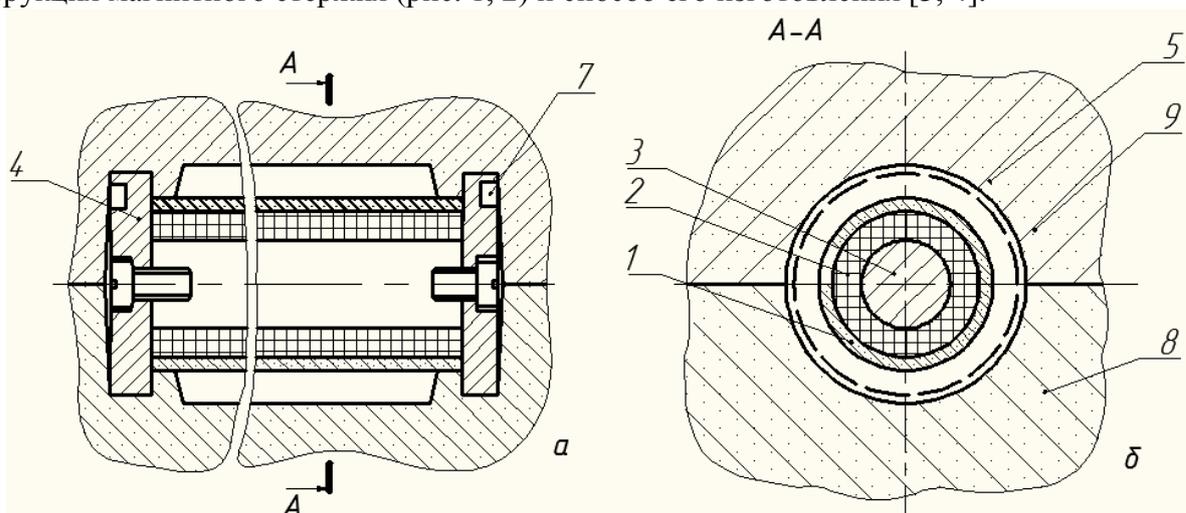


Рисунок 1 – Стержень с комбинированной знаковой частью в форме с горизонтальным разъемом, продольный разрез (а) и поперечный разрез А – А (б)

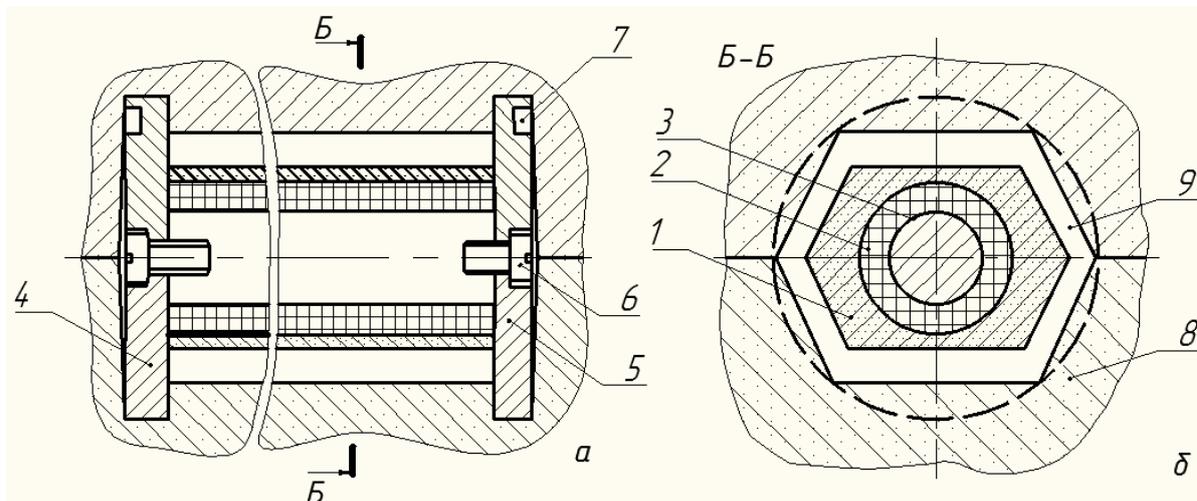


Рисунок 2 – Стержень с полюсным наконечником-знаком, оформляющим торцевую поверхность отливки, продольный разрез (а) и поперечный разрез Б – Б (б)

Этот стержень круглого и любого некруглого поперечного сечения, например, овального, прямоугольного, трех-, пяти-, шести-, семигранного, содержит упрочненный слой 1 намагничивающегося формовочного материала (ФМ), электрическую катушку 2, сердечник 3, крайние полюсные наконечники 4 и 5 круглого сечения с цилиндрической или конусной образующей поверхностью (рис. 1 – 3). Катушка 2 с сердечником 3 образуют электромагнитную систему (ЭМС), а в совокупности с полюсными наконечниками 4 и 5 -- НУ. Наконечники 4 и 5 установлены в знаковой части стержня и выполнены с диаметром не менее диаметра окружности, описанной вокруг круглого или некруглого сечения упрочненного слоя 1 намагниченного ФМ. По меньшей мере один из наконечников, например наконечник 5, выполнен быстросъемным и прикреплен к торцу сердечника 3 известным образом, например винтом 6 с короткой резьбой и большим шагом. Такое крепление необходимо для обеспечения плотного прилегания наконечника 5 к сердечнику 3 во время изготовления стержня. Другой же наконечник 4 может быть выполнен заодно с сердечником 3 или также съемным. Через него осуществляется подвод электричества известным образом, например изолированным проводником со штепсельным разъемом.

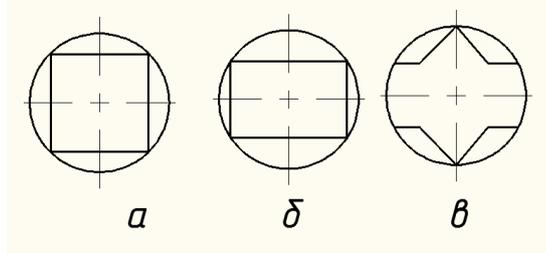


Рисунок 3 – Внешние очертания круглого ПН и стержня с квадратным (а), прямоугольным (б) и фасонным или фигурным (в) поперечным сечением слоя ФМ

Минимальная толщина  $h$  полюсного наконечника определяется в соответствии с соотношением  $h = d/4$ , где  $d$  – диаметр сердечника 3. Это позволяет избавиться от его последующей доработки по сравнению с известными решениями [1].

В наконечниках 4 и 5 со стороны торцов могут быть выполнены глухие отверстия 7 для переноса в горизонтальном положении НУ и стержня с помощью захватного приспособления при размещении НУ в формообразующей оснастке, извлечении стержня из нее и установке в литейную форму 8 с рабочей полостью 9.

ПН одновременно выполняют функцию знаковой части (знака) полностью или в совокупности с некоторым участком слоя 1. Вынесение наконечников 4 и 5 за пределы отливки для размещения в знаковой части позволяет (по сравнению с известными решениями [1]) создать более равномерный по толщине и податливости слой 1, исключить заклинивание НУ в полости отливки и в совокупности с возможностью быстрого съема наконечника 5 беспрепятственно извлечь НУ из полости отливки.

Выполнение ПН 4 и 5 цилиндрическими позволяет исключить скосы в сторону отливки (имеющиеся в известных решениях [1]) и использовать цилиндрическую поверхность наконечников в качестве надежной опоры в знаковой части горизонтального стержня и литейной формы 8.

Выполнение ПН 4 и 5 с диаметром не менее диаметра окружности, описанной вокруг некруглого сечения упрочненного слоя 1 намагничивающегося ФМ, устраняет флоккулы намагниченных частиц на любой поверхности слоя возле наконечника. Кроме того, такое выполнение наконечников 4 и 5 позволяет изготавливать с помощью этого же НУ и другие стержни меньших поперечных размеров, то есть делает НУ универсальным для некоторой группы стержней, например для группы отливок типа «гильза», «втулка», «патрубок»,

«маслота», отличающихся друг от друга в некотором диапазоне длиной и поперечным сечением.

Возможно (в отличие от известных решений [1]) выполнение ПН 4 и 5 с диаметром не менее диаметра окружности, описанной вокруг поперечного сечения отливки в месте ее контакта с наконечником, в случае формирования торцов отливки полюсной поверхностью наконечника (рис. 2).

Стержень работает следующим образом [3, 4]. После формирования наружной рабочей поверхности слоя 1 с помощью формообразующей оснастки и подачи на электрическую катушку 2 безопасного электрического постоянного напряжения до 110 В появляющееся поле с необходимой индукцией практически мгновенно намагничивает сердечник 3, ПН 4 и 5, слой 1 намагничивающегося ФМ, частицы которого, сцепляясь между собой, образуют прочную систему. При этом быстросъемный ПН 5 надежно примагничивается к сердечнику 3 и слою 1, что позволяет удалить его механическое крепление, например крепежный винт 6, уже в оснастке или после извлечения из нее. Возможно его удаление и после изготовления отливки.

Магнитный поток, создаваемый катушкой 1, усиливается сердечником 3, наконечниками 4 и 5 и материалом слоя 1 тем в большей степени, чем выше их магнитная проницаемость. На своем пути поток совершает повороты на  $90^\circ$  при переходах: сердечник – наконечник и наконечник – слой, или наконечник – воздух межполюсного пространства при отсутствии слоя. В случае круглых сердечника, катушки и наконечника поток в любом поперечном сечении межполюсного пространства равномерен, а вектор индукции имеет одинаковое направление в любой точке воображаемой окружности на полюсной поверхности наконечника. Это создает условия получения цилиндрической, овальной и многогранной наружной рабочей поверхности слоя 1 без флоккул после удаления стержня из оснастки. Поэтому диаметр наконечника 4 или 5 должен быть равным или превышать наибольший поперечный размер стержня в группе (рис. 1 – 3).

При необходимости на рабочую поверхность стержня наносится быстросохнущее противопопригарное покрытие и он устанавливается в литейную форму 8, в рабочую полость 9 которой заливается расплав. При переносе стержня из оснастки в форму используется приспособление с захватами, которые входят в отверстия 7. Стержень может устанавливаться вертикально или горизонтально с размещением полюсного наконечника-знака в ответном гнезде знаковой части литейной формы 8, в том числе совместно с частью слоя 1 (комбинированная знаковая часть). При вертикальной установке его опорной поверхностью является внешняя плоская поверхность ПН 5, а при горизонтальной – его цилиндрическая образующая поверхность. Этот вариант установки применим для литейной формы, прочность которой больше давления на нее массы стержня (рис. 2). В этом случае круглая полюсная поверхность ПН соприкасается с отливкой и формирует ее часть, обычно торцевые поверхности (рис. 2). Поэтому диаметр наконечника должен превышать наибольший поперечный размер отливки на границе их контакта. Для формы с меньшей прочностью в ответных гнездах знаковых частей формы размещаются наконечники-знаки 4 и 5 совместно с частью слоя 1, что обеспечивает дополнительно опору стержня на форму и часть слоя 1 (рис. 1).

После объемного или поверхностного затвердевания отливки отключается питание катушки 2. Поле, намагничивание всех элементов стержня и притяжение быстросъемного наконечника 5 исчезают, слой 1 ФМ разупрочняется и вновь становится сыпучим и более податливым, чем упрочненный. Возможно постепенное уменьшение напряжения, индукции и прочности для необходимого управления податливостью и усадкой отливки. Поэтому брак по горячим трещинам уменьшается.

После удаления отливки из формы ФМ свободно высыпается из полости отливки, а НУ извлекается из нее известным образом, если быстросъемный полюсный наконечник 5 уже отделен от сердечника 3.

Предложенная конструкция стержня и НУ была изготовлена и опробована при изготовлении отливок из алюминиевых сплавов с положительным результатом (рис. 4).

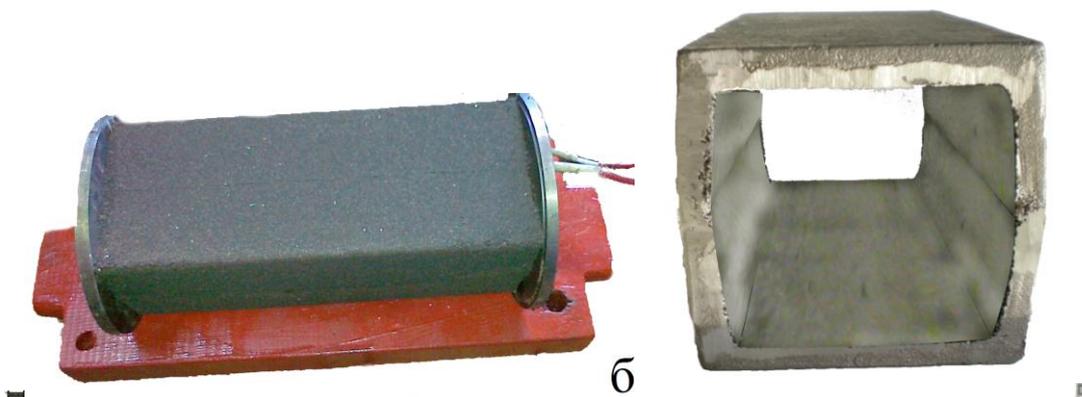


Рисунок 4 – фотографии НУ (а), стержня (б) и отливок (в)

По сравнению с известной эта конструкция стержня имеет следующие основные преимущества:

- расширяет область применения стержня и НУ, повышая их универсальность, и позволяет с помощью одного универсального НУ изготавливать группу литейных стержней и отливок разных конфигурации и размеров поперечного сечения и длины (в определенном диапазоне) в соответствующей каждому виду стержня оснастке, что обеспечивает также снижение затрат времени и средств на подготовку производства и изготовление этой группы стержней разных видов;

- устраняет появление специфических разрушений в виде флоккул намагниченных частиц на поверхности слоя возле крайнего наконечника, позволяет определить минимальную толщину  $h$  полюсного наконечника и избавиться от необходимости его последующей доработки. Это уменьшает трудоемкость и затраты на изготовление стержня, особенно некруглого поперечного сечения.

#### Список литературы

1. Левшин Г. Е., Матюшков И. Л. Литье в магнитные формы. – Барнаул: АлтГТУ, 2006 – 688 с.
2. Пат. 2424079 РФ. МПК В22С 9/10. Литейный магнитный стержень /Г.Е. Левшин – 9 с.
3. Пат. 2424078 РФ. МПК В22С 9/10. Литейный магнитный стержень /Г.Е. Левшин – 9 с.
4. Пат. 2424867 РФ. МПК В22С 9/10. Способ изготовления группы литейных магнитных стержней разного вида /Г. Е. Левшин. – 7 с.

#### ПРОГРЕВ МАГНИТНОЙ ФОРМЫ В ФУНКЦИИ ВРЕМЕНИ И РАССТОЯНИЯ ОТ ОТЛИВКИ

Левшин Г.Е., Карих А.А.

Алтайский государственный технический университет (г. Барнаул)

В статье рассмотрены не решенные до сих пор вопросы прогрева литейной магнитной формы теплом отливки, являющейся затухающим источником тепла. При этом использовано ограниченное число экспериментальных данных, полученных методом заливки отливки «плиты» размером 150Ч150Ч15 мм из чугуна СЧ 20. По этим данным с помощью интерполяционной формулы Лагранжа рассчитаны значения температур формы для глубин прогрева  $x_{\phi}$  с шагом 1 мм и времени  $t$  от 0 до 390 с. Экспериментальные и интерполяционные значения температур составили полную базу данных, по которой с применением программы Microsoft excel построены графики  $T_{\phi} = f(t)$  и  $T_{\phi} = f(x_{\phi})$ , которые аппроксимированы уравнениями второй и 4 - 6 степени с удовлетворительной

достоверностью. Это позволило построить пространственный график (сплайн) функции  $T_{\phi} = f(t, x_{\phi})$ .

Залитая расплавом полая или неполая объемная магнитная форма (МФ) прогревается за время  $t$  до температуры  $T_{\phi}$  его теплом и затвердевшей отливки на некоторую (текущую) глубину  $x_{\phi}$ . Температура  $T_{\phi}$  и глубина  $x_{\phi}$  определяются температурой расплава, длительностью  $t$  нахождения отливки в форме и др. В МФ при этом (в общем случае) могут происходить процессы снижения прочности (из-за уменьшения намагниченности стальных частиц магнитомягкого формовочного материала (МФМ)), их окисления и спекания в окислительной газовой среде.

При проектировании технологии изготовления отливки немаловажно оценить количественно эти процессы путем расчета  $T_{\phi}$  и  $x_{\phi}$  в любой момент времени  $t$ . Они необходимы в инженерных расчетах процессов затвердевания, охлаждения, усадки и формирования напряжений в отливке, охлаждения МФМ (при повторном использовании). Однако реально работающая математическая модель прогрева МФ до сих пор не разработана.

В работах [1 – 4] рассмотрены подробно причины этого и проблемы создания математической модели такого процесса, в котором форма после затвердевания отливки (в момент времени  $t_{\text{затв}}$  и при  $x_{\phi\text{max}}$ ) прогревается затухающим источником тепла – охлаждающейся отливкой. В известных моделях отливку рассматривают как неиссякаемый источник тепла, что допустимо (с некоторой погрешностью) только до момента  $t_{\text{затв}}$  [3 – 6].

Поэтому на практике пользуются графиками прогрева формы двух видов: в функции времени  $t$  и глубины  $x_{\phi}$ . Наиболее распространено первое, названное «методом заливки», т. к. отражает изменение во времени показания термодатчиков, установленных на разных расстояниях от отливки [1, 6]. По этим же данным можно построить графики прогрева и в функции глубины  $x_{\phi}$  в любой интересующий нас момент времени.

Однако в этом методе очень трудно (практически невозможно) установить термодатчики в один ряд с шагом в 1 мм, чтобы получить более подробную картину температурного поля формы. Поэтому обычно термодатчики располагают с гораздо большим шагом. Размещение термодатчиков для измерения температур поверхности  $T_{\text{отл}}^{\text{п}}$  отливки и формы  $T_{\phi}^{\text{п}}$  также вызывает серьезные трудности. В результате некоторые исследователи не измеряют эти важные температуры [1, 5, 6]. Не обнаружены и математические модели функции  $T_{\phi}=f(x_{\phi})$ , описывающие прогрев после затвердевания отливки.

С учетом вышеизложенного рассмотрим возможность расчетного определения  $T_{\phi}$ ,  $T_{\phi}^{\text{п}}$ ,  $t$  и  $x_{\phi}$ , исходя из математического описания прогрева МФ с использованием ограниченного числа наиболее достоверных экспериментальных данных метода заливки (температур  $T_{\phi}$ , измеренных только в нескольких точках МФ).

Для математического описания использовали экспериментальные графики температурного поля неполой (с газифицируемой моделью) МФ из МФМ в виде дроби ДСК 08 для отливки «плиты» 150Ч150Ч15 мм из чугуна СЧ 20, полностью затвердевшей при  $t_{\text{затв}}=180$  с [3, 5]. Термодатчики размещены в центре отливки и на расстояниях  $x_{\phi}=4, 8, 12, 22$  и 50 мм от отливки (в одной плоскости).

По этим графикам создали таблицу исходной базы данных в электронном виде, а затем с помощью доступной и удобной в пользовании программы Microsoft Excel построили графики охлаждения отливки и прогрева формы двух видов, а именно: 1) для упомянутых расстояний  $x_{\phi}$  от отливки в зависимости от времени  $t$  (рис. 1); 2) для нескольких значений времени  $t$  в зависимости от упомянутых расстояний  $x_{\phi}$  (рис. 2). Особо отметим, что на этих рисунках размещены и графики, числовые значения величин, необходимые для их построения, рассчитаны методом интерполяции по формуле Лагранжа для трех точек [7]. При этом интерполяцию проводили с использованием функции  $T_{\phi}=f(t)$ , а полученные числовые значения вносили в базу данных. Экспериментальные и интерполяционные значения составили полную базу данных.

Неизмеренную температуру поверхности  $T_{отл}^п$  отливки вычислили (для необходимого времени  $t$ ) по формуле А. И. Вейника [1, 6] с использованием экспериментального значения температуры  $T_{отл}^ц$  в центре отливки:

$$T_{отл}^п = \frac{b_{отл} \cdot T_{отл}^ц + b_{\phi} \cdot T_{\phi}}{b_{отл} + b_{\phi}} \quad (1)$$

Теплоаккумуляцию  $b_{отл}$  для серого чугуна приняли постоянной  $14000 \frac{Вт \cdot с^{0,5}}{м^2 \cdot К}$  [6]. Теплоаккумуляцию же формы определяли двумя путями: 1) как постоянную величину эффективной теплоаккумуляции  $b_{\phi} = 1200 \frac{Вт \cdot с^{0,5}}{м^2 \cdot К}$ , определенную в этом эксперименте при  $t_{затв}$  (табл. 1,  $T_{отл}^п$ , строка 1); 2) как переменную величину  $b_{\phi}$  для измеренного текущего значения  $T_{\phi}$  на ближайшей к отливке глубине  $x_{\phi} = 4$  мм в этот же момент времени по формуле (2) зависимости локальной теплоаккумуляции от температуры (табл. 1, строка 2 для  $T_{отл}^п$ ) [2]

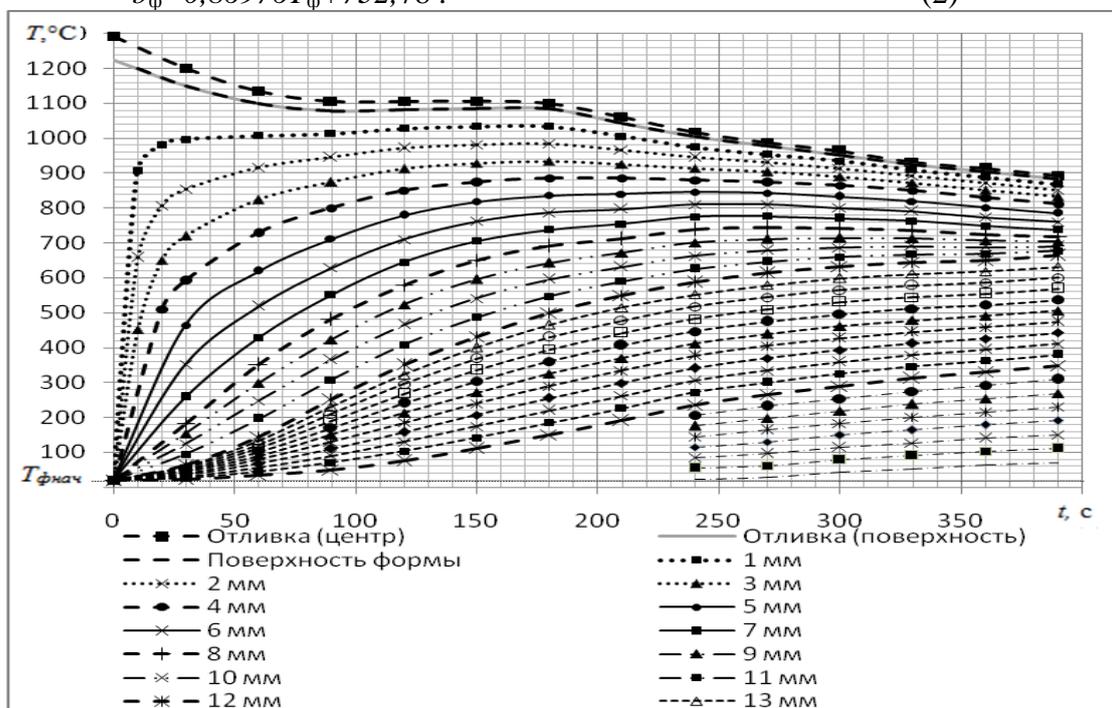
$$b_{\phi} = 0,86976 T_{\phi} + 732,78. \quad (2)$$


Рис. 1. Температурное поле отливки и формы (экспериментальные и интерполяционные графики)

При этом предположили, что погрешность такого расчета  $b_{\phi}$  существенно меньше по сравнению с  $b_{\phi}$ . Действительно, при  $T_{\phi} = 700$  °C теплоаккумуляция  $b_{\phi} = 609 \frac{Вт \cdot с^{0,5}}{м^2 \cdot К}$  (что почти вдвое меньше экспериментального постоянного эффективного значения  $b_{\phi}$ ), а при 1100 °C  $b_{\phi} = 1729 \frac{Вт \cdot с^{0,5}}{м^2 \cdot К}$  (что значительно больше этого же значения  $b_{\phi}$ ). Однако сравнение полученных расчетом двух значений  $T_{отл}^п$  (см. табл. 1, строки 1 и 2) показывает их небольшую разницу для одинакового времени и соответствие известным закономерностям убывания температуры от центра отливки к ее поверхности. Так, при 0 с разность же ( $T_{отл}^ц - T_{отл}^п$ ) составляет 59 °C и уменьшается до 8 °C при 390 с.

Таблица 1 температур отливки

Температура отливки, °C	Время, с														
$T_{отл}^ц$	10	20	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	360	390
	1261	1228	1200	1135	1106	1106	1106	1100	1068	1040	988	962	932	912	892

$T_{отл}^n$	1199	1174	1149	1098	1079	1083	1085	1084	1044	1004	977	952	924	904	884
	1203	1176	1150	1099	1078	1082	1084	1079	1050	1025	977	953	924	904	885

**Примечание.** Температура  $T_{отл}^n$  в строке 1 вычислена по формуле (1) с использованием  $b_{\phi}$ , а в строке 2 - с использованием  $b_{\phi}$ .

Используя первоначальную (исходную) базу данных, вычисленные по обоим вариантам значения температуры поверхности отливки  $T_{отл}^n$  (табл. 1) и приняв допущение, что температуры поверхности формы  $T_{\phi}^n$  и отливки  $T_{отл}^n$  равны между собой, получили с помощью программы Microsoft Excel графические зависимости  $T_{\phi}=f(x_{\phi})$  и квадратные уравнения их аппроксимации параболического вида  $T_{\phi}=ax_{\phi}^2 - bx_{\phi} + T_{\phi}^n$  (табл. 2, графа 2). Это позволило увидеть, что начальные участки многих графиков весьма близки к прямолинейным.

Таблица 2 квадратных уравнений аппроксимации зависимости  $T_{\phi}=f(x_{\phi})$

Время, с	По неполной базе данных	С использованием $T_{отл}^n$ (рис. 2)	Без использования $T_{отл}^n$ (рис. 2)
10	$T_{\phi} = 15,689x_{\phi}^2 - 274,91x_{\phi} + 1126,1$ RI = 0,9658	$T_{\phi} = 13,08x_{\phi}^2 - 236,68x_{\phi} + 1026,3$ RI = 0,9507	$T_{\phi} = 0,2197x_{\phi}^2 - 27,887x_{\phi} + 909,35$ RI = 0,9882
20	$T_{\phi} = 11,815x_{\phi}^2 - 232,01x_{\phi} + 1152,2$ RI = 0,9922	$T_{\phi} = 10,861x_{\phi}^2 - 218,03x_{\phi} + 1115,7$ RI = 0,9892	$T_{\phi} = 11,727x_{\phi}^2 - 230,71x_{\phi} + 1148,8$ RI = 0,9924
30	$T_{\phi} = 4,3906x_{\phi}^2 - 146,35x_{\phi} + 1127,3$ RI = 0,9915	$T_{\phi} = 1,1677x_{\phi}^2 - 76,096x_{\phi} + 931,6$ RI = 0,8874	$T_{\phi} = 1,2836x_{\phi}^2 - 82,98x_{\phi} + 992,24$ RI = 0,8983
60	$T_{\phi} = 3,129x_{\phi}^2 - 118,01x_{\phi} + 1114,2$ RI = 0,9972	$T_{\phi} = 1,1345x_{\phi}^2 - 76,363x_{\phi} + 1019,9$ RI = 0,9491	$T_{\phi} = 1,1761x_{\phi}^2 - 78,834x_{\phi} + 1041,7$ RI = 0,9569
90	$T_{\phi} = 2,0951x_{\phi}^2 - 94,131x_{\phi} + 1101,1$ RI = 0,9959	$T_{\phi} = 1,0487x_{\phi}^2 - 73,099x_{\phi} + 1063,5$ RI = 0,9818	$T_{\phi} = 1,0568x_{\phi}^2 - 73,579x_{\phi} + 1067,7$ RI = 0,9848
120	$T_{\phi} = 1,3609x_{\phi}^2 - 76,893x_{\phi} + 1102,3$ RI = 0,9965	$T_{\phi} = 0,9609x_{\phi}^2 - 69,501x_{\phi} + 1097,3$ RI = 0,9953	$T_{\phi} = 0,9532x_{\phi}^2 - 69,039x_{\phi} + 1093,3$ RI = 0,9959
150	$T_{\phi} = 0,8639x_{\phi}^2 - 64,1x_{\phi} + 1097,8$ RI = 0,9981	$T_{\phi} = 0,8597x_{\phi}^2 - 64,73x_{\phi} + 1108$ RI = 0,9991	$T_{\phi} = 0,8474x_{\phi}^2 - 63,997x_{\phi} + 1101,5$ RI = 0,999
180	$T_{\phi} = 0,5552x_{\phi}^2 - 54,975x_{\phi} + 1089$ RI = 0,9996	$T_{\phi} = 0,758x_{\phi}^2 - 59,617x_{\phi} + 1104,5$ RI = 0,9995	$T_{\phi} = 0,747x_{\phi}^2 - 58,967x_{\phi} + 1098,8$ RI = 0,9993
210	$T_{\phi} = 0,21x_{\phi}^2 - 43,663x_{\phi} + 1047,9$ RI = 0,9997	$T_{\phi} = 0,6428x_{\phi}^2 - 53,372x_{\phi} + 1078,3$ RI = 0,998	$T_{\phi} = 0,6242x_{\phi}^2 - 52,268x_{\phi} + 1068,6$ RI = 0,9975
240	$T_{\phi} = 0,5106x_{\phi}^2 - 45,969x_{\phi} + 1040,6$ RI = 0,9932	$T_{\phi} = 0,5245x_{\phi}^2 - 46,781x_{\phi} + 1047,2$ RI = 0,9956	$T_{\phi} = 0,5011x_{\phi}^2 - 45,392x_{\phi} + 1035$ RI = 0,9946
270	$T_{\phi} = 0,4351x_{\phi}^2 - 41,674x_{\phi} + 1017,8$ RI = 0,9908	$T_{\phi} = 0,4513x_{\phi}^2 - 42,621x_{\phi} + 1025,6$ RI = 0,994	$T_{\phi} = 0,4252x_{\phi}^2 - 41,072x_{\phi} + 1012$ RI = 0,9927
300	$T_{\phi} = 0,3769x_{\phi}^2 - 38,008x_{\phi} + 993,7$ RI = 0,9889	$T_{\phi} = 0,3942x_{\phi}^2 - 39,024x_{\phi} + 1002,3$ RI = 0,9926	$T_{\phi} = 0,3675x_{\phi}^2 - 37,443x_{\phi} + 988,37$ RI = 0,9911

330	$T_{\phi} = 0,3193x_{\phi}^2 - 34,371x_{\phi} + 965,53$ RI = 0,987	$T_{\phi} = 0,3364x_{\phi}^2 - 35,374x_{\phi} + 973,96$ RI = 0,9913	$T_{\phi} = 0,3097x_{\phi}^2 - 33,789x_{\phi} + 960$ RI = 0,9896
360	$T_{\phi} = 0,2786x_{\phi}^2 - 31,581x_{\phi} + 940,17$ RI = 0,9871	$T_{\phi} = 0,2912x_{\phi}^2 - 32,308x_{\phi} + 945,86$ RI = 0,9907	$T_{\phi} = 0,2689x_{\phi}^2 - 30,982x_{\phi} + 934,19$ RI = 0,9896
390	$T_{\phi} = 0,2305x_{\phi}^2 - 28,561x_{\phi} + 916,46$ RI = 0,9852	$T_{\phi} = 0,2912x_{\phi}^2 - 32,308x_{\phi} + 945,86$ RI = 0,9907	$T_{\phi} = 0,2197x_{\phi}^2 - 27,887x_{\phi} + 909,35$ RI = 0,9882

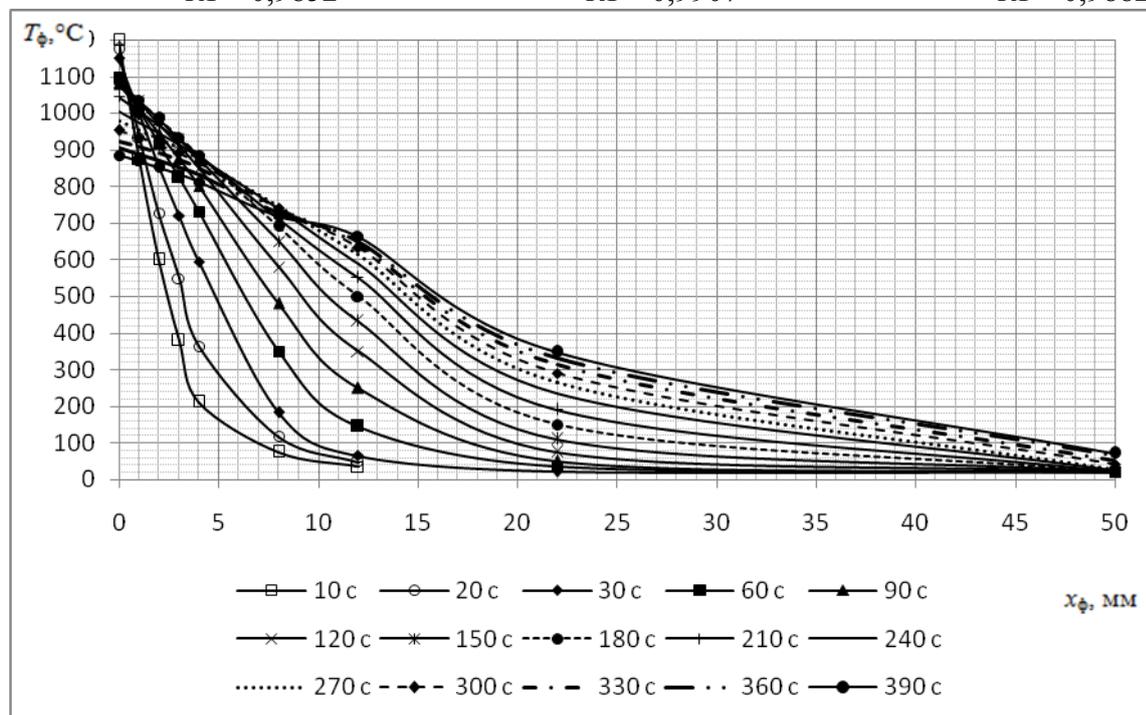


Рис. 2. Зависимости температуры  $T_{\phi}$  формы от расстояния  $x_{\phi}$  от отливки

Особо отметим, что такие уравнения позволяют вычислить температуру  $T_{\phi}$  и ее градиент для любого значения  $t$  и использовать их для анализа прогрева МФ отливками из чугуна с близкой толщиной стенки. Последний член этих уравнений позволяет оценить и температуру  $T_{\phi}^{\pi}$  поверхности формы.

Таблица 3 полиномиальных уравнений аппроксимации зависимости  $T_{\phi}=f(x_{\phi})$

Время $t$ , с	Уравнения аппроксимации
10	$T_{\phi} = 0,0151x_{\phi}^4 - 1,3424x_{\phi}^3 + 36,145x_{\phi}^2 - 359,22x_{\phi} + 1186,8$ ; RI = 0,9939
20	$T_{\phi} = -0,0002x_{\phi}^6 + 0,0195x_{\phi}^5 - 0,5754x_{\phi}^4 + 6,3309x_{\phi}^3 - 11,976x_{\phi}^2 - 219,4x_{\phi} + 1169,5$ ; RI = 0,9996
30	$T_{\phi} = 0,0009x_{\phi}^5 - 0,0761x_{\phi}^4 + 1,8841x_{\phi}^3 - 10,99x_{\phi}^2 - 113,68x_{\phi} + 1116,4$ ; RI = 0,9999
60	$T_{\phi} = 0,0006x_{\phi}^5 - 0,0556x_{\phi}^4 + 1,5987x_{\phi}^3 - 14,414x_{\phi}^2 - 50,363x_{\phi} + 1067,3$ ; RI = 0,9999
90	$T_{\phi} = 0,0003x_{\phi}^5 - 0,0288x_{\phi}^4 + 0,9262x_{\phi}^3 - 9,7653x_{\phi}^2 - 39,889x_{\phi} + 1059,7$ ; RI = 1
120	$T_{\phi} = 9E-05x_{\phi}^5 - 0,011x_{\phi}^4 + 0,432x_{\phi}^3 - 5,3548x_{\phi}^2 - 41,091x_{\phi} + 1073,1$ ; RI = 1
150	$T_{\phi} = -0,0017x_{\phi}^4 + 0,1407x_{\phi}^3 - 2,2717x_{\phi}^2 - 43,77x_{\phi} + 1078,3$ ; RI = 1
180	$T_{\phi} = -0,0006x_{\phi}^4 + 0,053x_{\phi}^3 - 0,6868x_{\phi}^2 - 46,624x_{\phi} + 1080$ ; RI = 1
210	$T_{\phi} = 8E-05x_{\phi}^5 - 0,0072x_{\phi}^4 + 0,2167x_{\phi}^3 - 2,4307x_{\phi}^2 - 32,065x_{\phi} + 1039,2$ ; RI = 1
240	$T_{\phi} = -0,0003x_{\phi}^4 + 0,0365x_{\phi}^3 - 1,0384x_{\phi}^2 - 26,925x_{\phi} + 1002$ ; RI = 1
270	$T_{\phi} = 9E-05x_{\phi}^5 - 0,0077x_{\phi}^4 + 0,2291x_{\phi}^3 - 2,9521x_{\phi}^2 - 15,94x_{\phi} + 972,32$ ; RI = 1

300	$T_{\Phi} = 0.0002x_{\Phi}^5 - 0.0194x_{\Phi}^4 + 0.5274x_{\Phi}^3 - 5.7017x_{\Phi}^2 - 4.3481x_{\Phi} + 942.7; RI = 1$
330	$T_{\Phi} = 0.0003x_{\Phi}^5 - 0.0228x_{\Phi}^4 + 0.6102x_{\Phi}^3 - 6.457x_{\Phi}^2 + 1.2065x_{\Phi} + 912.82, 4; RI = 1$
360	$T_{\Phi} = 0.0003x_{\Phi}^5 - 0.0255x_{\Phi}^4 + 0.6575x_{\Phi}^3 - 6.4889x_{\Phi}^2 + 0.834x_{\Phi} + 892.35; RI = 1$
390	$T_{\Phi} = 0.0181x_{\Phi}^3 - 1.0351x_{\Phi}^2 - 9.5607x_{\Phi} + 871.66; RI = 0.9981$

Уравнения аппроксимации (табл. 2, графа 2) получены с использованием температуры  $T_{\text{отл}}^{\pi}$  поверхности отливки, исходя из принятого допущения о равенстве ее с температурой  $T_{\Phi}^{\pi}$  поверхности формы. Чтобы устранить это допущение, из исходной базы данных исключили температуру  $T_{\text{отл}}^{\pi}$ , но добавили экспериментальные значения температуры  $T_{\Phi}$  при  $x_{\Phi}=50$  мм (для моментов времени до 210 с) и построили графики  $T_{\Phi}=f(x_{\Phi})$ , начинающиеся со значения  $x_{\Phi 1}=1$  мм (рис. 2). По этим графикам (рис. 2) получили аналогичные квадратные уравнения их аппроксимации (табл. 2, графа 4).

Также по графикам (рис. 2), но с использованием температуры  $T_{\text{отл}}^{\pi}$  поверхности отливки получили графические зависимости  $T_{\Phi}=f(x_{\Phi})$  и квадратные уравнения их аппроксимации  $T_{\Phi}=ax_{\Phi}^2 - bx_{\Phi} + T_{\Phi}^{\pi}$ , полученные значения сведены в табл. 2 (графа 3).

Анализ аппроксимирующих уравнений табл. 2 показывает, что их достоверности отличаются незначительно, а именно:  $RI = 0,9658 - 0,9997$  для уравнений графы 2;  $0,8874 - 0,9995$  для уравнений графы 3;  $0,8983 - 0,9993$  для уравнений графы 4.

Повысить достоверность можно двумя путями [7]: 1) увеличением степени уравнений при тех же исходных данных; 2) дополнением исходной базы данных числовыми значениями неизмеренных температур  $T_{\Phi}$  и глубины  $x_{\Phi}$ , полученными по интерполяционной формуле Лагранжа для интересующих нас моментов времени [2].

Полиномиальные уравнения 3 – 6 степени, полученные по исходным данным и являющиеся результатом реализации первого пути, приведены в табл. 3. Они действительно повышают достоверность аппроксимации до  $RI = 0.9981 - 1,0$  (за исключением  $t = 10$  с). Для их решения необходимо применять дополнительные программы.

Для реализации второго пути повышения достоверности уравнений аппроксимации зависимости  $T_{\Phi}=f(x_{\Phi})$  на всем интервале  $x_{\Phi}$  от 0 до 50 мм использовали все имеющиеся данные (экспериментальные, интерполяционные и промежуточные значения, снятые с графика (рис. 1)). В результате получили все значения температуры с шагом  $x_{\Phi} = 1$  мм и графики (рис. 3). По этим

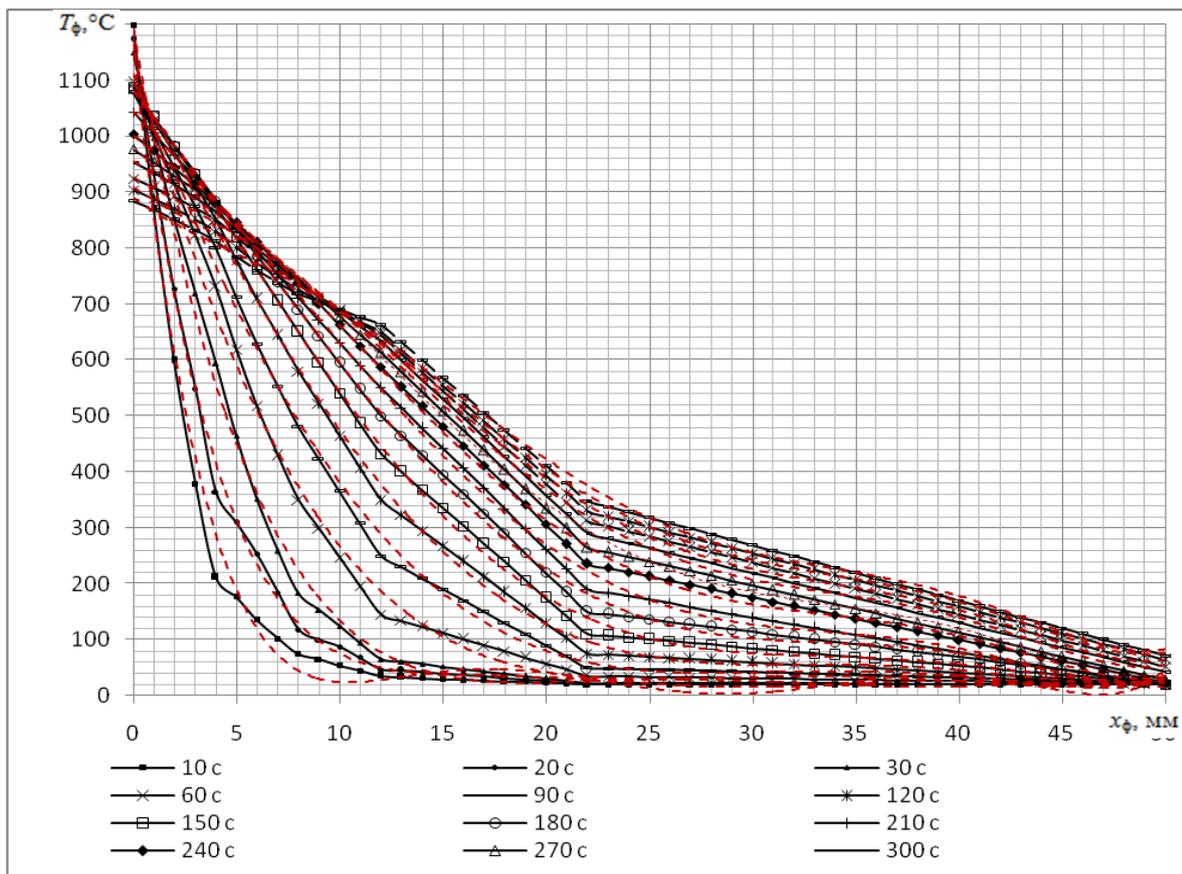


Рис. 3. Зависимости температуры  $T_{\phi}$  формы от расстояния  $x_{\phi}$  от отливки (линии аппроксимации показаны пунктиром)

графикам (рис. 3) получили линии тренда и квадратные уравнения на упомянутом интервале с достоверностью  $RI = 0,5678 - 0,9917$ . Однако она оказалась ниже, чем предыдущие квадратные уравнения (табл. 2). Поэтому можно сделать вывод о большей эффективности первого пути.

Искомую температуру  $T_{\phi}$  на необходимой глубине  $x_{\phi}$  в любой момент времени  $t$  определяют подстановкой этого значения  $x_{\phi}$  в одно из уравнений табл. 2 или 3, соответствующее требуемой величине  $x_{\phi}$ . Если такого уравнения в списке нет, то его легко получить с использованием уравнения Лагранжа [7].

Проверка адекватности исследованных уравнений при расчете по ним температуры  $T_{\phi}$  для  $x_{\phi} = 22 \text{ мм}$  при времени  $t = 180$  и  $240 \text{ с}$  показала наибольшее приближение к экспериментальным значениям  $T_{\phi} = 150$  и  $236 \text{ }^{\circ}\text{C}$  для полиномиальных уравнений из табл. 3.

Средне-интегральную температуру  $T_{\text{нсл}}$  нагрева слоя  $x_{\phi}=50 \text{ мм}$ , равного, например, толщине стенки формы, при выбивке отливки по истечении времени, например,  $t = 390 \text{ с}$  можно получить после интегрирования последнего из уравнений графы 2 табл. 2 и деления результата на  $x_{\phi}=50 \text{ мм}$ . Она составляет  $\sim 407 \text{ }^{\circ}\text{C}$  и является исходной для разработки технологии охлаждения МФМ.

По полной базе данных построили с использованием программы Microsoft Excel пространственный график (сплайн) функции  $T_{\phi} = f(t, x_{\phi})$ , показанный на рис. 4. Рассмотрим пример определения температуры  $T_{\phi}$  по этому графику для расстояния  $20 \text{ мм}$  и времени  $150 \text{ с}$ . На осях  $x_{\phi}$  и  $t$  выделяем  $20 \text{ мм}$  и  $150 \text{ с}$ , соответственно (поз. 1 на рис. 4). Далее с координатной плоскости  $x_{\phi} - t$  переходим на поверхность графика (поз. 2 на рис. 4). В итоге линии сетки графика, соответствующие этим расстоянию и времени, пересекутся (точка 3).

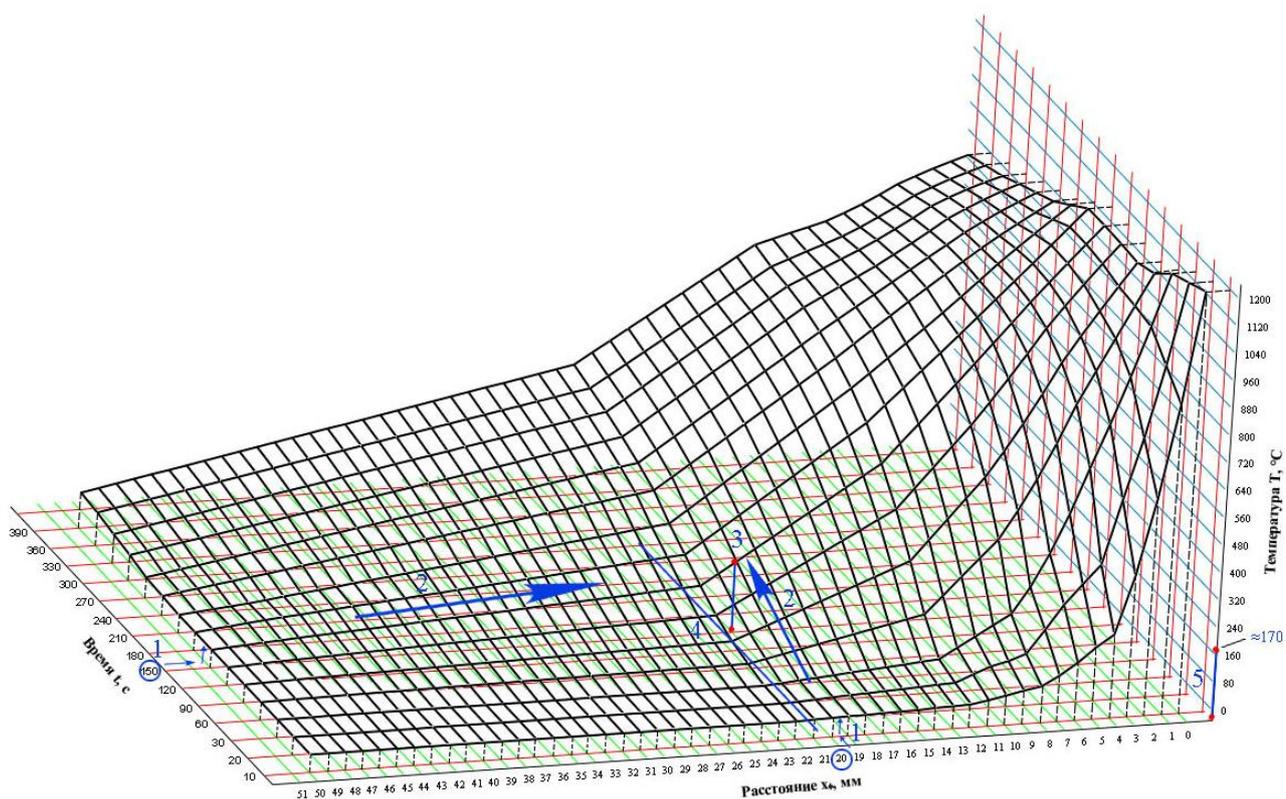


Рис. 4. Пространственный график (сплайн) функции  $T_{\phi} = f(t, x_{\phi})$

После этого условно выделим линию координатной сетки, соответствующую 20 мм (поз. 4 на рис. 4), либо линию координатной сетки, соответствующую 150 с (в примере не рассматривается). Далее из точки 3 проводим на выделенную ось линию, параллельную оси температуры. Измерив полученную линию, сопоставляем ее значение со шкалой на оси  $T_{\phi}$  температуры (поз. 5 на рис. 4) и определяем искомую температуру ( $\approx 170^{\circ}\text{C}$ ).

**Выводы.** Предложенный метод определения (по сравнительно малому числу экспериментальных величин  $T_{\phi}$ ) любого необходимого количества интерполяционных значений  $x_{\phi}$ ,  $T_{\phi}$  и  $t$  позволяет:

- создать графики и математическое описание уравнениями квадратной функции, полиномами 4 - 6 степени для зависимостей  $T_{\phi} = f(x_{\phi})$  при любых  $x_{\phi}$  и  $t$ , соответствующих условиям эксперимента (в т. ч. за пределами  $x_{\phi\text{max}}$  и  $t_{\text{затв}}$ );

- определять кроме  $T_{\phi}$ ,  $x_{\phi}$ ,  $x_{\phi\text{max}}$ ,  $t$ ,  $t_{\text{затв}}$ ,  $n_{\phi}$  еще и  $T_{\phi}^{\text{н}}$ ,  $T_{\text{отл}}^{\text{н}}$ ,  $T_{\text{исл}}$ , скорость прогрева и градиент температуры с точностью выше, чем при использовании известных аналитических методов [3], применяющих недостаточно точные значения эффективных термофизических характеристики  $\lambda_{\text{эф}}$ ,  $c_{\text{эф}}$ ,  $b_{\text{эф}}$ ,  $a_{\text{эф}}$ , показателя  $n_{\phi}$  и неизмеренных температур  $T_{\phi}^{\text{н}}$ ,  $T_{\text{отл}}^{\text{н}}$  [1, 2].

- реализовать его на ЭВМ с малой трудоемкостью при создании соответствующей программы;

- построить пространственный график (сплайн) функции  $T_{\phi} = f(t, x_{\phi})$ .

#### Список литературы

1. Левшин Г. Е., Павлюк К. И. К определению термофизических характеристик материала разовой формы // Заготовительные производства в машиностроении, 2009. – № 7. – С. 10 – 16.
2. Левшин Г. Е., Павлюк К. И. О термофизических характеристиках магнитомягких формовочных материалов и магнитных форм // Заготовительные производства в машиностроении, 2010. – № 7. – С. 7 – 11.

3. Левшин Г. Е., Павлюк К. И. О математическом моделировании прогрева литейной разовой объемной формы // Заготовительные производства в машиностроении, 2011. – № 11. – С. 6 – 9.

4. Левшин Г. Е. Проблемы математического моделирования прогрева разовой объемной формы // Ползуновский альманах, 2011. – № 4. – С. 26 – 28.

5. Левшин Г. Е., Матюшков И. Л. Литье в магнитные формы: монография. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2006. – 688 с.

6. Вейник А. И. Термодинамика литейной формы. – М.: Машиностроение, 1968. – 335 с.

7. Основы научных исследований в литейном производстве / под ред. А. Е. Кривошеева. – Киев-Донецк: Вища шк., 1979. – 168 с.

### ЛИТЕЙНЫЕ МАГНИТНЫЕ СТЕРЖНИ НЕКРУГЛОГО СЕЧЕНИЯ С КОНЦЕНТРАТОРАМИ МАГНИТНОЙ ИНДУКЦИИ

Левшин Г. Е. – д.т.н., профессор, Ершов Р. Ю. – студент, Костылев А. С. – студент.  
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

В статье рассмотрены конструкция и технология изготовления литейного магнитного стержня прямоугольного сечения с прямоугольными полюсными наконечниками (ПН), размер которых не превышает наибольший поперечный размер стержня. При изготовлении стержня с квадратными полюсными наконечниками на углах возле ПН наблюдаются флоккулы. Для их устранения на углах ПН размещены концентраторы магнитной индукции пирамидальной формы. Стержень содержит упрочненный слой намагничивающегося формовочного материала (ФМ) любого некруглого поперечного сечения, электрическую катушку и сердечник, образующие электромагнитную систему, ПН с таким же по конфигурации поперечным сечением, как у слоя, на границе их контакта. При этом ПН выполнены быстросменными, один из них имеет поперечные размеры меньше, чем соответствующие размеры отливки, для извлечения намагничивающегося устройства (НУ), образованного совокупностью электромагнитной системы и ПН, из полости отливки.

При изготовлении стержней с круглым поперечным сечением появляющиеся иногда возле ПН флоккулы устраняли путем выполнения скосов, обращенных под углом  $\sim 45^\circ$  к слою формовочного материала [1]. Это обеспечивало достаточный поворот вектора магнитной индукции. Однако при изготовлении стержня квадратного сечения и использовании ПН с таким же сечением на углах стержня возле ПН появлялись флоккулы (рис. 3, фото).

Для их устранения и попутного решения других задач разработаны конструкция магнитного стержня и способ его изготовления (рис. 1) [2, 3].

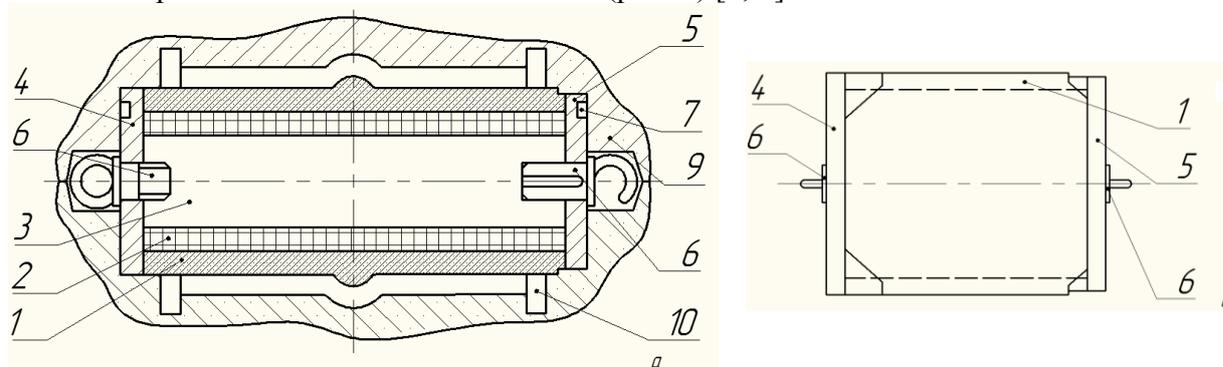


Рисунок 1 – Стержень прямоугольного сечения с комбинированной знаковой частью в форме с горизонтальным разъемом (продольный разрез (а)) и вне формы (б)

Он содержит упрочненный слой 1 намагничивающегося формовочного материала (ФМ) круглого и любого некруглого поперечного сечения, в частности, овального, прямоугольного, трех-, пяти-, шести-, семигранного, электрическую катушку 2 и сердечник 3,

образующие электромагнитную систему (ЭМС), полюсные наконечники (ПН) 4 и 5 с таким же по конфигурации поперечным сечением, как у слоя 1, на границе их контакта. При этом ПН 4 и 5 выполнены быстрозаменяемыми, а по меньшей мере один из них, например наконечник 5, может иметь поперечные размеры меньше, чем соответствующие размеры отливки, для извлечения намагничивающего устройства (НУ), образованного совокупностью ЭМС и ПН 4 и 5, из полости отливки. Быстрая замена наконечников позволяет изготавливать с помощью одной и той же ЭМС и другие стержни меньших поперечных размеров, т. е. делает систему универсальной для некоторой группы стержней и отливок.

Для повышения надежности извлечения один из ПН 4 и 5, например 5, может быть прикреплен к торцу сердечника 3 быстросъемным элементом 6. Элемент 6 может быть выполнен в виде разрезного штифта или винта с короткой резьбой и большим шагом, что позволяет произвести и его быструю замену. Такое крепление необходимо для обеспечения плотного прилегания полюсных наконечников 4 и 5 к сердечнику 3 во время изготовления стержня. Для фиксации необходимого положения некруглых полюсных наконечников возможно применение штифтов.

Для закрепления ПН 4 и 5 или только одного из них может быть использован быстросъемный элемент 6, снабженный кольцом или крючком, стационарным или шарнирным, для переноса в горизонтальном и вертикальном положении НУ и стержня с помощью захватного приспособления при размещении НУ в формообразующей оснастке, извлечении стержня из нее и установке в форму или извлечении НУ из отливки. Вместо кольца или крючка или совместно с кольцом или крючком ПН могут быть снабжены глухими отверстиями 7 для переноса НУ и стержня, выполненными с внешней стороны.

Для подвода электричества через наконечник 4 последний соединен, например, с изолированным проводником со штепсельным разъемом (не показаны).

ПН одновременно выполняют функцию знаковой части (знака) полностью или в совокупности с некоторым участком слоя 1. Вынесение наконечников за пределы отливки для размещения в знаковой части позволяет (по сравнению с известными решениями [1]) создать более равномерный по толщине и податливости слой 1, исключить заклинивание НУ в полости отливки и в совокупности с уменьшенными поперечными размерами наконечника 5 и (или) возможностью быстрого его съема беспрепятственно извлечь НУ из полости отливки.

Выполнение образующей поверхности ПН 4 и 5 без скосов в сторону слоя 1 позволяет использовать эту поверхность наконечников в качестве надежной опоры в знаковой части горизонтального стержня и формы. При вертикальном расположении стержня в форме на боковых поверхностях наконечника могут быть выполнены обычные формовочные уклоны, а внешняя поверхность служит опорой.

При изготовлении отливок с многогранными внутренними полостями, то есть при соответствующем использовании многогранных (многоугольных в поперечном сечении) ПН 4 и 5, на углах полюсной поверхности этих ПН, соприкасающейся со слоем 1, размещены концентраторы 8 магнитной индукции с уменьшающимся в направлении от этой поверхности поперечным сечением, предотвращающие появление разрушения слоя 1 в виде флоккул в местах, прилегающих к углам наконечника (рис. 2, б и 3).

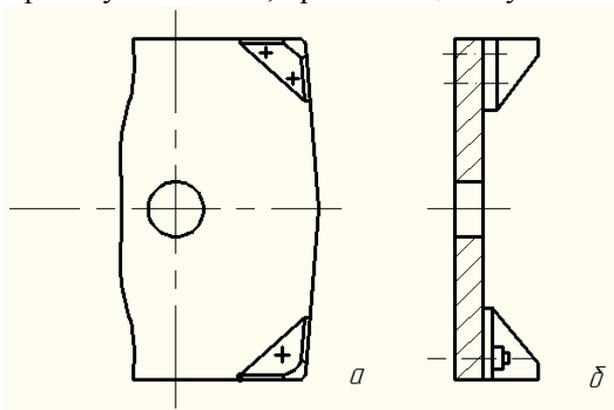


Рисунок 2 – Полюсный наконечник с концентраторами магнитной индукции на штифтах (вверху) и на винте (внизу): пирамидальными (а) и в виде уголков (б)

Концентраторы 8 выполнены пирамидальными или в виде заостренных уголков. Вершины концентраторов 8 обращены к отливке, а их длина определяется

экспериментально в пределах 10 – 30 мм для мелких и средних стержней и может быть различной (рис. 2, б). Концентраторы 8 наиболее целесообразно размещать в знаковой части стержня, но возможно расположение и в полости отливки, полное или частичное. Заостренные уголки имеют меньший расход материала, чем пирамиды, однако их труднее разместить на штифтах. Концентраторы 8 могут быть выполнены как одно целое с наконечником, отдельно с последующим креплением к наконечнику или плотно размещены на штифтах без крепления.

Стержень предназначен для установки в литейную форму 9 с рабочей полостью 10. Он может устанавливаться вертикально или горизонтально с размещением ПН, например 5, в ответном гнезде знаковой части формы, в том числе совместно с частью слоя 1. При вертикальной установке стержня в форму 9, прочность которой больше давления на нее массы стержня, опорной поверхностью стержня является внешняя круглая плоская поверхность ПН, например 5, а при горизонтальной – образующая поверхность обоих ПН. В этом случае концентраторы 8, если применяются, то соприкасаются с отливкой. Для формы 9 с меньшей прочностью в ответных гнездах знаковых частей формы размещаются ПН 4 и 5 совместно с частью слоя 1, что обеспечивает дополнительно опору стержня на форму и часть слоя 1.

Стержень работает следующим образом [2, 3]. После формирования наружной рабочей поверхности слоя 1 с помощью формообразующей оснастки и подачи на катушку 2 безопасного электрического постоянного напряжения до 110 В появляющееся поле с необходимой индукцией практически мгновенно намагничивает сердечник 3, ПН 4 и 5, слой 1 намагничивающегося формовочного материала, частицы которого, сцепляясь между собой, образуют прочную систему. При этом ПН 5 надежно примагничивается к сердечнику 3 и слою 1, что позволяет при необходимости удалить его механическое крепление 6 уже в оснастке или после извлечения из нее. Возможно его удаление и после изготовления отливки.

Магнитный поток, создаваемый катушкой 1, усиливается сердечником 3, полюсными наконечниками 4 и 5 и материалом слоя 1 тем в большей степени, чем выше их магнитная проницаемость. На своем пути поток должен совершать повороты на 90° при переходах сердечник – наконечник и наконечник – слой (или наконечник – воздух межполюсного пространства при отсутствии слоя). В случае круглых сердечника, катушки и наконечника поток в любом поперечном сечении межполюсного пространства равномерен, а вектор индукции имеет одинаковое направление в любой точке воображаемой окружности на полюсной поверхности наконечника. Это создает условия получения наружной рабочей поверхности круглого и овального слоя 1 без флоккул после удаления стержня из оснастки.

Однако чем больше поперечное сечение слоя 1 и наконечника отличается от круглого, становясь многогранным, тем выше вероятность появления флоккул в углах на стыке граней возле наконечника из-за разного направления и значения индукции в углах и на плоской поверхности граней слоя 1. В углах ПН вектор индукции не поворачивается на необходимые 90°. Поэтому в таких углах наконечника на его поверхности, обращенной к слою 1, установлены концентраторы 8 магнитной индукции из материала с высокой магнитной проницаемостью.

При необходимости на рабочую поверхность стержня наносится быстросохнущее противопопригарное покрытие, и он устанавливается в литейную форму 9, в рабочую полость 10 которой заливается расплав.

После объемного или поверхностного затвердевания отливки отключается питание катушки 2. Поле, намагничивание всех элементов стержня и притяжение быстросъемного наконечника 5 исчезают, слой 1 материала разупрочняется и вновь становится сыпучим и более податливым, чем упрочненный. Возможно постепенное уменьшение напряжения, индукции и прочности для необходимого управления податливостью и усадкой отливки. Поэтому брак по горячим трещинам уменьшается, если концентраторы 8 находятся вне полости отливки в знаковой части стержня.

После удаления отливки из формы формовочный материал высыпается из полости отливки, а НУ извлекается из нее захватом за кольцо или крючок быстросъемного элемента 6 соответствующим приспособлением даже вместе с ПН 5, так как он проходит через всю полость отливки. В случае непредвиденного заклинивания ПН 5 может быть отделен от сердечника 3.

Предложенная конструкция НУ и стержня после ее изготовления опробована с положительным результатом при изготовлении отливок из алюминиевых сплавов (рис. 3).



Рисунок 3 – фотографии НУ (а), стержня с флоккулами и без флоккул (б) и отливки (в)

По сравнению с известной эта конструкция стержня устраняет появление специфических разрушений в виде флоккул намагниченных частиц на поверхности слоя возле наконечника при изготовлении многогранных стержней.

#### Список литературы

1. Левшин Г. Е., Матюшков И. Л. Литье в магнитные формы. – Барнаул: АлтГТУ, 2006. – 688 с.
2. Пат. 2424077 РФ. МПК В22С 9/10. Литейный магнитный стержень /Г. Е. Левшин. – 9 с.
3. Пат. 2424866 РФ. МПК В22С 9/10. Способ изготовления группы литейных магнитных стержней разного вида /Г. Е. Левшин. – 7 с.

#### ЛИТЕЙНЫЙ МАГНИТНЫЙ СТЕРЖЕНЬ С ЛОКАЛЬНЫМИ УСИЛИТЕЛЯМИ МАГНИТНОЙ ИНДУКЦИИ.

Левшин Г. Е. – д.т.н, профессор, Ершов Р. Ю. – студент, Костылев А. С. – студент.  
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

В статье рассмотрены конструкция и технология изготовления литейного магнитного стержня круглого и некруглого поперечного сечения с любыми полюсными наконечниками (ПН). Предложенная конструкция позволяет с помощью одного намагничивающего устройства (НУ) изготавливать группу стержней близких размеров и конфигураций для получения разных отливок. Это достигается применением локальных усилителей магнитной индукции, расположенных между полюсами НУ в слое формовочного материала. Они могут быть выполнены в виде колец, разрезных колец, полуколец, клетки из проволоки, «беличьих» колес или отоженной втулочно-роликовой цепи с возможностью полного или частичного охвата катушки. Наружный поперечный размер усилителя меньше соответствующего внутреннего размера полости отливки и наружного поперечного размера по меньшей мере одного наконечника. Рекомендуемая минимальная длина усилителя составляет 10 – 30 мм для стержней малого и среднего размеров.

При изготовлении отливок с магнитными стержнями возникают ситуации, когда отверстия или полости в отливках отличаются конфигурацией или размерами поперечного сечения на 1 – 30 мм, а по протяженности на 1 – 60 мм [1]. Если изготавливать индивидуальное намагничивающие устройства (НУ) для каждой отливки и стержня, то повысятся расходы, трудоемкость и длительность подготовки производства. Поэтому для их уменьшения

целесообразно иметь унифицированные НУ или электромагнитную систему (ЭМС), позволяющие изготовить группу близких по размерам и конфигурации стержней для группы отливок.

При одинаковых рассчитанных значениях

рабочей магнитной индукции  $B_{ep}$  и поперечных размерах ЭМС с увеличением толщины слоя формовочного материала стержня его прочность становится недостаточной, и он может обрушиться под собственным весом. Для устранения этого и попутного решения других задач разработаны специальная конструкция литейного магнитного стержня и способ его изготовления (рис. 1) [2, 3].

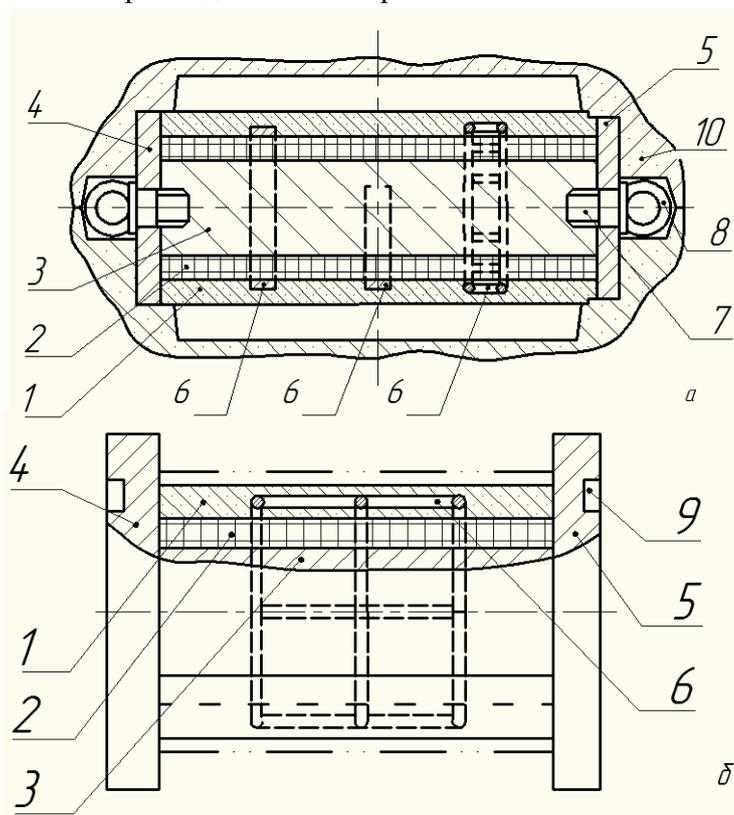


Рис. 1. Стержень с локальными усилителями в виде: а) кольца, разрезного кольца и «белчьего» колеса и с быстросъемным наконечником, имеющим размеры меньше размеров полости отливки, установленный в форме с горизонтальным разъемом (продольный разрез); б) клетки из проволоки и с круглыми наконечниками, диаметр которых превышает поперечный размер стержня и отливки

Стержень круглого и любого некруглого поперечного сечения, например, овального, прямоугольного, трех-, пяти-, шести-, семигранного и т. п., содержит упрочненный слой 1 намагниченного формовочного материала, электрическую катушку 2, сердечник 3, крайние полюсные наконечники (ПН) 4 и 5 круглого или некруглого поперечного сечения с цилиндрической, конусной или многогранной образующей поверхностью, один или несколько локальных усилителей 6 магнитной индукции, быстросъемный элемент 7 крепления ПН к сердечнику (рис. 1) [2]. ПН 4 и 5 расположены в знаковой части и выполнены быстрозаменяемыми. Усилители 6, по меньшей мере один, размещены между ПН 4 и 5 в слое 1 намагниченного формовочного материала и изготовлены из магнитомягкого материала. Катушка 2 и сердечник 3 образуют двухполюсную ЭМС, а совместно с полюсными наконечниками – двухполюсное НУ.

Наконечники 4 и 5 выполнены отдельно от сердечника 3 для обеспечения быстрого съема и замены, но их положение относительно сердечника 3 зафиксировано с помощью штифтов или креплением их к сердечнику 3 известным образом, например крепежным элементом 7 в виде разрезного штифта или винта с короткой резьбой и большим шагом. Такая фиксация предотвращает взаимное смещение ЭМС относительно наконечников 4 и 5 во время заполнения и уплотнения формовочного материала. Крепежный элемент 7 может быть снабжен захватным приспособлением 8, выполненным в виде кольца или крючка, для переноса НУ и стержня в горизонтальном и вертикальном положениях, особенно при извлечении НУ из полости отливки.

Для подвода электричества через наконечник 4 последний соединен, например, изолированным проводником со штепсельным разъемом (не показано).

В ПН 4 и 5 со стороны торцов могут быть выполнены глухие отверстия 9 для переноса в горизонтальном положении НУ и стержня с помощью другого захватного приспособления

(не показано) при размещении НУ в формообразующей оснастке, извлечении стержня из нее и установке в литейную форму 10.

ПН 4 и 5 одновременно выполняют функцию знаковой части (знака) полностью или в совокупности с некоторым участком слоя 1. Вынесение наконечников 4 и 5 за пределы отливки для размещения в знаковой части позволяет создать (по сравнению с известными решениями [1]) более равномерный по толщине и податливости слой 1, исключить заклинивание НУ в полости отливки и в совокупности с возможностью быстрого съема наконечника 5 беспрепятственно извлечь НУ или из полости отливки.

Выполнение наконечников 4 и 5 цилиндрическими, а именно с цилиндрической образующей, позволяет исключить скосы в сторону слоя 1, рекомендуемые в известных решениях [1], и использовать цилиндрическую поверхность наконечников в качестве надежной опоры в знаковой части горизонтального стержня и формы 10.

Локальные усилители 6 могут быть выполнены в виде колец, или разрезных колец, или полуколец, или клетки из проволоки, или «беличьих» колес, или отоженной втулочно-роликовой цепи, с возможностью полного или частичного охвата катушки 2 (рис. 1, 2). Наружный поперечный размер усилителя 6 меньше соответствующего внутреннего размера полости отливки и наружного поперечного размера по меньшей мере одного наконечника. Рекомендуемая минимальная длина усилителя 6 составляет 10-30 мм для стержней малого и среднего размеров. С увеличением размеров стержня она может быть также увеличена. Усилители 6 могут быть прикреплены к наружной поверхности катушки 1 хомутами, стяжками, клеем. Количество усилителей 6 определяется длиной стержня и требуемым эффектом.

Стержень работает следующим образом [2, 3]. После формирования наружной рабочей поверхности слоя 1 с помощью формообразующей оснастки и подачи на катушку 2 безопасного электрического постоянного напряжения до 110 В появляющееся поле с необходимой индукцией практически мгновенно намагничивает сердечник 3, наконечники 4 и 5, локальные усилители 6, слой 1 формовочного материала, частицы которого, сцепляясь между собой, образуют прочную систему. При этом быстросъемный ПН 5 надежно примагничивается к сердечнику 3 и слою 1, что позволяет удалить его крепежный элемент 7 уже в оснастке или после извлечения из нее. Возможно удаление элемента 7 и после изготовления отливки.

Магнитный поток, создаваемый катушкой 1, усиливается сердечником 3, наконечниками 4 и 5, локальными усилителями 6 и материалом слоя 1 тем в большей степени, чем выше их магнитная проницаемость. На своем пути поток совершает повороты на  $90^\circ$  при переходах: сердечник – наконечник и наконечник – слой, или наконечник – воздух межполюсного пространства при отсутствии слоя. В случае круглых сердечника, катушки и наконечника поток в любом поперечном сечении межполюсного пространства равномерен, а вектор индукции имеет одинаковое направление в любой точке воображаемой окружности на полюсной поверхности наконечника. Это создает условия получения цилиндрической, овальной и многогранной наружной рабочей поверхности слоя 1 без флоккул после удаления стержня из оснастки. Поэтому диаметр наконечника 4 или 5 должен превышать наибольший поперечный размер стержня.

Локальный усилитель 6, намагничиваясь, становится магнитом, который увеличивает значение магнитной индукции и примагничивает частицы формовочного материала возле него и более надежно удерживает прилегающую к нему часть слоя 1. При этом появляется возможность изготовления с помощью той же ЭМС стержня с большим поперечным сечением или уменьшить ток в катушке 2 и, соответственно, снизить расход электроэнергии до 25 -- 30 %. Применением более одного усилителя 6 этот эффект увеличивается, особенно при изготовлении длинного стержня.

При необходимости на рабочую поверхность стержня наносится быстросохнущее противопопригарное покрытие и он устанавливается в форму 10, в которую заливается расплав. Стержень может устанавливаться вертикально или горизонтально с размещением полюсного

наконечника-знака в ответном гнезде знаковой части формы 10, в том числе совместно с частью слоя 1. При вертикальной установке его опорной поверхностью является внешняя плоская поверхность наконечника, например наконечника 5, а при горизонтальной – часть цилиндрической образующей поверхности наконечника. Последний вариант установки применим для литейной формы, прочность которой больше давления на нее массы стержня. В этом случае круглая полюсная поверхность наконечника соприкасается с отливкой и формирует ее часть. Поэтому диаметр наконечника должен превышать наибольший поперечный размер отливки на границе их контакта (на рис. 1, б контуры отливки показаны штрих-пунктирной линией). Для формы с меньшей прочностью в ответных гнездах знаковых частей формы размещаются наконечники-знаки 4 и 5 совместно с частью слоя 1, что обеспечивает дополнительно опору стержня на форму и часть слоя 1 (рис. 1).

После объемного или поверхностного затвердевания отливки отключается питание катушки 2. Поле, намагничивание всех элементов стержня и притяжение быстросъемного наконечника 5 исчезают, слой 1 материала разупрочняется и вновь становится сыпучим и более податливым, чем упрочненный. Возможно постепенное уменьшение напряжения, индукции и прочности для необходимого управления податливостью и усадкой отливки. Поэтому брак по горячим трещинам уменьшается.

После удаления отливки из формы с помощью захватных приспособлений 8, входящих в отверстия 9, формовочный материал свободно высыпается из полости отливки, а НУ извлекается из нее, например, за кольцо или крючок 8, если быстросъемный полюсный наконечник 5 уже отделен от сердечника 3 или имеет размеры меньше соответствующих размеров полости отливки. Это техническое решение реализовано при изготовлении алюминиевых отливок.

По сравнению со стержнем без усилителя предложенное решение имеет следующие основные преимущества:

- расширяет область применения стержня и ЭМС, повышая их универсальность, и позволяет с помощью одной универсальной ЭМС и разных быстрозаменяемых наконечников изготавливать группу литейных стержней и отливок разных конфигурации и размеров поперечного сечения и длины (в определенном диапазоне) в соответствующей каждому виду стержня оснастке, что обеспечивает также снижение затрат времени и средств на подготовку производства и изготовление этой группы стержней разных видов. Эти возможности дополнительно расширяются при использовании локальных усилителей;

- позволяет снизить мощность катушки, расход электроэнергии до 25 – 30 % на упрочнение формовочного материала при дополнительном использовании локальных усилителей в случае изготовления одинаковых стержней.



Рис. 2. Фотографии одного из разработанных НУ с усилителями разных видов

#### Список литературы

4. Левшин Г. Е., Матюшков И. Л. Литье в магнитные формы. – Барнаул: АлтГТУ, 2006. – 688 с.

5. Пат. 2424077 РФ. МПК В22С 9/10. Литейный магнитный стержень /Г.Е. Левшин – 9 с.
6. Пат. 2424868 РФ. МПК В22С 9/10. Способ изготовления группы литейных магнитных стержней разного вида /Г. Е. Левшин. – 7 с.

## СПОСОБ ШТАМПОВКИ ПОКОВОК ТИПА КРЕСТОВИН В ШТАМПЕ С ЗАМКНУТОЙ СИЛОВОЙ СИСТЕМОЙ

Степанов И.В., Савостина К.С., Казанцева Ю.Е. – студенты,  
Поксеваткин М.И. – к.т.н., профессор, Дунаев К. Ю. - аспирант  
Алтайский государственный технический университет (г.Барнаул)

В известных способах штамповки поковок типа крестовин в штампе с горизонтальным разъемом зажим матриц осуществляют посредством упругих элементов в виде пружинных блоков.

Основным недостатком таких способов является пониженная стойкость штампа и качество поковок, обусловленные затеканием штампуемого металла в плоскость разреза матриц, так как использование упругого элемента для зажима матриц не обеспечивает плотность их сжатия на протяжении всего процесса формирования поковки, поскольку усилия зажима матриц не согласуются с распорными усилиями, воспринимаемыми матрицами со стороны деформируемого металла в процессе штамповки. Кроме того, для сжатия упругих элементов необходимы дополнительные энергозатраты.

Разработан способ штамповки поковок типа крестовин с зажимом матриц посредством усилия формирования поковки, снимаемого с выталкивателя в процессе штамповки, и прикладываемого к верхней матрице в направлении действия пуансона (рисунок 1).

Реализация способа осуществляется в следующем порядке.

На опорной плите 10 жестко закрепляется нижняя матрица 7, на которую устанавливается верхняя матрица 2. На боковых сторонах матриц выполнены сквозные пазы, в которых размещают зажимные тяги 3. Участки тяг, размещенные в верхней матрице 2, устанавливают по посадке с натягом (Н7/р6) и крепят винтами 5, а участки тяг в пазах нижней матрицы 7 – по посадке с зазором (Н7/г8) что обеспечивает точное совмещение обеих матриц в процессе их работы.

Заготовка укладывается в полость штампа, образованную ручьями матриц, на торец выталкивателя 8. Под действием пуансона 1 осуществляется формирование поковки 6 с удалением избытка металла в компенсационные полости 4. Часть усилия ( $P_{шт}$ ) штамповки передается на выталкиватель 8, опирающийся на траверсу 9., которая жестко связана с зажимными тягами 3, передающими усилие зажима на верхнюю матрицу 2. С повышением сопротивления деформации в полости штампа и возрастанием вероятности выхода штампуемого металла в разъем матриц соответственно усиливается зажим матриц, что предотвращает образование заусенца в раземе матриц 2 и 7.

После формирования поковки 6 толкатель 11, воздействует на траверсу 9, при этом поднимается верхняя матрица 3 и одновременно удаляется из ручья нижней матрицы 7.

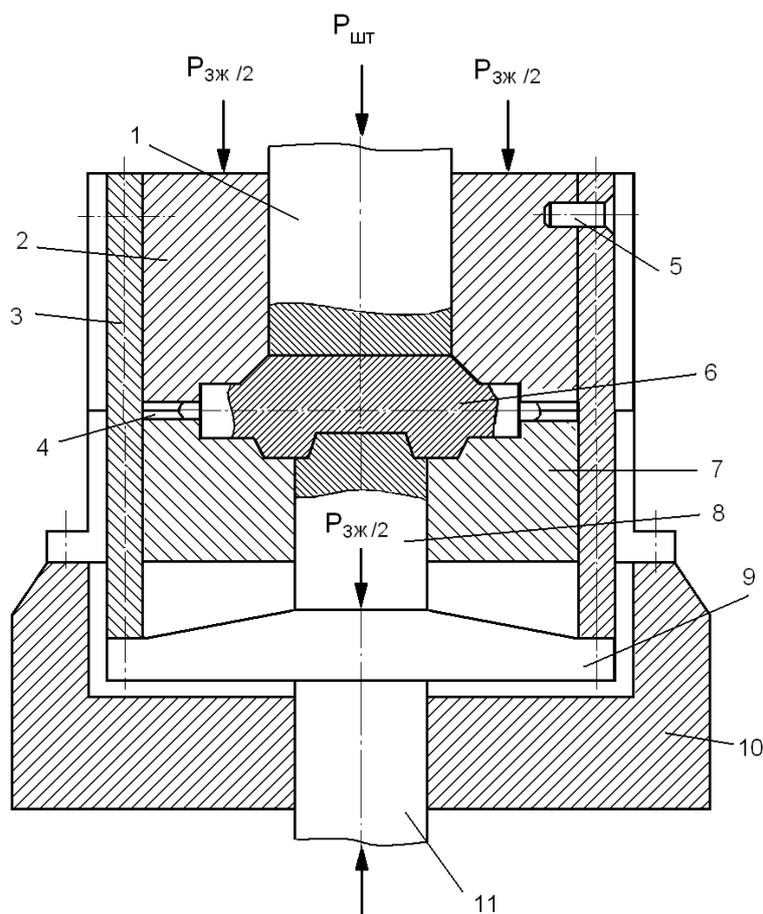


Рисунок 1 – Схема штампа с замкнутой силовой системой: 1 – пуансон; 2 – верхняя матрица; 3 – зажимная тяга; 4 – компенсационная полость; 5 – крепежный винт; 6 – поковка; 7 – нижняя матрица; 8 – выталкиватель; 9 -траверса; 10 - опорная плита; 11 - толкатель

Использование способа штамповки с замкнутой силовой системой позволяет существенно повысить качество поковок и стойкость штампа.

### КОМПЕНСАЦИЯ ИЗБЫТКА МЕТАЛЛА ПОСРЕДСТВОМ УПРУГОЙ ДЕФОРМАЦИИ РУЧЬЕВОЙ СТЕНКИ ШТАМПА

Скорых С.Ю., Трещёткин Е.В., Раев М.М. – студенты,  
 Поксеваткин М.И. – к.т.н., профессор, Дунаев К.Ю. – аспирант  
 Алтайский государственный технический (г.Барнаул)

Независимо от метода компенсации избытка металла при закрытой объемной штамповке штамповое компенсационное устройство (ШКУ) должно обеспечить четкое заполнение полости штампа и своевременное удаление избытка металла. Вместе с тем, это устройство должно быть простое и надежное в эксплуатации.

Названным требованиям удовлетворяет штамп для горячей объемной штамповки поковок с одним плоским торцом, нижняя ручьевая стенка которого (дно матрицы) выполнено в виде упругого элемента, имеющего возможность прогиба срединной поверхности стенки ручья на величину в пределах допуска закрытой высоты полости штампа [1]. Такое конструктивное решение обеспечивает компенсацию избытка при колебании объема заготовки за счет увеличения толщины (высоты) штампуемой поковки, что позволяет избежать выход излишков металла в раздел между верхней и нижней частями штампа, в результате повысить качество поковок и стойкость штампа.

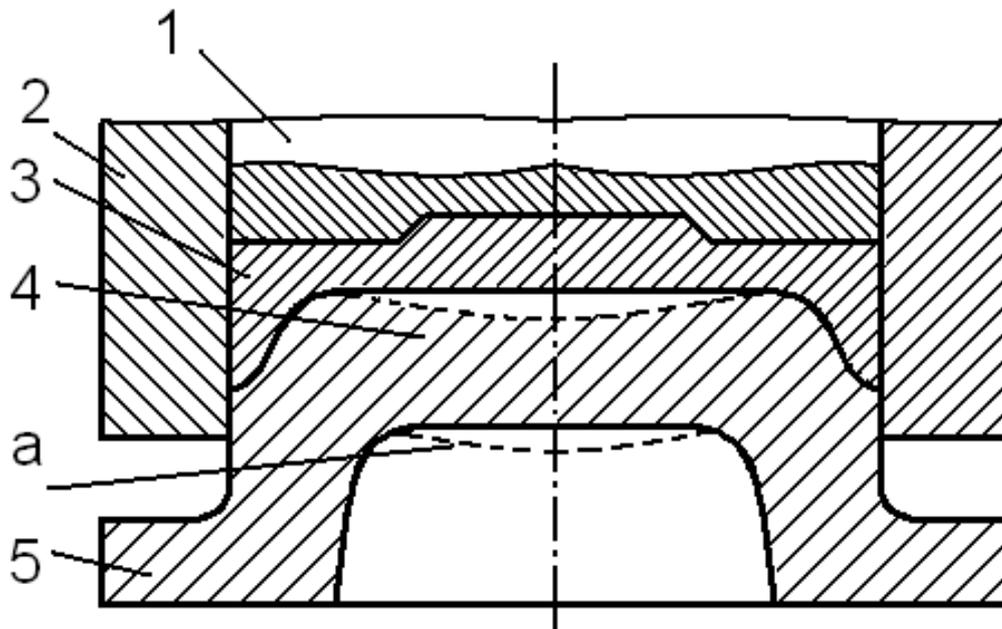


Рисунок 1 – Схема штампа с упругой ручьевой стенкой: 1 – пуансон; 2 – обойма; 3 – поковка; 4 – упругая ручьевая стенка; 5 – матрица; а – упругий прогиб ручьевой стенки при доштамповке

Для рационализации термомеханических параметров штамповки разработан многомодульный алгоритм (рис.2).

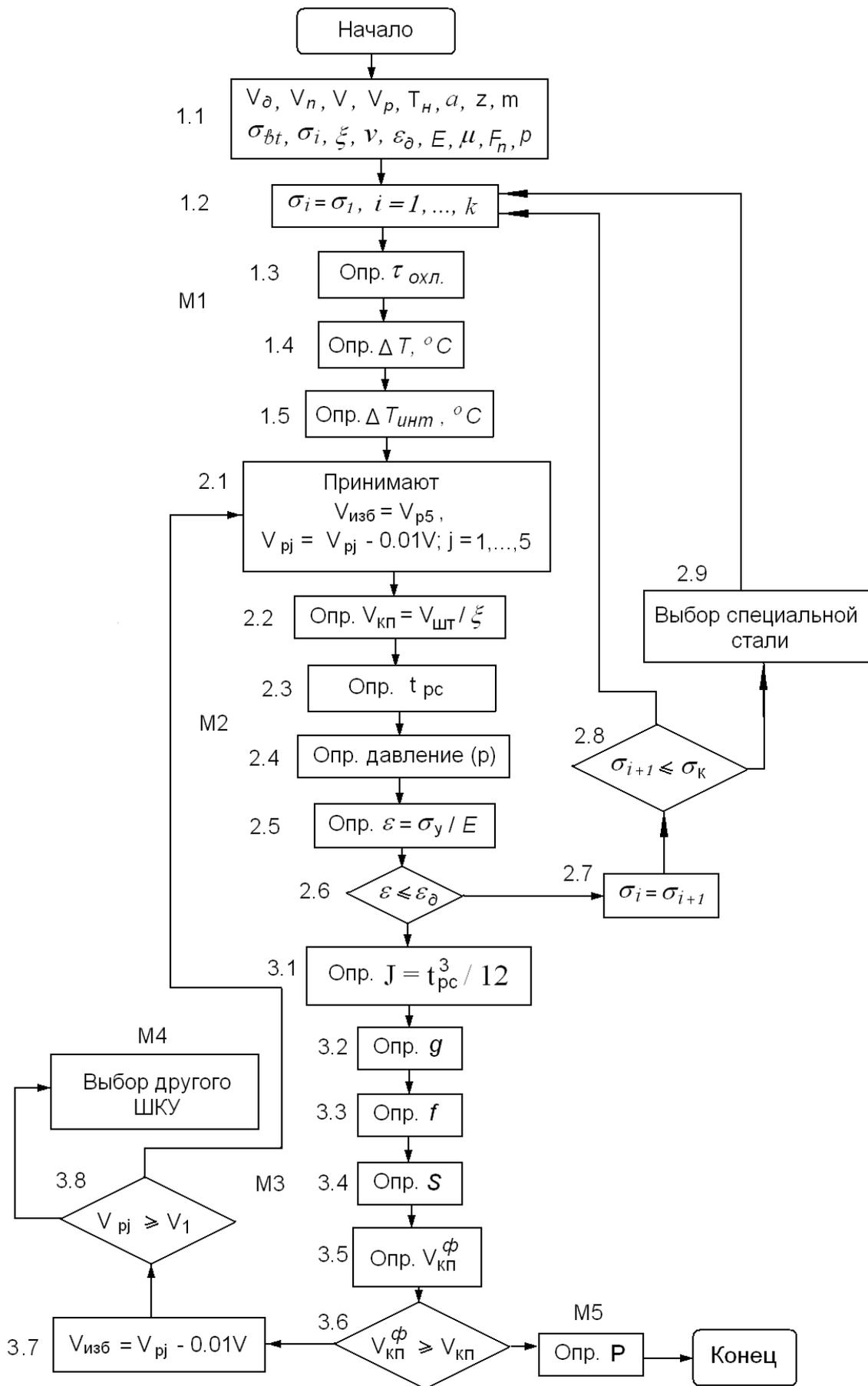


Рисунок 2 – Блок –схема алгоритма рационализации термомеханических параметров штамповки

В первом блоке модуля М1 вводят исходные данные:  $V_d$  - объем детали;  $V_n$  - объем поковки;  $V$  - объем заготовки;  $V_{pj} = (0.01 \div V$  - регламентируемый объем избытка металла при малоотходной горячей штамповке;  $t_1$  - температура окончания штамповки для конкретной марки стали (при замене марки штампуемой стали вводят новые значения  $t_1$ );  $a$  - размер поверхности упругой ручьевой стенки;  $m$  - коэффициент учитывающий сложность поковки (по А.П. Атрошенко);  $m$  - коэффициент, учитывающий величину массы поковки;  $p = 60$  - величина давления при штамповке труднодеформируемых сталей ( по А.П. Атрошенко);  $\sigma_t$  - предел прочности штампуемой стали в момент окончания штамповки;  $\sigma_m$  - предел прочности материала матрицы,  $v$  - скорость ползуна пресса;  $\xi$  - коэффициент заполнения компенсационной полости;  $\varepsilon_g =$  - допустимая упругая деформация материала матрицы (по Ю.А. Геллеру);  $E = 2$  МПа - модуль упругости;  $\mu$  - коэффициент Пуассона,  $S$  - площадь упругой стенки матрицы.

Во втором блоке выбирают марку стали для ручьевой стенки матрицы (например, сталь 4Х4М2ВФС). В блоке 1.3 определяют время охлаждения заготовки

$$\tau_{охл} = \tau_m + \tau_x + \tau_d \quad (1)$$

где  $\tau_m$  - соответственно время транспортировки заготовки, время холостого хода ползуна пресса и время деформирования заготовки.

Далее в блоке 1.4, используя соотношение Я.М. Охрименко, определяют падение температур за время  $\tau$ :

$$\Delta T = \frac{Q}{G \cdot c} \quad (2)$$

где  $D$  - диаметр заготовки, мм:

В блоке 1.5 находят верхнюю границу нагрева заготовки  $T_n$  (и температурный интервал штамповки  $T_{инт} \in [T_n; T_b]$ , °С,  $T_b = (T_n + \Delta T)$

Затем переходят к модулю М2, в первом блоке (2.1) которого принимают объем избытка металла, соответствующий верхнему значению  $V_{pj}$ , и определяют объем компенсационной полости  $V_{кп}$  (блок 2.2). В блоке 2.3 рассчитывают (из условия прочности) толщину дна матрицы и определяют давление ( $p$ ) в момент окончания штамповки по формуле [2];

$$p = 3 \left[ 2 + 0.1 \frac{F_n \sqrt{F_n}}{v_n} \right] \sigma_t \quad (3)$$

В блоке 2.5 определяют допустимую величину относительной упругой деформации стенки матрицы с использованием закона Гука:

$$\varepsilon = \frac{\sigma_y}{E}, \quad (4)$$

где  $\sigma_y =$  - предел упругости материала матрицы МПа.

Если условие блока 2.6 выполняется, то далее определяют момент инерции ( $J$ ) и цилиндрическую жесткость ( $g$ ) при изгибе (блоки 3.1 и 3.2) [3]:

$$g = \frac{E J}{L} \quad (5)$$

где  $J$

Если условие блока 2.6 не выполняется, то в блоках 2.7-2.9 выбирают сталь большей упругости, прочности и теплостойкости.

Используя соотношение (5), в блоке 3.3 определяют величину упругого прогиба ( $f$ ) для матрицы по формуле для квадратной поверхности пластины с заземленными кромками [3]:

$$f = \dots \quad (6)$$

В блоке 3.4 определяют площадь сечения ( $S$ ), образованную срединной выпуклостью дна матрицы в момент доштамповки:

$$S = 2 \text{ мм}^2. \quad (7)$$

Далее определяют фактический объем компенсационной полости, образованный выпуклостью срединной поверхности дна матрицы (это имеет место только при наличии избытка металла);

$$V_{\text{кп}}^{\Phi} \geq S \cdot a_{\text{мм}}^3 \quad (\text{блок 3.5}).$$

Если фактический (возможный по условию упругости дна матрицы) объем  $V_{\text{кп}}^{\Phi}$  (блок 3.6), то в модуле М5 определяют усилие штамповки и выбирают штамповочный пресс. Если условие блока 3.6 не выполняется, то в блоке 3.7 уменьшают задаваемый избыток металла за счет использования более точных проката и способа рубки заготовок и переходят к блоку 2.1. Если условие блока 3.6 при данных параметрах штамповки выполнить невозможно, то выбирают другой способ компенсаций избытка металла (модуль М4) или другой материал для матрицы с иными механическими характеристиками (повышенной прочностью и упругостью).

Представленный алгоритм реализован компьютерной программой.

#### Литература

- 1 Поксеваткин М.И., Овчаров Г.А. и др. Штамп для объемной штамповки осесимметричных поковок с одним плоским торцом. Патент № 2346789. Опубликовано 20.20.2009. Бюл. №5.
- 2 Ковка и штамповка стали. Справочник / В.А. Бабенко и др. под ред. М.В. Сторожева. – М.: Машиностроение. 1968. – с. 91.
- 3 Безухов Н.М. теория упругости и пластичности / Н.И. Безухов. – М : Госиздат. 1953.- с. 269.

### ШТАМПОВКА ИЗДЕЛИЙ С АКТИВИЗАЦИЕЙ КОНТАКТНЫХ СИЛ ТРЕНИЯ

Раев М.М, Скорых С.Ю, Трещеткин Е.В. – студенты,  
 Поксеваткин М.И. – к.т.н.. профессор, Дунаев К.Ю. – аспирант  
 Алтайский государственный технический университет (г. Барнаул)

Важным направлением повышения эффективности процессов МГШ является использование активного действия сил контактного трения, позволяющее снизить деформирующее усилие, повысить стойкость штампа и качество изделия. [1]

Как известно [1], взаимосвязь кинематических и силовых условий на контактных поверхностях и в объеме очага деформации при плоском деформировании качественно описывается выражением:

$$A = A_1 + A_2 = \int_S \tau_s \cdot \Gamma \cdot dS + \int_0^R \tau_k u_x dx, \quad (1)$$

где  $A, A_1$  и  $A_2$  - соответственно полная работа деформации, работа внутренних сопротивлений и работа сил контактного трения,  $\tau_s$  - напряжение сдвига,

$\Gamma$  – интенсивность деформации сдвига;  $\tau_x$  - касательные напряжения трения;  $u_x$  - контактное скольжение металла по оси X; S – контактные поверхности заготовки; R – радиус контактной поверхности заготовки.

При плоской осесимметричной деформации в условиях торможения контактных смещений с учетом равенств:  $e_x = -e_z$ ;  $e_y = 0$ ;

$$\Gamma = \sqrt{4\varepsilon_x^2 + \gamma_{xz}^2}, \quad (2)$$

где  $\varepsilon_x$  и  $\varepsilon_z$  - относительная линейная деформация вдоль осей X и Z,  $\gamma_{xz}$  - полная сдвиговая деформация.

Таким образом, при малом контактном скольжении металла  $\gamma_{xz}$  существенно увеличивает интенсивность деформации сдвига, что обуславливает неравномерность деформации в объеме металла и рост работы внутренних сопротивлений  $A_1$ . Одновременно уменьшается работа сил трения  $A_2$ . (рис 1,  $u_{x1}$ )

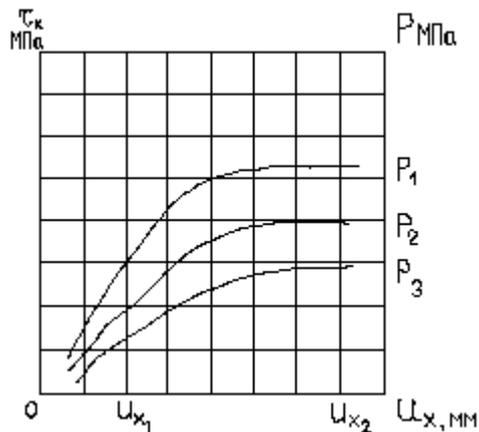


Рисунок 1-Зависимость касательных напряжений ( $\tau_k$ ) от контактных смещений ( $P_1 > P_2 > P_3$ -давления)

Согласно принципу минимума полной энергии деформации в объёме металла и на контактных поверхностях осуществляется такая кинематика, что  $A_1 + A_2 = A_{min}$ . Поэтому при развитом контактном скольжении металла сдвиговая деформация  $\gamma_{xz} \rightarrow 0$ , а интенсивность деформаций сдвига  $\Gamma \approx 2\varepsilon$ , что соответствует равномерной деформации в объеме металла. (рис 1,  $u_{x2}$ )

Эти положения реализованы, например, при обратном выдавливании стаканов (рис 2) [2].

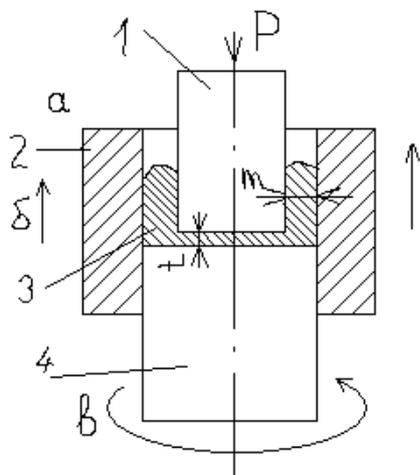


Рисунок 2-Схемы активизации контактных сил трения: 1-пуансон; 2-матрица; 3-изделие; 4-выталкиватель; а-схема выдавливания без активизации сил трения; б-с перемещением матрицы 2; в-с вращением выталкивателя 4 (вращение дна матрицы).

В результате активизации контактных скольжений на дне матрицы посредством вращения выталкивателя деформирующее усилие может быть снижено до 18%. При этом за счет существенного уменьшения сдвиговой

деформации  $\gamma_{xz}$  и интенсивности  $\Gamma$  (соответственно и работы  $A_1$ ) возможно утонение дна стакана, что позволяет сократить расход штампуемого металла, в том числе объем избытка металла (рис 3.).

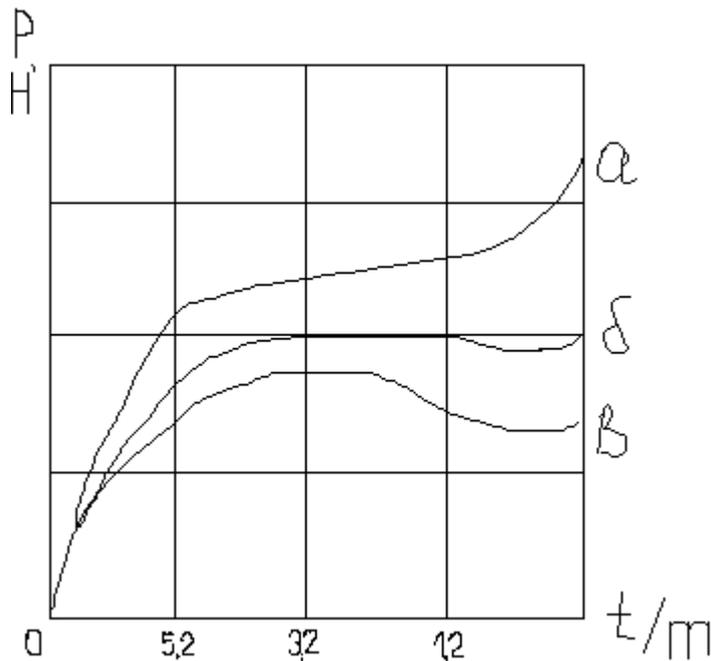
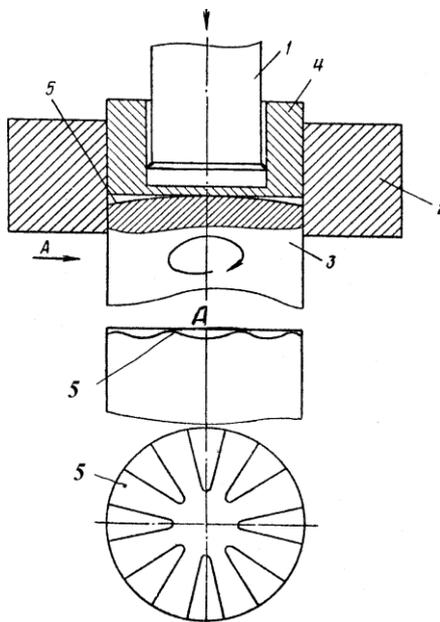


Рисунок 3- Влияние активизации сил трения на усилие штамповки: а - без активизации сил трения; б-с перемещением матрицы; в- с вращением выталкивателя(дна матрицы)(см. рис2).

Наибольший эффект дает выполнение на торце выталкивателя радиально расположенных впадин с глубиной, уменьшающейся по направлению к центру [3] (рисунок 4).



Перед подачей заготовки в полость матрицы 2 на торец выталкивателя 3 наносится технологическая смазка. В процессе деформации металла пуансоном 1 при вращательном движении дна матрицы 2 радиально расположенные волны 5 вызывают принудительное перемещение металла в стенки изделия 4 особенно из углов матрицы, где обычно создаются застойные зоны. Улучшение силовых и кинематических условий процесса за счет активизации контактных скольжений и смещения объемов металла повышает ресурс пластичности металла и качество изделий.

Рисунок 4.-Схема штамповки выдавливанием с волновой поверхностью торца вращаемого выталкивателя.

#### Литература

- 1 Тарновский И.Я., Леванов А.Н., Поксеваткин М.И., Контактные напряжения при пластической деформации.- М.: Металлургия. 1966. – 220с.
- 2 А.С. № 677800 СССР. Штамп для выдавливания полых деталей / М.И. Поксеваткин, М.А. Седешев. Оpubл. 1979. Бюл. № 29.
- 3 А.С. № 969408 СССР. Штамп для выдавливания полых деталей / М.И. Поксеваткин, Оpubл. 1980. Бюл. №40.

## ВЛИЯНИЕ ИСХОДНОЙ СТРУКТУРЫ НА СФЕРОИДИЗИРУЮЩИЙ ОТЖИГ

Гертер М.Я., Свищенко В.В., к.т.н., доцент

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

Исследована возможность совершенствования технологии сфероидизирующей термической обработки конструкционных сталей используемых для изготовления деталей точной чистой штамповкой.

Структура зернистого перлита является технологически обязательной для проката, используемого при изготовлении деталей методом точной чистой вырубкой. Для получения такой структуры в прокате на металлургических предприятиях используют следующую технологию [1]. Горячий подкат, имеющий обычно структуру феррита и пластинчатого перлита подвергают холодной прокатке с последующим отжигом при температуре 680°C в течение не менее 16 часов. Предшествующая холодная пластическая деформация способствует сфероидизации цементита в процессе отжига и резко сокращает необходимое его время. Тем не менее, данная технология остается малопродуктивной и дорогой, что сдерживает использование метода точной чистой вырубкой.

Сфероидизации карбидов – это диффузионный процесс. Известно [1], что чем далее исходная структура от равновесной, тем быстрее она при сфероидизирующем отжиге трансформируется в зернистый перлит. Так мартенсит трансформируется в зернистый перлит уже после четырёх часовой выдержке при 680°C. Однако это преимущество мартенсита не используют, поскольку получать его в прокате сложно.

Представляет интерес использование структуры зернистого бейнита в качестве исходной перед сфероидизирующим отжигом. Донная структура обнаружена и описана относительно недавно [2-4]. Матричной основой структуры зернистого бейнита является бейнитная  $\alpha$ -фаза полиэдрической формы. В ней расположены однофазные включения остаточного аустенита и высокоуглеродистого мартенсита, и включения, представляющие собой механическую смесь  $\alpha$ -фазы и глобулярных карбидов. Включения отличаются размерами и имеют в основном округлую форму. Количество остаточного аустенита составляет 8 – 12 %. Содержание углерода в остаточном аустените аномально высоко и составляет 1,6 – 1,8 %. Теоретически строение и фазовый состав зернистого бейнита благоприятны для трансформации структуры в зернистый перлит при сфероидизирующем отжиге. Получение в прокате зернистого бейнита гораздо менее сложно, чем получение мартенсита [3].

Таблица. Структура и твёрдость образцов после выдержки при 680°C

Исходная структура и твёрдость	Время выдержки в часах, структура и твёрдость		
	4	12	24
Полосчатая феррито-перлитная 190 НВ	Полосчатая феррито-перлитная 186 НВ	Полосчатая феррито-перлитная (30 % глобулярного F <sub>3</sub> C) 183 НВ	Полосчатая феррито-перлитная (100 % глобулярного F <sub>3</sub> C) 180 НВ
Зернистый бейнит 324 НВ	Зернистый перлит 215 НВ	Зернистый перлит 197 НВ	Зернистый перлит 184 НВ
Мартенсит 50 НРС	Зернистый перлит 248 НВ	Зернистый перлит 212 НВ	Зернистый перлит 196 НВ

Сравнительное исследование влияния исходной структуры на процесс сфероидизирующего отжига проведено на образцах, вырезанных из проката стали марки 30ХН3А, имеющих размеры 25×25×10 мм. Образцы были разделены на три партии. Образцы первой группы были подвергнуты полному отжигу, в результате чего они приобрели полосчатую феррито-перлитную структуру (рисунок 1а). Образцы второй

партии были подвергнуты нормализации, в результате чего они приобрели структуру зернистого бейнита (рисунок 1б). Образцы третьей партии были закалены на мартенситную структуру. После сфероидизирующего отжига образцов, заключавшегося в нагреве до  $680^{\circ}\text{C}$  и выдержек в течение 4-х, 12-ти и 24-х часов у них была определена твердость и изучена микроструктура. Результаты исследования приведены в таблице.

У образцов с исходной полосчатой феррито-перлитной структурой после 4-х часовой выдержки не отмечено каких либо её изменений. Только после 12-ти часовой выдержки в перлитных зернах заметно начало сфероидизации цементита. После 24-х часовой выдержки сфероидизация завершается. Конечная структура сохраняет полосчатость и представляет собой феррит и зернистый перлит (рисунок 2а).



Рисунок 1 – Структура образцов в исходном состоянии  $\times 1000$

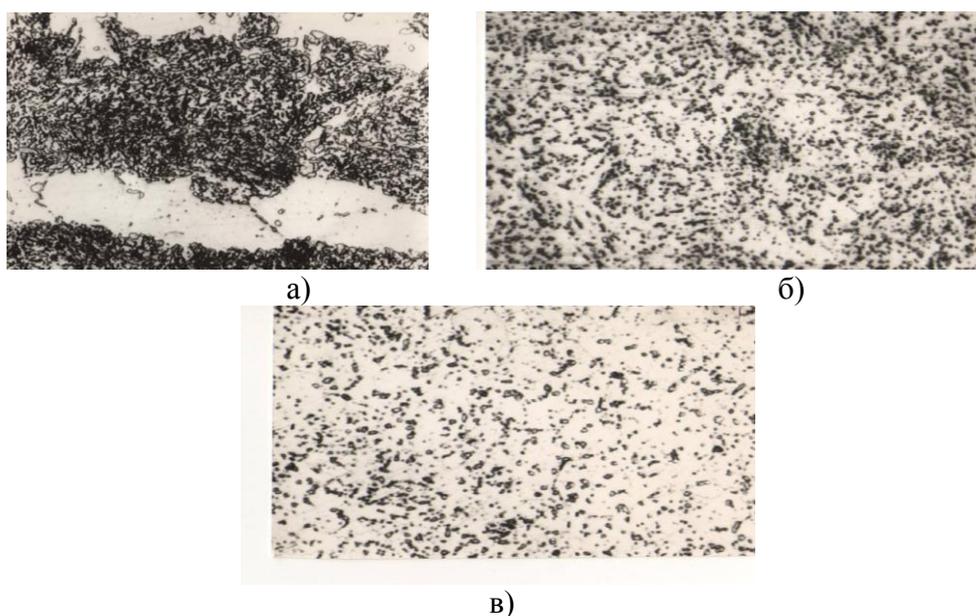


Рисунок 2 – Структура после отжига  $\times 1000$

У образцов с исходной структурой зернистого бейнита зернистый перлит образуется уже после 4-х часовой выдержки (рисунок 2б). Дальнейшее увеличение выдержки приводит к снижению степени дисперсности глобулой цементита (рисунок 2в) и некоторому снижению твердости. Принципиально такая же картина наблюдается и у образцов с исходной мартенситной структурой. Однако дисперсность и твердость зернистого перлита, полученного из мартенсита выше, чем полученного из зернистого бейнита.

При выборе рациональной для сфероидизирующего отжига исходной структуры необходимо учесть её влияние как на конечную структуру и твердость, так и на техническую возможность получения в прокате. На основании проведённого исследования проанализируем влияние различных исходных структурных составляющих на формирование структуры во время сфероидизирующей обработки. Рассмотрим случай, когда в подкате после горячей прокатки будет феррито-перлитная структура. Цель

сфероидизирующего отжига – получение однородной механической смеси феррита и глобулярного цементита. Если подкат с целью калибровки будет подвергаться холодной прокатке, то присутствие структурно свободного феррита в исходной структуре следует считать допустимым. Холодная пластическая деформация «перемешает» перлитные зерна в феррите, сделав общую структуру более однородной. Если холодной прокатки не будет, то наличие структурно свободного феррита затруднит образование однородного зернистого перлит. Наличие перлита в исходной структуре следует считать недопустимым, поскольку эта структурная составляющая наиболее длительно трансформируется в зернистый перлит.

Рассмотрим случай, когда после горячей прокати подкат будет иметь структуру зернистого бейнита или мартенсита. Очевидно, что наиболее благоприятной исходной структурой будет зернистый бейнит, так как он обеспечивает получение значительно более мягкого зернистого перлита, чем мартенсит. К тому же производить закалку проката на мартенсит значительно сложнее. В работе [3] показано, что в прокате стали 24Х2НАч толщиной до 6 мм при его охлаждении на воздухе с температуры окончания прокатки формируется структура феррита и зернистого бейнита, а при охлаждении в потоке воздуха – структура одного зернистого бейнита.

Проведённый выше анализ влияния исходных структур на формирования необходимой для метода точной чистовой вырубки структуры зернистого перлита позволяет сделать следующие выводы.

В горячем подкате не должно быть перлитной структурной составляющей. В подкате, калибровка которого будет осуществляться холодной прокаткой, целесообразно иметь структуру феррита и зернистого бейнита. После 4-х часового сфероидизирующего отжига зернистый бейнит трансформируется в зернистый перлит. Феррит не претерпевает превращений (кроме рекристаллизации) и остаётся структурно свободным. Холодная пластическая деформация и рекристаллизационный отжиг должны привести к равномерному распределению глобулярного цементита в феррите, то есть к образованию требуемой структуры однородного зернистого перлита.

Если прокат не будет подвергаться холодной пластической деформации, то для получения после сфероидизирующего отжига структуры однородного зернистого перлита необходимо в прокате после горячей пластической деформации получать структуру только одного зернистого бейнита.

#### Список литературы

1. Новиков И.И. Теория термической обработки металлов. М.: Металлургия, 1986. 479 с.
2. Свищенко В.В. Строение и механизм формирования зернистого бейнита // Труды Алтайского Государственного технического Университета им. И.И. Ползунова - Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 1995. - С. 44-50.
3. Кремнев Л.С., Свищенко В.В., Чепрасов Д.П. Скоростной диапазон образования зернистого бейнита при распаде аустенита стали 20Х2НАч // МиТОМ. 1998. № 5. С. 17-19
4. Свищенко В.В., Чепрасов Д.П., Антонюк О.В. Образование мезоферрита и зернистого бейнита в низкоуглеродистой низколегированной стали // МиТОМ. 2004. № 8. С. 7-11.

#### ВЛИЯНИЕ ТИПА СМЕСИТЕЛЯ НА ДЕЗАГРЕГАЦИЮ И МЕХАНОАКТИВАЦИЮ ОБОРОТНОЙ СМЕСИ

Поломошнов Ф.М., Шнейдер А.А., Григор А.С., Марков В.А.  
Алтайский государственный технический университет  
им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

В процессе оборота песчано-глинистой смеси (ПГС) происходит структурирование ее зернового состава. Причем количественный рост размера зерна определяется не только основными технологическим параметрами процесса, такими как соотношение смесь - металл; температура заливки; степень уплотнения смеси; рецептура смеси; количество и масса стержней в отливках, но и системой смесеприготовления, т.е. ее способностью

стабилизировать рост зерна или способностью возвращать зерновой состав ПГС к размерам зерна песка освежения.

В этой связи можно ввести понятие критерия качества смесеприготовления, как способность системы обеспечивать дезагрегацию зерновой основы оборотной смеси до уровня песка освежения. Качественным смесеприготовлением можно считать в том случае, когда система смесеприготовления обеспечивает дезагрегацию (измельчение) зернового состава и не допускает рост фракции 063. Таким образом, зерновой состав оборотной смеси является показателем качества формовочной смеси и, соответственно, качества поверхности отливок.

На основе результатов исследований отдельных фракций и зернового состава смеси в целом можно выделить в единой ПГС несколько типов зерен, полученных в результате многократных оборотов в производственном цикле, такие как монозерно, блочное зерно, агрегатированное зерно и конгломерат зерен [1]. Результаты исследования процесса дезагрегации компонентов оборотной смеси позволили установить, что в результате деформаций сдвига происходит частичная оттирка адгезивной оболочки и вскрытие поверхности зерна кварцевого песка. Большой эффект снятия адгезивной оболочки в процессе дезагрегации наблюдается у крупных фракций и в меньшей степени у мелких фракций. Данный результат согласуется с выводами о том, что при деформациях сдвига наибольшая нагрузка воспринимается крупными фракциями (скелет смеси), а после их дезагрегации распространяется на более мелкие. Причем снятые с поверхности зерен частицы адгезивной оболочки переходят в мелкую фракцию.

В качестве объекта исследования была выбрана ОС после заливки чугуна СЧ-20, в которой преобладающей является фракция 04 составляющая 34,5 % от всей массы смеси. Также после ситового анализа содержание фракций 1,6 и 2,5 составило 0,3 и 0,15 % соответственно. Хотя в песке освежения преобладает фракция 02. Исследуемая ОС подвергалась дезагрегации в лабораторном барабанном смесителе с рабочими органами типа “стержни-катки” с варьированием времени перемешивания и количества рабочих органов. Для качественной оценки эффективности процесса дезагрегации параллельно проводилось сухое перемешивание ОС в лабораторном катковом смесителе и через определенные интервалы времени отбирались пробы для ситового анализа.

Исследование процесса воздействия рабочих органов барабанного смесителя типа “стержни-катки” (рисунок 1) показало, что в процессе механоактивации одновременно развиваются два процесса: измельчение (дезагригация) частиц и агрегатирование с образованием новых частиц. Это можно объяснить тем, что в процессе приготовления ЕПГС в барабанном смесителе происходит непосредственный более тесный контакт рабочих органов с зёрнами песка. Тем самым, позволяя частицам связующего равномерно распределиться на поверхности зерна.

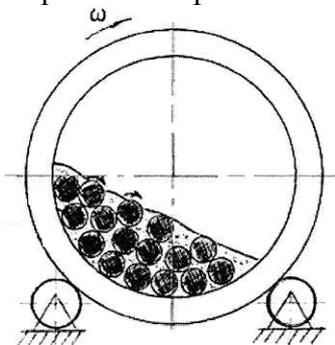


Рисунок 1. – Схема барабанного смесителя с рабочими органами типа “стержни-катки”

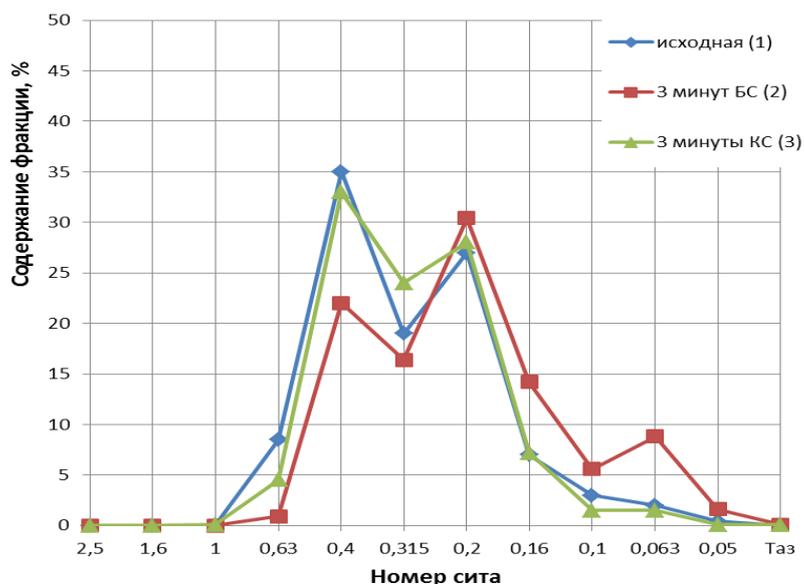


Рисунок 2. – Зерновой состав оборотной смеси: 1 – исходная, 2 – после 3 минут перемешивания в барабанном смесителе, 3 - после 3 минут перемешивания в катковом смесителе

Исследования режимных параметров лабораторного барабанного смесителя позволили установить, что для рабочих органов типа "стержни-катки" стабильным режимом их работы будет скорость вращения корпуса  $n = 60$  об/мин., которая была взята за основу для проведения экспериментов.

Количественное изменение зернового состава ОС наступает уже после трех минут времени дезагрегации. Преобладающей фракцией в этом случае в барабанном смесителе становится фракция 02 с содержанием 30,4% от массы. В катковом смесителе за такой же промежуток времени, также происходит количественное увеличение фракции 0,2, однако по прежнему сохраняется преимущественное содержание фракции 0,4 (рисунок 2). Под действием рабочих органов смесителей происходит измельчение крупных зёрен ОС, в том числе и конгломерата зёрен и за счёт этого прирост мелких фракций, а также ОС достигает уровня песка освежения. Дальнейшее дезагрегирование в барабанном смесителе так же является более преимущественным перед аналогичным процессом в катковом смесителе и имеет положительные результаты, но до определенного предела. Так после 12 минут рабочего процесса барабанного смесителя формируется большое количество мелких фракций 0,1 и 0,063 в количестве 11,8 и 7,8% соответственно, что неблагоприятно влияет на свойства оборотной смеси.

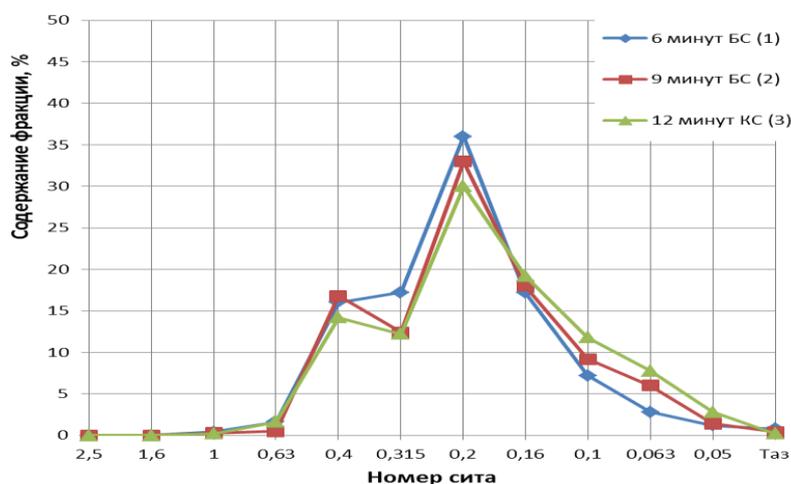


Рисунок 3. – Зерновой состав оборотной смеси после дезагрегации в барабанном смесителе: 1 – 6 минут дезагрегации; 2 – 9 минут дезагрегации; 3 – 12 минут дезагрегации

В заключение следует отметить, что подготовка единой песчано-глинистой смеси в барабанном смесителе требует меньше электроэнергии и затрат времени на перемешивание, а так же позволяет снизить расход свежих связующих материалов.

#### Список литературы

1. Марков, В.А. Анализ развития процессов дезагрегации и механоактивации оборотной смеси [Текст] / В.А. Марков, А.С. Григор // Литейное производство. – 2010. – №4. – С.21-24.

#### МЕХАНОАКТИВАЦИЯ КОМПОНЕНТОВ ОБОРОТНОЙ СМЕСИ

Поломошнов Ф.М., Шнейдер А.А., Григор А.С., Марков В.А.

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

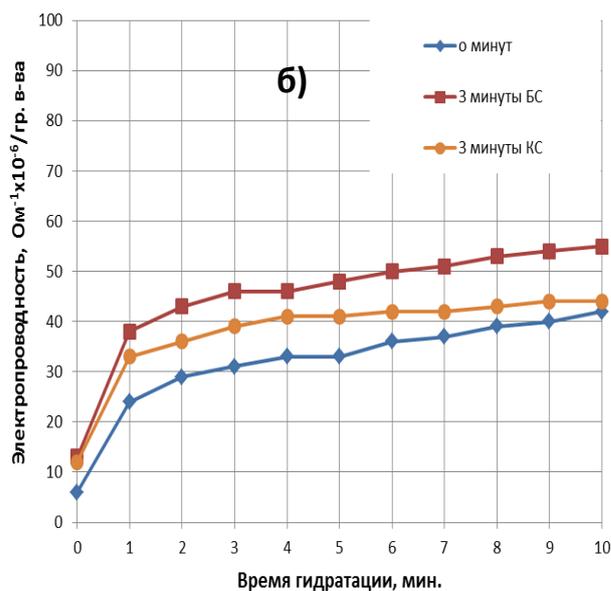
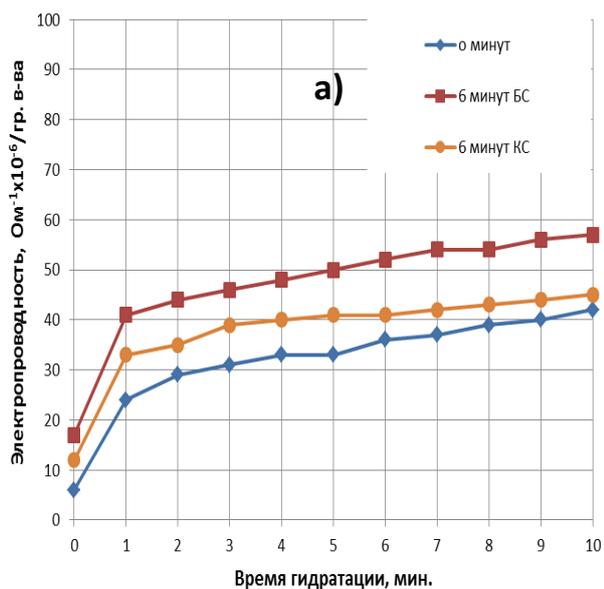
В процессе оборота формовочной смеси в производственном цикле происходит укрупнение ее зерновой основы, обусловленное не только основными технологическими параметрами процесса смесеприготовления, но и смесеприготовительным оборудованием, то есть его способностью возвращать зерновой состав смеси к размерам зерна песка освежения.

Исследование процесса воздействия рабочих органов барабанного смесителя типа «стержни-катки» с ЕПГС после заливки СЧ-20 показало, что в процессе механоактивации одновременно развиваются два процесса: дезагрегация новообразованных зерен и агрегатирование мелких частиц[1]. Это можно объяснить тем, что в процессе сухого перемешивания ЕПГС в барабанном смесителе происходит непосредственный более тесный контакт рабочих органов с зёрнами смеси. Установлено, что дезагрегирующее и механоактивирующее действие барабанного смесителя значительно эффективнее, чем аналогичное действие каткового смесителя. Сравнение производилось кондуктометрическим методом. Определяли активность суспензии оборотной смеси, что подтвердило эффективность процессов механоактивации и дезагрегации. Прежде всего, рост активности обусловлен оттиркой с поверхности зерен оборотной смеси адгезивной оболочки.

Эксперимент заключается в следующем: навеску формовочной смеси массой отобранной согласно опыту помещают в емкость, залитой дистиллированной водой, при удельной концентрации формовочной смеси в суспензии 0.017 гр/мл. Затем в емкость с суспензией помещают миксер с электродами. Гидратация продолжается в течение 10 минут с фиксацией показаний через 1 минуту.

На рисунке 1 представлены результаты исследования активности оборотной смеси после сухой механоактивации в катковом и барабанном смесителях с варьируемым временем механоактивации. Наибольшей активностью обладает смесь после 12 мин механоактивации, однако в барабанном смесителе она выше, чем в катковом на 15...18 %. Источником активности смеси выступает ее пылевидная фракция, состоящая из активного глинистого связующего и аморфизированного кремнезема, так как кристаллический кварц не проявляет

## электропров



## ОДНОСТИ.

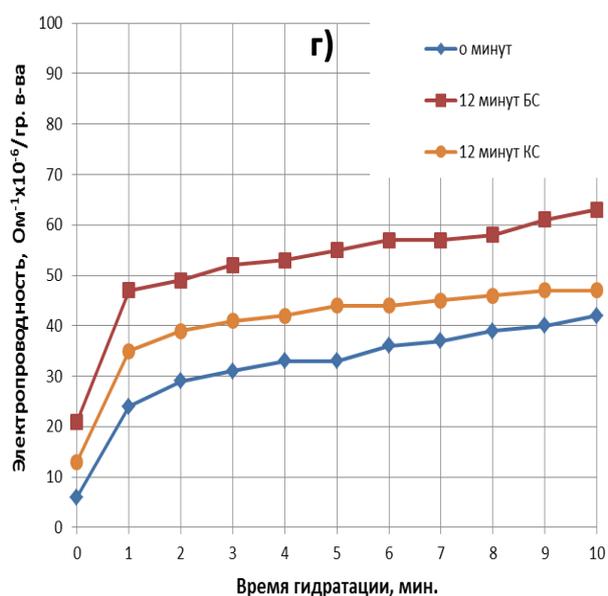
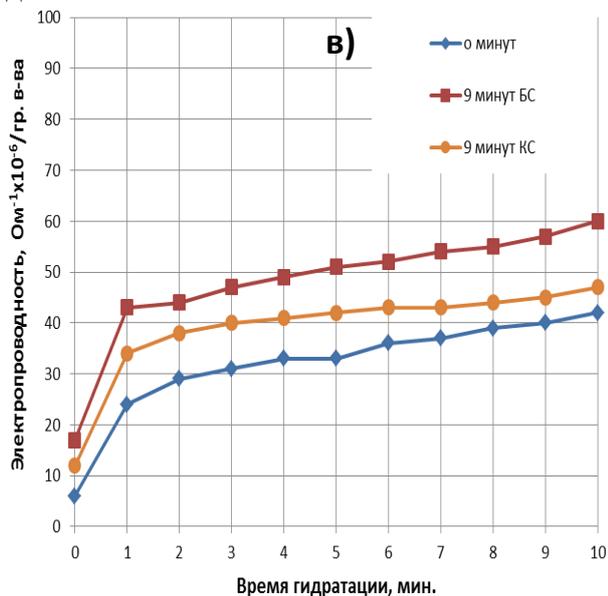


Рисунок 1 – Влияние времени механоактивации и времени гидратации на активность суспензии формовочной смеси в зависимости от времени механоактивации в катковом (КС) и барабанном (БС) смесителях: а) – после трех минут рабочего процесса, б) – после 6 минут, в) – после 9 минут и г) – после 12 минут

В заключение следует отметить, что рабочие органы типа «стержни катки» барабанного смесителя оказывают более высокое дезагрегирующее и механоактивирующее воздействие на компоненты смеси, чем лабораторные бегуны.

## Список литературы

1. Марков, В.А. Анализ развития процессов дезагрегации и механоактивации оборотной смеси [Текст] / В.А. Марков, А.С. Григор // Литейное производство. – 2010. – №4. – С.21-24.