

## К ВОПРОСУ О ПОЛУЧЕНИИ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ ОТЛИВОК В УСЛОВИЯХ СЛОЖНОГО ВРАЩЕНИЯ ЛИТЕЙНОЙ ФОРМЫ

Е. В. Широков, В. В. Нешатаев, Т. А. Стрижко

*Рассматривается использование и развитие центробежного литья, как особой разновидностью специальных способов получения заготовок, отличительной особенностью которой является возможность формирования служебных свойств отливки в условиях действия центробежного и гравитационного полей. Приведена наиболее полная классификация центробежного способа литья, анализ которой показал широту использования такой технологии и позволил сформировать возможные направления ее развития. Одним из направлений развития способа является технология сложного вращения литейной формы, при которой форма или вращается одновременно вокруг ортогональных осей или движется по заданной траектории. Показана возможность формирования отливок с внутренней поверхностью эллипсоидной конфигурации, которая с достаточно высокой точностью описывается предложенной формулой. Такие внутренние поверхности, в зависимости от поставленной задачи, принимают свою конфигурацию от вытянутого эллипсоида до сфероида и сохраняют ее при изменении интенсивности силового центробежного поля. В работе приведены кинематические схемы и фотографии лабораторных установок, обеспечивающих функционирование рассматриваемых технологических процессов. По результатам проведенного экспериментального исследования предложено некоторое расширение границ области рационального использования технологии центробежного способа литья.*

*Ключевые слова: центробежный способ литья, классификация способов получения центробежных отливок, развитие способа центробежного литья, особенности формирования свойств отливок, формирование внутренней поверхности отливки, эллипсоидная конфигурация внутренней поверхности отливки, сложное вращение изложницы вокруг ортогональных осей, сложное движение формы по заданной траектории, получение внутренней изолированной полости в отливке, расширение рациональной области использования.*

Современное заготовительное производство в машиностроении, стараясь соответствовать передовым тенденциям в области литейного производства, пытается определять наиболее эффективные технологические процессы получения тех или иных изделий, постоянно анализирует возможности использования преимуществ специальных способов литья в целом и центробежного способа в частности.

Центробежное литье является особой разновидностью литейной технологии. Оно характеризуется тем, что при формировании отливок литейная форма (изложница) с залитым или заливаемым в неё расплавом находится во вращении и испытывает действие нескольких силовых полей.

Под действием центробежных и гравитационных сил, а также касательных сил в условиях неустановившегося или переносного движения расплава в нем возникают своеобразные гидростатические и гидродинамические явления, наличие которых предполагает:

- Формирование специфической конфигурации свободной поверхности жидкого металла, описываемой соответствующим уравнением гидростатики (уравнением Эйлера) [1];
- Описание характера и расчёт скорости течения металла по каналам вращающейся литниковой системы имеет свой математический аппарат, в котором используются известные, но преобразованные к данным условиям уравнения (например, преобразованное уравнение Бернулли [2]);
- По-своему происходит распределение давления внутри вращающегося расплава и формируется соответствующее давление жидкого металла на стенки формы [3];
- Вращение вызывает специфические условия заполнения рабочей полости формы, характерное затвердевание металла отливки и питание отливки при усадке [4,5].

С учетом этих особенностей сформировалась рациональная область применения центробежного литья, которая используется и для получения отливок типа тел вращения и для отливок достаточно сложной конфигура-

## К ВОПРОСУ О ПОЛУЧЕНИИ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ ОТЛИВОК В УСЛОВИЯХ СЛОЖНОГО ВРАЩЕНИЯ ЛИТЕЙНОЙ ФОРМЫ

ции. На практике используются различные виды центробежного литья, которые могут быть классифицированы, в том числе, следующим образом [1]:

1. по расположению оси вращения:
  - 1.1 вертикальная ось;
  - 1.2 горизонтальная ось;
  - 1.3 наклонная ось.
2. по расположению отливки относительно оси вращения:
  - 2.1 центр тяжести отливки находится на оси вращения;
  - 2.2 отливка находится в стороне от оси вращения.
3. по конфигурации отливки:
  - 3.1 тело вращения;
  - 3.2 ассиметричное тело.
4. по скорости вращения:
  - 4.1 постоянная скорость;
  - 4.2 переменная скорость.
5. по материалу отливок (без ограничения).
6. по материалу формы (без ограничения).

Постоянное применение в заготовительном производстве технологии центробежного литья предполагает её развитие, а соответственно расширяет границы рациональной области использования такого вида литья.

Использование в технологии центробежного литья вращения вокруг горизонтальной оси, преследует цель получения отливки с внутренней поверхностью в виде кругового цилиндра, формирующейся за счёт силового центробежного поля. Особенностью формирования является то, что при изменении интенсивности центробежного поля конфигурация этой внутренней поверхности не изменяется. При использовании вращения вокруг вертикальной оси внутренняя поверхность формируется в виде параболоида вращения, отличительной особенностью которой является то, что при изменении интенсивности центробежного поля кривизна внутренней поверхности, оставаясь в рамках параболической конфигурации, меняет свои геометрические размеры.

Одним из направлений развития технологии центробежного литья, в котором преследуется цель получения внутренней поверхности новой конфигурации, стала разработка технологии сложного вращения изложницы [6]. Данная технология позволяет получать внутренние поверхности эллипсоидной конфигурации (рисунок 1).

Установка содержит форму 1, связанную с механизмом одновременного её вращения вокруг вертикальной и горизонтальной осей.

**ПОЛЗУНОВСКИЙ ВЕСТНИК № 4 2017**

Механизм вращения включает вертикальный вал с приводом от электродвигателя 5 и горизонтальный вал с размещённой на нём формой.

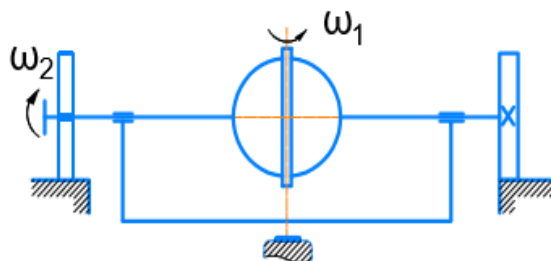


Рисунок 1 - Схематичное изображение установки, обеспечивающей сложное вращение изложницы

Реализация технологии осуществлялась на лабораторной установке (рисунок 2).

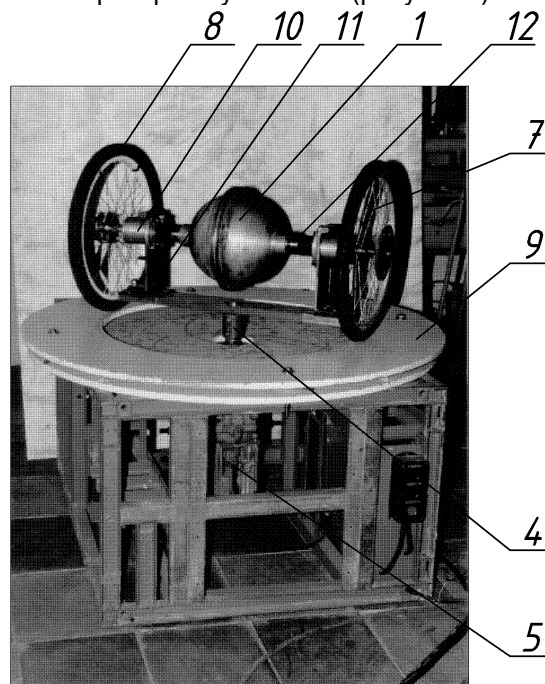


Рисунок 2 - Лабораторная установка, обеспечивающая сложное вращение изложницы

Горизонтальный вал выполнен из двух соосных частей и снабжён двумя колёсами 7 и 8. Оба колеса находятся во фрикционном зацеплении с неподвижной беговой дорожкой 9 передаточного механизма. Вращающееся колесо 7 жестко закреплено на горизонтальном валу, а колесо 8 установлено на валу свободно и выполняет уравновешивающую функцию. Механизм одновременного вращения изложницы снабжён вращающимися подшипниковыми узлами 10, расположенными

ми симметрично на горизонтальном валу и связанными с поворотной рамкой 11, которая в свою очередь соединена с вертикальным валом 4 двигателя. На соосных частях горизонтального вала закреплены элементы 12 фиксирующие форму в области пересечения осей вращения внутри поворотной рамки. Форма зафиксирована внутри механизма одновременного вращения и в собранном состоянии представляет с собой единое целое. Угловая скорость вращения формы вокруг вертикальной оси регулируется скоростью электродвигателя, а угловая скорость формы вокруг горизонтальной оси зависит от скорости электродвигателя и величины передаточного отношения фрикционного зацепления.

Геометрическое многообразие внутренних поверхностей в рамках эллипсоидной конфигурации может изменяться от вытянутого эллипсоида вращения до сфероида и в тоже время можно сохранить постоянство заданных геометрических параметров внутренней поверхности отливки даже при изменении интенсивности действия силового центробежного поля.

Такая возможность обеспечивается сохранением необходимого соотношения между угловыми скоростями вращения изложницы  $\omega_1$  и  $\omega_2$  в виде [8,9].

$$\frac{d}{q} = \frac{\omega_1}{\sqrt[4]{\omega_2^2(\omega_1^2 + \omega_2^2)}}$$

где  $d$  и  $q$  - геометрические параметры эллипсоидной поверхности;

$\omega_1$  и  $\omega_2$  - угловые скорости одновременного вращения изложницы вокруг вертикальной и горизонтальной осей.

Технология одновременного вращения изложницы вокруг двух осей (технология сложного вращения) предполагает некоторое разнообразие в технологических схемах. Если используется схема, в которой изложница вращается в области пересечения осей вращения с формированием поверхности эллипсоидной конфигурации, то эту поверхность можно сформировать в виде открытой или изолированной полости. Если применить технологическую схему (рисунок 3), в которой изложница занимает периферийное расположение относительно одной из осей, то такая технология используется для принудительного заполнения рабочей полости формы и улучшения питания отливки [4,5].

На валу 1 двигателя смонтирована траверса 2 с расположенными на ней монтажными стойками 3. Стойки образуют три рабочие зоны, в которых располагаются контейнер 4 с литейной формой 5, заливочное

устройство 6 и система противовесов 7; 8. Двухстороннее крепление к стойкам каждого из названных элементов конструкции позволяет сформировать достаточно жёсткую конструкцию, работающую в условиях силового центробежного поля.

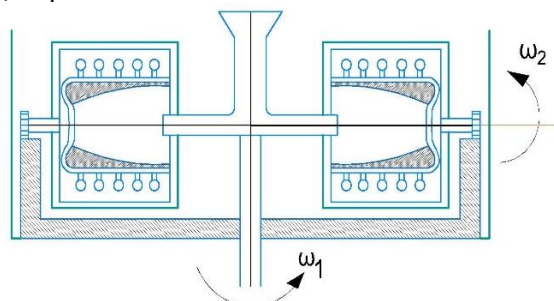


Рисунок 3 - Схематичное изображение установки, обеспечивающей периферийное сложное вращение

Проверку работоспособности технологии периферийного вращения формы проводили на специализированной лабораторной установке (рисунок 4).

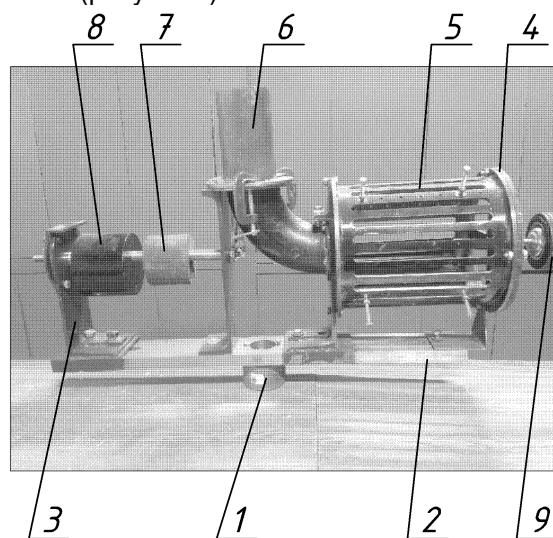


Рисунок 4 - Лабораторная установка, обеспечивающая периферийное сложное вращение

Одновременно с этим такое крепление в стационарных условиях обеспечивает возможность независимого технического обслуживания каждой рабочей зоны. Литейная форма цилиндрической формы устанавливается внутри контейнера с возможностью вращения вокруг горизонтальной оси за счёт наличия подшипниковых узлов и фрикционного зацепления рабочего колеса 9 с беговой дорожкой. Нормальная работа установки предполагает устранение вредного влияния динамических нагрузок быстровращающихся

## К ВОПРОСУ О ПОЛУЧЕНИИ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ ОТЛИВОК В УСЛОВИЯХ СЛОЖНОГО ВРАЩЕНИЯ ЛИТЕЙНОЙ ФОРМЫ

элементов конструкции по причине их неуравновешенности. В процессе балансировки определялись массы вращающихся частей установки находящихся по разные стороны от оси вращения траверсы и точное расположение их центров тяжести. При этом отдельно определялись параметры противовеса 7 для собственной балансировки установки и дополнительного противовеса 8 для балансировки установки загруженной конкретной формой с учётом массы заливаемого расплава. Соотношение угловых скоростей вращения вокруг вертикальной и горизонтальной осей необходимо задавать с таким расчётом,

чтобы внутренняя поверхность залитого металла сформировалась в вытянутый эллипсоид вращения. Эллипсоидная поверхность должна быть вытянута настолько, чтобы произвести опустошение центральной части металлоприёмника и оставить в нём металла столько, сколько необходимо для проведения качественного заполнения рабочей полости и питания затвердевающих отливок.

Особое место в технологии сложного вращения занимает технологическая схема, в которой изложница перемещается по заданной траектории (рисунок 5).

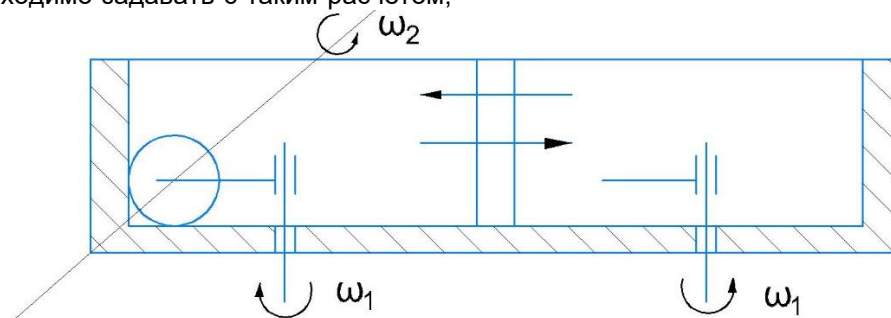


Рисунок 5 - Схематичное изображение установки, обеспечивающей сложное движение изложницы

Разработана такая технология для получения мелких отливок с внутренней поверхностью в виде изолированной полости [10]. Особенность данной технологии заключается в том, что вынужденное движение изложницы представляет собой одновременное поступательное движение по заданной траектории и вращательное вокруг наклонной оси.

Формирование изолированной полости происходит под одновременным воздействием на жидкий металл двух процессов: гидравлического процесса и процесса затвердевания.

Для осуществления процесса формирования отливки в условиях сложного движения сферической изложницы при её качении по заданной траектории изготовлена лабораторная установка (рисунок 6), основными узлами которой являются:

- опорная рама 1;
- рабочее пространство 2, в котором осуществляется движение изложницы;
- толкатели 3, задающие движение изложницы;
- привод толкателей 4.

Рабочее пространство установки, смонтированное на опорной раме, состоит из двух смежных чашеподобных конструкций, в центральных частях которых имеются два отверстия для выведения приводных валов, обеспечивающих

печивающих вращение обоих толкателей. Вращение толкателей происходит с одинаковой скоростью, но разнонаправленно.

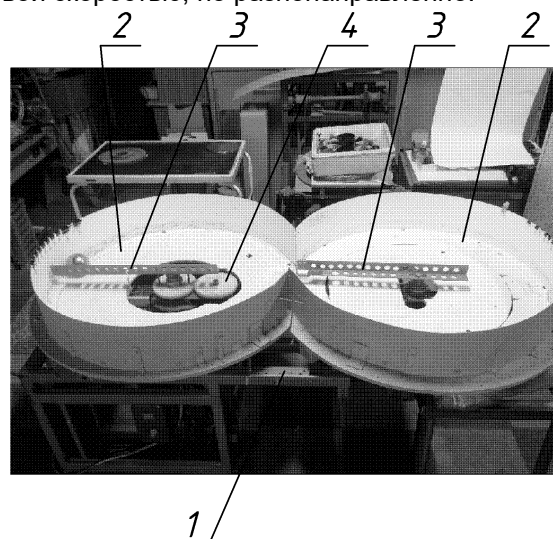


Рисунок 6 - Лабораторная установка, обеспечивающая сложное движение изложницы

Такое вращение организовано за счет использования цепной и зубчатой передач. Днище и вертикальные стенки смежных частей рабочего пространства представляют собой горизонтальные и вертикальные беговые дорожки, по которым происходит качение

изложницы. Расчетная длина толкателей обеспечивает толкание изложницы в плоскостях, проходящих через ее геометрический центр. Для уменьшения трения между изложницей и толкателями на конце толкателей в местах их касания с изложницей установлены подшипники качения.

Рабочий процесс начинается с размещения сферической изложницы, заполненной расплавом, в любой части рабочего пространства установки. Под воздействием толкателя изложница катится одновременно по двум ортогональным поверхностям. Её движение характеризуется как сложное движение, состоящее одновременно из поступательного и вращательного движений. При этом на изложницу действуют силы:

- сила веса самой изложницы, которая прижимает ее к горизонтальной беговой дорожке;
- центробежная сила, прижимающая изложницу к вертикальной беговой дорожке.

Когда изложница в своем движении попадает в зону сопряжения обеих частей рабочего пространства, она под действием центробежной силы перемещается из одной части установки в другую и некоторое время движется в этой другой части по инерции. Здесь движение изложницы по инерции продолжается до тех пор, пока её не догонит другой толкатель и обеспечит аналогичное движение.

Циклическое сложное движение сферической изложницы в рабочем пространстве установки продолжается в течение времени необходимого для затвердевания отливки.

Учитывая, разработанные в последнее время технологические процессы получения отливок в условиях действия на затвердевающий металл нескольких силовых полей, представляется возможным расширить область рационального использования центробежного литья и, следовательно, дополнить некоторые позиции известных в литературе классификаций следующими новациями:

1. сложное вращение изложницы при её расположении относительно осей вращения:

- 1.1 расположение в области пересечения осей вращения для получения отливок:
  - 1.1.1 с внутренней поверхностью в виде эллипсоидов вращения;
  - 1.1.2 с открытой внутренней полостью;
  - 1.1.3 с изолированной внутренней полостью.

1.2 периферийное расположение относительно одной из осей вращения для получения отливок:

- 1.2.1 с целью улучшения заполняемости сложнопрофильных рабочих полостей;
- 1.2.2 с целью влияния на расположение усадочных образований в тепловых узлах тела отливки.

2. сложное движение изложницы при её качении одновременно по двум ортогональным поверхностям по заданной траектории:

- 2.1. для получения мелких отливок с центральной изолированной полостью;
- 2.2. для получения отливок с наперед заданным расположением усадочной раковины [11].

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Юдин С.Б., Левин М.М., Розенфельд С.Е. Центробежное литьё. М., «Машиностроение», 1972, 280 с.
2. Широков Е.В. Об использовании уравнения Бернулли для описания процесса течения расплава во вращающемся литниковом канале//Широков Е.В., // Ползуновский альманах. 2004.- №4. –С. 30-33.
3. Каширцев Л.П., Литейные машины. Литьё в металлические формы: Учебное пособие. –М.: Машиностроение, 2005. 368 с.
4. Широков Е.В., Яманов Н.Р. Анализ особенностей принудительного заполнения литейной формы в условиях её периферийного вращения вокруг вертикальной оси/ Широков Е.В., Черканов В.В., Кононов И.Н., Яманов Н.Р.//Ползуновский вестник.-2012.-№1/1.-с.357-361.
5. Широков Е.В. Анализ возможности использования технологии сложного вращения для заполнения оболочковых форм при литье по выплавляемым моделям/ Широков Е.В., Москалев В.Г.//В сб.: Проблемы и перспективы развития литейного, сварочного и кузнечно-штампового производств. Материалы VII Международной научно-практической конференции. – Барнаул.- 2005
6. Пат. 2162389 Российская Федерация МПК<sup>7</sup> В22Д13/00. Способ изготовления изделий с изолированной полостью и устройство для его осуществления//Широков Е.В., заявитель и патентообладатель Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова-98123638/02., заявл 24.12.1998.: опубл. 27.01.2001., Бюл. №3.-5с.:ил.
7. Широков Е.В. Особенности получения центробежных отливок с изолированной полостью// Широков Е.В.// Перспективные материалы, технологии, конструкции: сб. науч. тр./Под ред. проф. В.В. Стацурь. –Вып.4.-Красноярск: САА.-1998. С.572-573
8. Широков Е.В. Анализ условий получения центробежных отливок со свободной поверхностью сферической конфигурации.//Проблемы и перспективы развития литейного производства.

К ВОПРОСУ О ПОЛУЧЕНИИ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ ОТЛИВОК  
В УСЛОВИЯХ СЛОЖНОГО ВРАЩЕНИЯ ЛИТЕЙНОЙ ФОРМЫ

Сб. науч. тр./Под ред. проф. В.А. Маркова-Вып. 2, Барнаул-1999.- с. 48-49.

9. Широков Е.В. Изучение особенностей формирования центробежно литых отливок при сложном вращении//Проблемы и перспективы развития литейного производства. Сб. науч. тр./ Под ред. проф. В.А. Маркова-Вып.1, Барнаул-1999.- с.50-51

10. Широков Е.В. К вопросу получения мелких отливок с изолированной полостью/ Широков Е.В., Черканов В.В., Ефремов А.В.//Ползуновский альманах. 2013.-№2.-с.164-166.

11. Широков Е.В. Разработка технологического процесса изготовления отливки «оправка прошивного стана»/ Широков Е.В., Ефремов А.В.// В сб.: Научно-образовательный журнал АлтГТУ «Горизонты образования». Вып. 16, Барнаул.-2014.

**Широков Евгений Владимирович** – к.т.н., доцент кафедры «Машиностроительных технологий и оборудования»

ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», 656038, г. Барнаул, пр-т Ленина, 46, тел. 8 (3852) 29-09-63.

**Нешатаев Владимир Викторович** – магистрант кафедры «Машиностроительных технологий и оборудования» ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», 656038, г. Барнаул, пр-т Ленина, 46, тел. 8 (903)9922180.

**Стрижко Татьяна Александровна** – магистрант кафедры «Машиностроительных технологий и оборудования» ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», 656038, г. Барнаул, пр-т Ленина, 46, e-mail: [str\\_ta@mail.ru](mailto:str_ta@mail.ru), тел. 8(923)6409215.