

**Кирсанов А.Н., Кожемякин В.Г., Солодовник М.Д.**

## **КИНЕМАТИЧЕСКИЕ И ДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОЦЕССА МАГНИТНО- АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ ЮВЕЛИРНЫХ ИЗДЕЛИЙ**

**Kirsanov A.N., Kozhemyakin V.G., Solodovnik M.D.**

## **THE KINEMATIC AND DYNAMIC CHARACTERISTICS OF MAGNETOABRASIVE TREATMENT OF JEWELRY PRODUCTS**

*Реализована задача о соотношении кинематических и динамических (сило-вых) параметров для качественной обработки изделий из заготовок неферромагнитной структуры в магнитном поле. Предложена математическая модель, с помощью которой решена поставленная задача и дана оценка качественным и количественным показателям. На всех технологически целесообразных режимах вращения магнитного поля получено совпадение результатов по определению оптимальных параметров технологического процесса магнитно-абразивной обработки по временным и энергозатратным параметрам.*

**Ключевые слова:** *неферромагнитная заготовка, абразивная составляющая, сила Архимеда, сила Стокса, сила Кориолиса, пондеромоторная и переносная силы инерции, качество изделия.*

### **Введение**

При магнитно-абразивной обработке заготовок неферромагнитной структуры в магнитном поле, очевидно, абразивной составляющей является материал с магнитными свойствами. В качестве такого материала можно брать измельченную металлическую мочалку проволочного типа с округленными торцами (аналогичный стружечный материал, а также проволочный с высокой твердостью может оставлять задиры и многочисленные риски на обрабатываемых заготовках), что недопустимо нормативными условиями.

### **Цель**

Целью работы является компьютерное исследование предложенной математической модели, натурная проверка процесса магнитно-

абразивной обработки ювелирных изделий из немагнитных материалов и определение оптимальных технологических параметров.

### **Математическая модель**

При исследовании движения трехкомпонентного состава предполагается:

- обрабатываемая заготовка массой  $m_1$  должна быть предпочтительно с овальной геометрией;
- ферромагнитная абразивная компонента массой  $m_2$ , причем  $m_1 > m_2$ .
- жидкость, покрывающая объем рабочей зоны, имеет малый коэффициент вязкости.

Рассматриваемая среда приводится в движение постоянными магнитами вращающимися с угловой скоростью  $\omega = \omega(t)$  в горизонтальной наружной плоскости днища неподвижной емкости (загружаемый контейнер).

Превалирующей кинематической характеристикой подвижной среды [1] является переносная скорость жидкости, увлекаемая вращающимися рабочими ферромагнитными частицами, сосредотачивающимися, в основном, в окрестности магнитов.

По данным эксперимента и результатам аналогичных исследований переносная скорость жидкости на 5-10% меньше окружной скорости движения рабочей среды, которая практически совпадает со скоростью вращения магнитов.

В свою очередь обрабатываемые заготовки отстают от движения жидкости на те же 5-10%. Очевидно это оценка относительной скорости. Заметная разность в скоростях заготовок и рабочих частиц  $\approx 15\%$ , очевидно повышает степень и скорость абразивной обработки.

Если рассмотреть динамическую составляющую, то в разряд сил действующих на заготовку следует отнести:

- силу тяжести  $m_1g$ , которая уравновешивается Архимедовой силой;
- силу Стоксовского сопротивления:

$$F = 6\pi \cdot \mu \cdot r_0 \cdot V_r, \quad (1)$$

где  $V_r$  - относительная скорость, оценка которой дана выше;

$\mu$  - коэффициент вязкости жидкости;

$r_0$  - осредненный размер заготовки

- силу Кориолиса:

$$\Phi_c = 2m_1\omega V_r, \quad (2)$$

- силу трения скольжения:

$$F_{mp} = fN, \quad (3)$$

которая незначительна за счет малости коэффициента  $f$  ввиду глассирующего эффекта при скольжении округленных заготовок непосредственно примыкающих к днищу контейнера.

Превалирующей силой для рассматриваемой заготовки является очевидно переносная сила инерции:

$$\Phi_e = m_1 \omega^2 r, \quad (4)$$

при переносной скорости:

$$V_e = \omega r, \quad (5)$$

где  $r$  – текущее положение заготовки вдоль радиуса контейнера  $R$ .

Аналогичная система сил, с соответствующими параметрами, действует и на компоненты рабочего материала для которых, в зависимости от режима вращения, к сопоставимым по своему влиянию на движение силам относятся переносная и пондеромоторная сила [2]:

$$\Delta F = m_2 \chi \alpha \mu_0 H_0^2 l^{-2} \alpha \tilde{r}, \quad (6)$$

где  $\tilde{r}$  – расстояние между магнитом и рабочей компонентой, очевидно, что при  $\tilde{r} = 0$  пондеромоторная сила является максимальной.

При допустимых предположениях достаточно ограничиться одной системой уравнений, касающейся движения обрабатываемой компоненты, как одной материальной точки в срединной плоскости движения среды. В подвижной системе ОХУ (рис. 1) уравнения системы имеют вид:

$$\begin{aligned} m_1 \left( \frac{dV_r}{dt} \cos \varphi - \frac{V_r^2}{\rho} \sin \varphi \right) &= m_1 \omega^2 r - 6\pi \mu r_0 V_r \cos \varphi - 2m \omega V_r \sin \varphi; \\ m_1 \left( \frac{dV_r}{dt} \sin \varphi + \frac{V_r^2}{\rho} \cos \varphi \right) &= 6\pi \mu r_0 V_r \sin \varphi - 2m_1 \omega V_r \cos \varphi, \end{aligned} \quad (7)$$

где  $\rho$  – радиус кривизны траектории  $\gamma$ .

Для рабочей компоненты структура уравнений движения остается аналогичной. К ней только необходимо, как уже было отмечено выше, добавить пондеромоторную силу соответственно с взаимнообратными направлениями.

В качестве граничных условий необходимо взять равенство нулю относительной скорости  $V_r$  в момент загрузки контейнера при  $r = 0$  и на его границе ввиду наличия пограничного слоя при  $r = R$ .

### Результаты исследований

При численной реализации системы уравнений необходимо учесть, что в зоне интенсивной обработки заготовки (на рис. 1 показано прерывистой кривой в четвертом квадранте) необходимо уточнять значения коэффициента вязкости  $\mu$  в более плотной среде.

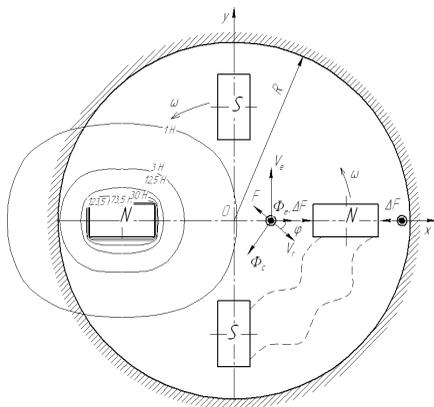


Рис. 1. Конфигурация действующих сил на точечную компоненту: пондеромоторная сила  $\Delta F$  одного из четырех магнитов показана слева и справа от магнита, а силовые линии магнитного поля – овальными кривыми

Определив из системы (7) относительную скорость  $V_r$  и зная переносную скорость  $V_e$ , определяется абсолютная скорость по формуле

$$\vec{V}_a = \vec{V}_r + \vec{V}_e \quad (8)$$

и, следовательно, одну из вероятных ее траекторий-спирали, нисходящей к некоторой нейтральной зоне, где уравниваются пондеромоторные (для абразивной составляющей) и центробежные силы, для обеих компонент.

Дальнейшее движение частиц происходит по траектории с другим радиусом кривизны.

Сопоставление, определяющих в основном движение, центробежных и пондеромоторных сил показывает, что режим вращения должен быть циклическим, устанавливаемым автоматическим устройством.

На первом этапе угловая скорость должна увеличиваться до  $\omega_2$  вплоть до достижения двух фракций боковой границы контейнера, затем угловая скорость должна убывать до  $\omega_1$  возвращая абразивные частицы в зону максимального действия правого магнита. Из-за разности масс, размеров и скоростей обеих компонент, а также соответствующей установкой магнитов, интенсифицируется процесс обработки на сопутствующих и встречных их движениях.

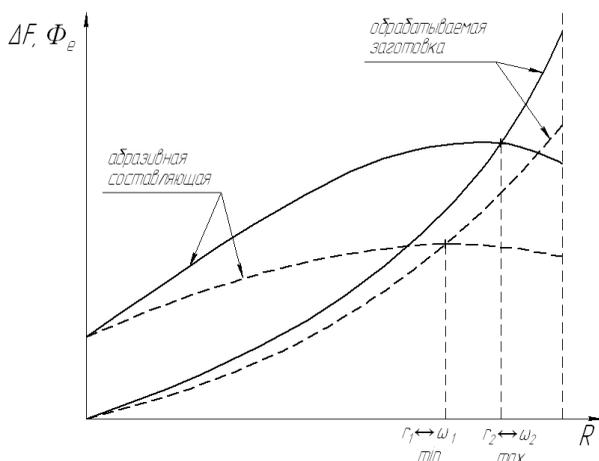


Рис. 2. Зоны преимущественного действия центробежных и пондеромоторных сил

На рис. 2 показаны зоны первой фазы преимущественного влияния пондеромоторных и центробежных сил (сплошные линии). Пунктирными линиями приведены зоны на второй фазе движения при меньших  $\omega$ .

При обработке неокругленных заготовок, для которых присутствуют собственные повороты из-за дополнительной скорости столкновений и естественной при этом «турбулизации» наблюдается более эффективная, в смысле качества, обработка. Сопоставление аналитических и экспериментальных результатов подтверждает не только качественные, но и количественные выводы.

Теоретически и экспериментально на всех физически целесообразных режимах вращения магнитного поля получено совпадение результатов по определению оптимального технологического процесса

магнитно-абразивной обработки заготовок по временным и энергозатратным параметрам. Дополировочное качество поверхности заготовок определяется в одном из известных методов, например по спектральному анализу отражательной способности, идентичные методы проверки применяются и при окончательной оценке качества поверхности отполированных изделий.

Технологические режимы вращения и концентрация загрузки обеих компонент, а также выбор рабочей жидкости окончательно определяются после проведения соответствующих натуральных экспериментов.

### **Выводы**

1. Превалирующей кинематической характеристикой подвижной среды является переносная скорость жидкости, увлекаемой вращающимися рабочими ферромагнитными частицами, сосредотачивающимися, в основном, в окрестности магнитов.

2. Скорость обрабатываемых заготовок ниже скорости жидкости и скорости вращения рабочей среды на 5-10%, что определяет относительную скорость. Заметная разность в скоростях заготовок и рабочих частиц  $\approx 15\%$ , повышает степень и скорость абразивной обработки.

3. Сопоставление, определяющих в основном движение, центробежных и пондеромоторных сил показывает, что режим вращения должен быть циклическим, устанавливаемым автоматическим устройством.

### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Старжинский В.М. Теоретическая механика / В.М. Старжинский. – М.: Наука, 1980. – 464 с.
2. Измоленов Ю.А. Магнитный метод газовой очистки / Ю.А. Измоленов, А.Ф. Скворцов – Симферополь: Таврия, 1972. – 112 с.
3. Павлюкова Н.Л. Использование магнитно-абразивного полирования при отделке деталей из цветных сплавов / Л.Н. Павлюкова // Вестник ИГЭУ Вып. 3. – Иваново: 2010. – С. 21–24.
4. Кірсанов О.М. Експериментальне дослідження процесу магнітно-абразивного полірування немагнітних деталей складної форми/ О.М. Кірсанов, О.В. Чесноков, В.Г. Кожем'якін // Наукові вісті Дніпровського університету, №8. Вид-во СНУ ім. В.Даля, Луганськ: 2012. [http://archive.nbu.gov.ua/e-journals/Nvdu/2012\\_8/12komdsf.pdf](http://archive.nbu.gov.ua/e-journals/Nvdu/2012_8/12komdsf.pdf)

### **REFERENCES**

1. Starzhinskiy V.M. Theoretical mechanics. Moscow.: Nauka, 1980. – 464 p.
2. Izmodenov Y.U. The magnetic method gasowodoochistki / Simferopol: Tavria, 1972. – 112 p.
3. Pavlyukova N.L. The use of magnetic-abrasive polishing for finishing of parts from non-ferrous alloys journal of ISPU, Vol. 3. – Ivanovo: 2010. pp. 21–24.

4. Kirsanov O.M. Eksperimentalne doslidzhennya protsesu magnitno- abrazivnogo poliruvannya nemagnitnih detaley skladnoyi formi / O.M. Kirsanov, O.V. Chesnokov, V.G. Kozhemyakin // Naukovi visti Dalivskogo universitetu, Vol. 8, Volodymyr Dahl East National University, Lugansk: 2012. [http://archive.nbu.gov.ua/e-journals/Nvdu/2012\\_8/12komdsf.pdf](http://archive.nbu.gov.ua/e-journals/Nvdu/2012_8/12komdsf.pdf).

***Кірсанов О.М., Кожемякін В.Г., Солодовник М.Д. Кінематичні та динамічні характеристики процесу магнітно-абразивної обробки ювелірних виробів.***

*В статті реалізована задача про співвідношення кінематичних та динамічних (силових) параметрів для якісної обробки виробів із заготовок неферомагнітної структури в магнітному полі. Запропонована математична модель, за допомогою якої вирішена поставлена задача і надана оцінка якісним і кількісним показникам. На всіх технологічно доцільних режимах обертання магнітного поля одержаний збіг результатів по визначенню оптимальних параметрів технологічного процесу магнітно-абразивної обробки за часовими та енерговитратними параметрами.*

**Ключові слова:** неферомагнітна заготовка, абразивна складова, сила Архімеда, сила Стокса, сила Кориоліса, сили інерції, якість виробу.

***Kirsanov A.N., Kozhemyakin V.G., Solodovnyk M.D. The kinematic and dynamic characteristics of magnetic-abrasive treatment of jewelry products.***

*The purpose of this work is computer simulation with using the offered mathematical model, verification of the magnetically-abrasive treatment model of jewelry wares from nonferromagnetic materials and determination of optimum technological parameters. Mathematical design and experimental research of process of magnetically-abrasive treatment. Predominating kinematics description of mobile environment is portable speed of liquid, carried away the revolved workers by ferromagnetic particles, mainly, in the vicinity of magnets. Comparison, determining motion mainly, centrifugal and ponderomotive forces shows that the mode of rotation should be cyclic. The process of magnetically-abrasive treatment of unmagnetic billets is studied. Certain correlations of operating on centrifugal forces, determining speed and productivity of treatment.*

**Keywords:** non ferromagnetic workpiece, abrasive component, process, Archimede force, Coriolis force, inertia forces, quality of the product.

Кірсанов А.Н. – канд. техн. наук, доцент Восточноукраїнського національного університету імені Володимира Даля, г. Луганск, Україна.  
e-mail: tm@snu.edu.ua

Кожемякін В.Г. – аспірант ІЭС ім. Е.О. Патона НАН України, г. Київ, Україна.

Солодовник М.Д. – канд. ф.-м. наук, доцент Восточноукраїнського національного університету імені Володимира Даля, г. Луганск, Україна.