

## К РАСЧЕТУ ДВИЖЕНИЯ СФЕРИЧЕСКОЙ ИЗЛОЖНИЦЫ ПРИ ПОЛУЧЕНИИ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ ОТЛИВОК С ВНУТРЕННЕЙ ИЗОЛИРОВАННОЙ ПОЛОСТЬЮ

Е.В. Широков, В.В. Черканов

В данной статье рассматриваются особенности получения мелких центробежных отливок с внутренней изолированной полостью, формирование которых протекает в условиях сложного движения сферической изложницы при ее качении по заданной траектории. Приведена схема установки обеспечивающей необходимое движение изложницы. Определены основные параметры технологического процесса и показана их взаимозависимость.

**Ключевые слова:** центробежное литье, получение отливок с внутренней изолированной полостью, литье в условиях сложного движения сферической изложницы.

Для получения серии мелких отливок с внутренней изолированной полостью разработана технология, в которой используется вращение сферической изложницы, заполненной жидким металлом, при ее качении по заданной траектории. Рабочее пространство установки обеспечивающее вращение изложницы организовано двумя взаимно перпендикулярными поверхностями (рисунок 1). Движение сферической изложницы задается вращающимся толкателем и представляет собой одновременное качение по горизонтальной и вертикальной беговым дорожкам [1]. При таком движении вращение изложницы происходит только вокруг, так называемой, мгновенной оси вращения, проходящей через геометрический центр изложницы под углом  $45^\circ$  к обеим беговым дорожкам. Известно, что при вращении жидкого металла вокруг наклонной оси, его внутренняя свободная поверхность формируется в виде параболоида вращения и не может сформировать замкнутую изолированную полость.

Замкнуть внутреннюю поверхность и получить изолированную полость позволяет регулярно повторяющееся изменение положения оси вращения изложницы. Операция изменения положения оси вращения обеспечивается перемещением сферической изложницы из одной части рабочего пространства установки в другую. Положение оси вращения каждый раз меняется на  $90^\circ$ . При такой нутации оси вращения формирование параболической свободной поверхности жидкого металла относительно внутренней поверхности изложницы каждый раз протекает разнонаправленно, что в условиях затвердевания металла приводит к формированию изолированной полости внутри отливки почти сфери-

ческой конфигурации.

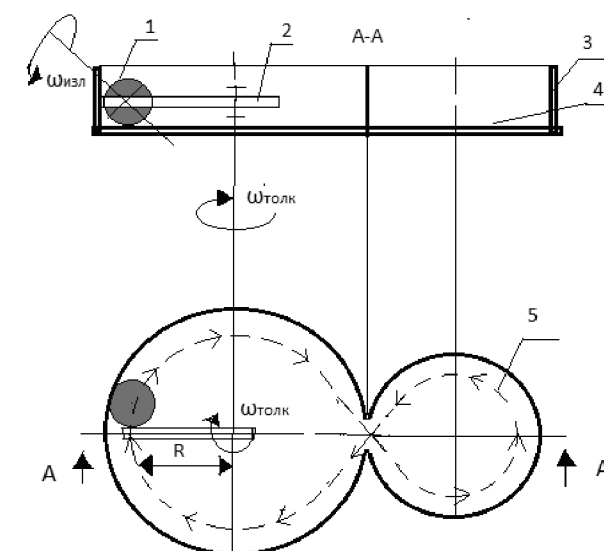


Рисунок 1 – Схематичное изображение движения сферической изложницы в рабочем пространстве лабораторной установки.  $\omega_{толк}$  – угловая скорость вращения толкателя;  $\omega_{изл}$  – угловая скорость вращения изложницы. 1 – сферическая изложница, 2 – толкатель, 3 – вертикальная рабочая дорожка, 4 – горизонтальная рабочая дорожка, 5 – заданная траектория движения изложницы.

Особенностью движения изложницы является то, что в рабочем пространстве установки, в котором отсутствует толкатель, это движение осуществляется по инерции. Для того чтобы движение изложницы в этой части рабочего пространства случилось в полном объеме и закончилось обратным перемещением в рабочее пространство с толкателем, необходимо определить длину пути свобод-

## К РАСЧЕТУ ДВИЖЕНИЯ СФЕРИЧЕСКОЙ ИЗЛОЖНИЦЫ ПРИ ПОЛУЧЕНИИ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ ОТЛИВОК С ВНУТРЕННЕЙ ИЗОЛИРОВАННОЙ ПОЛОСТЬЮ

ного пробега изложницы после прекращения действия на нее вращающегося толкателя.

Величину свободного пробега определяют в результате анализа взаимозависимости технологических параметров процесса движения сферической изложницы. Движение изложницы представляет собой ее одновременное качение по двум ортогональным беговым дорожкам. Основными параметрами процесса являются:

- масса изложницы;
- наружный диаметр изложницы;
- скорость поступательного движения изложницы;
- угловая скорость вращения изложницы;
- величина сил сопротивления качению изложницы.

Уравнением определяющим взаимозависимость параметров процесса движения изложницы от момента прекращения действия толкателя до момента прекращения движения изложницы может быть уравнение [2]:

$$T_1 - T_0 = \sum A_i^e \quad (1)$$

где  $T_1$  – величина кинетической энергии изложницы в момент прекращения ее движения вследствие действия сил сопротивления ( $T_1 = 0$ );

$T_0$  – величина кинетической энергии изложницы в начале ее свободного движения;

$\sum A_i^e$  – сумма работ всех (индекс «i») приложенных к изложнице внешних (индекс «e») сил на заданном перемещении. При этом сумма работ всех внутренних сил равна нулю.

*Определение величины кинетической энергии сферической изложницы в начале ее свободного движения*

Сферическая изложница в рабочем пространстве установки движется по окружности, опираясь одновременно на горизонтальную и вертикальную беговые дорожки. Такой тип движения может быть отнесен к общему случаю движения твердого тела [2], и который можно разложить на поступательное движение изложницы с ее центром тяжести и на вращательное движение в виде ее вращения вокруг мгновенной оси. Следовательно, кинетическую энергию изложницы в этом случае можно определить как сумму кинетической энергии поступательного движения изложницы со скоростью центра масс и кинетической энергии вращательного движения изложницы

вокруг оси проходящей через центр масс по формуле [2]:

$$-T_0 = - \left( \frac{m_{изл} g_c^2}{2} + \frac{I_{c\xi} \omega_{изл}^2}{2} \right) \quad (2)$$

$m_{изл}$  – масса изложницы;

$g_c$  – скорость центра тяжести изложницы;

$I_{c\xi}$  – момент инерции сферической изложницы относительно оси проходящей через центр тяжести изложницы;

$\omega_{изл}$  – угловая скорость вращения изложницы относительно оси проходящей через центр тяжести изложницы.

*Определение работ внешних сил приложенных к изложнице и оказывающих сопротивление ее качению*

Сопротивление качению изложницы создают возникающие вследствие деформации поверхностей беговых дорожек пары сил. В горизонтальной плоскости этой парой сил будут сила веса изложницы «G» и сила нормальной реакции горизонтальной поверхности  $N_{гор}$  от действия силы веса (рисунок 2).

В вертикальной плоскости парой сил сопротивления будут центробежная сила  $F_{цб}$  прижимающая изложницу к вертикальной беговой дорожке и сила нормальной реакции вертикальной поверхности  $N_{верт}$  от действия центробежной силы (рисунок 3). Эти пары сил создают моменты сопротивления движению изложницы, которые определяются как:

$$M_{гор} = k_1 N_{гор} \text{ и } M_{верт} = k_2 N_{верт} \quad (3)$$

В этих уравнениях  $k_1$  и  $k_2$  представляют собой плечи пар сопротивления, называются коэффициентами трения качения, в каждом конкретном случае имеют соответствующие значения и при необходимости могут быть определены экспериментально.

Элементарная работа каждой пары сил сопротивления качению изложницы будет равна произведению вращающего момента пары сил ( $M = kN$ ) на элементарный угол поворота « $d\varphi$ », который при качении опре-

деляется по формуле  $\left( d\varphi = \frac{dS_c}{r_{изл}} \right)$ , в ко-

торой « $dS_c$ » - элементарное перемещение центра тяжести сферической изложницы, а « $r_{изл}$ » - радиус изложницы:

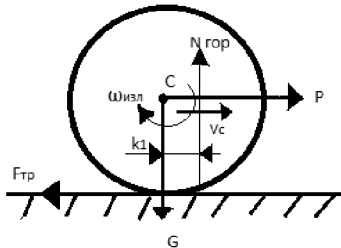


Рисунок 2 – К формированию момента сопротивления качению изложницы по горизонтальной беговой дорожке

$$dA^{кач} = -kN \frac{dS_c}{r_{изл}} \quad (4)$$

Работа сопротивления качению в случае неизменяющегося момента при повороте изложницы на конечный угол после интегрирования выражения (4) определится в общем виде как:

$$A^{кач} = -\frac{k}{r_{изл}} NS_c \quad (5)$$

где  $S_c$  – конечное перемещение изложницы после прекращения действия толкающего усилия.

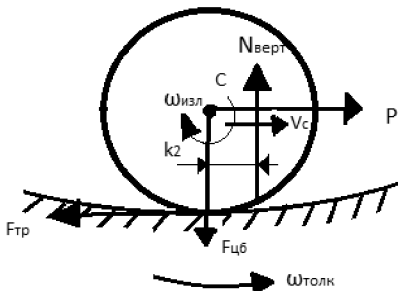


Рисунок 3 – К формированию момента сопротивления качению изложницы по вертикальной беговой дорожке

Поскольку сопротивление качению в рассматриваемом случае оказывают два момента (две пары сил) действующих на изложницу в ортогональных плоскостях, то работа сопротивления будет складываться:

$$A^{кач} = -\left( \frac{k_1}{r_{изл}} N_{гор} + \frac{k_2}{r_{изл}} N_{верт} \right) S_c$$

или

$$A^{кач} = -\left( \frac{k_1}{r_{изл}} G_{изл} + \frac{k_2}{r_{изл}} F_{цб} \right) S_c \quad (6)$$

В результате проведенного анализа после подстановки (2) и (6) в (1) уравнение, связывающее технологические параметры процесса свободного движения изложницы после прекращения действия толкающего усилия (уравнение изменения кинетической энергии изложницы), выглядит следующим образом:

$$-\left( \frac{m_{изл} g_c^2}{2} + \frac{I_{c\xi} \omega_{изл}^2}{2} \right) = \quad (7)$$

$$-\left( \frac{k_1}{r_{изл}} G_{изл} + \frac{k_2}{r_{изл}} F_{цб} \right) S_c$$

Откуда величина свободного пробега сферической изложницы определится как

$$S_c = \frac{(m_{изл} g_c^2 + I_{c\xi} \omega_{изл}^2) r_{изл}}{2(k_1 G_{изл} + k_2 F_{цб})} = \quad (8)$$

$$\frac{(m_{изл} g_c^2 + 0,4 m_{изл} r_{изл}^2 \omega_{изл}^2) r_{изл}}{2(k_1 m_{изл} g + k_2 m_{изл} \omega_{толк}^2 R)}$$

Полученное выражение может быть использовано при решении технических и технологических вопросов процесса получения мелких центробежных отливок с изолированной полостью.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Широков Е.В., Черканов В.В., Ефремов А.В. К вопросу получения мелких отливок с изолированной полостью// Ползуновский альманах, - Барнаул АлтГТУ, 2013г. №2, С 164-166.
2. Тарг С.М. Краткий курс теоретической механики: Учебник для вузов. – М: Высш.шк., 2005.- 416с.

**Широков Евгений Владимирович** – к.т.н., доцент кафедры МТЮ.

АлтГТУ им. И.И.Ползунова.

**Черканов Виктор Владиславович** – к.т.н., доцент кафедры МиИ.

АлтГТУ им. И.И.Ползунова.