



Рис. 4. Ручная лебедка. Общий вид.

Применение разрабатываемых нами планетарных передач с телами качения не ограничено созданием только низкоскоростных редуцирующих устройств (гайковвертов, высокомоментных ключей, лебедок). В данной работе также была оценена возможность применения планетарного зацепления с телами качения для создания высокоскоростной передачи.

Конструкция мотор-редуктора, разработана на базе двухступенчатой планетарной шариковой передачи. Ступени соединены последовательно. Первая ступень спроектирована по третьей (обращенной) кинематической схеме: вал с пазами остановлен и связан с корпусом, выходным звеном является наружный кулачок. Наружный кулачок с многопериодным профилем изготовлен на валу, где размещены также два кулачка, образующие беговую дорожку внутреннего кулачка второй ступени: таким образом, этот вал является выходным для первой ступени и входным для второй ступени. Вторая ступень сконструирована по первой кинематической схеме, выходной звено – вал с пазами, остановленное звено – наружный кулачок. Общее передаточное отношение мотор-редуктора определяется по следующей формуле:

$$u = \left( -\frac{z'_3}{z'_1} \right) \left( 1 + \frac{z''_3}{z''_1} \right) = -z'_3 (1 + z''_3) \quad (7)$$

Верхние индексы в формуле (7) обозначают номер ступени редуктора.

УДК 621.793

Мрочек Ж.А., Кожуро Л.М., Хилько Д.Н.

## ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ПРОВОДИМОСТЬ ФЕРРОПОРОШКА В РАБОЧЕЙ ЗОНЕ ПРИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ НАПЛАВКЕ

Известно [1], что сила разрядного тока при электромагнитной наплавке определяется величиной электрической проводимости порошка в рабочей зоне. Электрическая проводимость ферропорошка, в свою очередь, обусловлена наличием токопроводящих цепочек-микроэлектродов, формирующихся

Мотор-редуктор был разработан в Белорусско-Российском университете, изготовлен и собран, на рис.5 приведен его общий вид с блоком управления и заземляющим проводом.

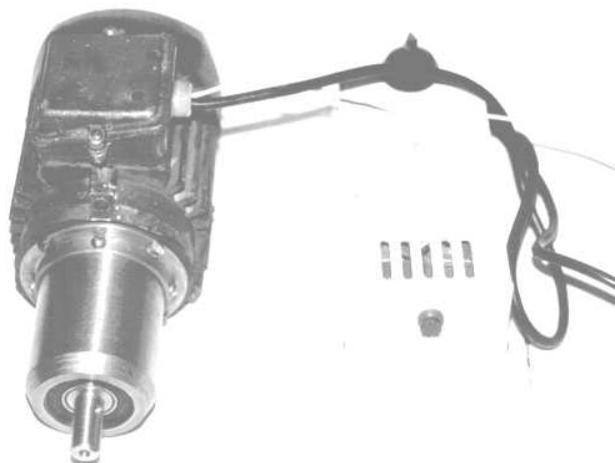


Рис. 5. Мотор-редуктор с блоком управления.

Блок управления служит для реверса вращения. В конструкции используется асинхронный электродвигатель типа 4AA5682У3 мощностью 250 Вт и частотой вращения 2760 об/мин. Электропитание осуществляется от сети постоянного тока ( $U=220V$ ,  $v=50Hz$ ). Редуцирующая часть имеет передаточное отношение, равное 72 (в первой ступени  $u'=8$ , во второй ступени  $u''=9$ ), а наружный диаметр корпуса редуктора – 70 мм. Смазочный материал закладываемый в редуцирующий узел представляет собой консистентную смесь графита и гипойдного масла ТАД 17-и. Проведенные эксперименты позволили определить КПД двухступенчатой передачи, который составил 71%, что сопоставимо с КПД одноступенчатых червячных передач.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Лустенков М.Е. Планетарные шариковые передачи цилиндрического типа: монография / М.Е.Лустенков, Д.М.Макаревич.-Могилев: Бел.-Рос. ун-т, 2005. -123 с.: ил.
2. Лустенков М.Е. Эллипсоидные шариковые передачи: недостатки и преимущества // Приводная техника. - 2003. - №3(43). - С.20-22.
3. Лустенков М.Е. Расчет геометрии адаптированного профиля эллипсной шариковой передачи // Технология машиностроения. – 2005. -№5. – С.36-38.
4. Лустенков М.Е. Шариковые планетарные передачи для средств малой механизации // Вестник машиностроения. – 2004. - №6. – С.15-17.

в магнитном поле, и определяется величиной межэлектродного промежутка, физико-механическими свойствами наплавляемого ферропорошка и силовым взаимодействием между его частицами.

При прохождении тока через цепочки-микроэлектроды на

Мрочек Жорж Адамович, д.т.н., профессор Белорусского национального технического университета.

Беларусь, БНТУ, 220050, г. Минск, пр. Независимости, 65.

Кожуро Лев Михайлович, д.т.н., профессор Белорусского государственного аграрного технического университета.

Хилько Дмитрий Николаевич, аспирант Белорусского государственного аграрного технического университета.

Беларусь, БГАТУ, 220023, г. Минск, пр. Независимости, 99.

всех участках замкнутой цепи электрическая энергия превращается в тепловую: на контактных участках соприкосновения частиц порошка и внутри частиц, на контактных поверхностях раздела полусферический наконечник – порошок – заготовка детали. В общем случае при электрическом разряде, проходящем через порошок, можно выделить следующие стадии:

- разрушение оксидных пленок между смежными частицами порошка в осевом направлении при приложении напряжения, сопровождающееся резким падением сопротивления;
- спекание частиц порошка с образованием параллельных направлению протекания тока проводников в виде «гирлянд» или «нитей», способствующих дальнейшему падению сопротивления;
- возникающее вследствие пинч-эффекта обжатие «нитей» и, как следствие, разрушение поверхностей между частицами;
- прохождение тока через образовавшиеся электрические мостики;
- дезинтеграция, потеря стабильности и электровзрыв, т.е. возникновение дуговых разрядов.

Приняв допущение о симметричной форме частиц ферропорошка (сфера), определим количество частиц  $n$  и количество цепочек-микроэлектродов  $N$  в рабочей зоне.

Число частиц ферропорошка, из которых формируются цепочки, определяем из соотношения

$$n = \frac{g \cdot k}{V \cdot \rho_m},$$

где  $g$  – расход ферропорошка, г/с;  $k$  – коэффициент использования ферропорошка;  $V$  – объем частицы ферропорошка, см<sup>3</sup>;  $\rho_m$  – плотность материала ферропорошка, г/см<sup>3</sup>.

Для определения количества цепочек-микроэлектродов  $N$  в рабочей зоне рассмотрим элементарную ячейку в виде параллелепипеда, выделенного из 8 частиц ферропорошка, объем металла которого равен объему одной частицы (рис. 1).

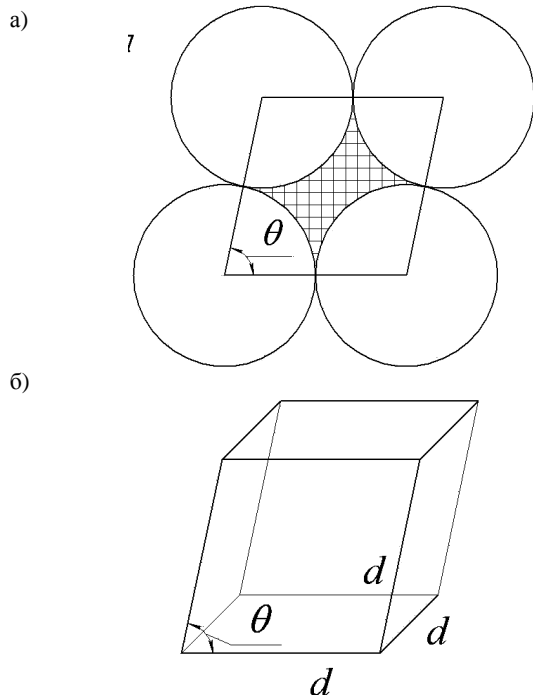


Рис. 1. Схема элементарной ячейки (а) и предполагаемая модель укладки сферических частиц в пространстве рабочей зоны (б) при электромагнитной наплавке.

В данном случае элементарная ячейка представляет собой модель размещения частицы в объеме рабочей зоны и характеризуется углом укладки частиц  $\theta$ . Плотность укладки частиц  $\Pi$  – это отношение объема поры в элементарной ячейке  $V_n$  к полному объему ячейки  $V_0$

$$\Pi = \frac{V_n}{V_0}. \quad (1)$$

Так как элементарная ячейка содержит объем металла, равный объему одной частицы ферропорошка  $V_u$ , то зависимость (1) можно представить в виде

$$\Pi = 1 - \frac{V_u}{V_0}.$$

Объем частицы ферропорошка  $V_u$  в общем случае определяется с учетом ее среднего диаметра  $d$

$$V_u = \alpha_v \frac{\pi d^3}{6},$$

где  $\alpha_v$  – объемный фактор формы, который для сферических частиц равен 1.

Используя геометрические вычисления, объем ячейки  $V_0$  можно выразить через параметры модели:

$$V_0 = d^3 \frac{\sin^2 \theta}{1 + \cos \theta \sqrt{1 + 2 \cos \theta}}.$$

Тогда плотность укладки частиц определяется

$$\Pi = 1 - \frac{\alpha_v \pi (1 - \cos \theta) \sqrt{1 + 2 \cos \theta}}{6 \sin^2 \theta}.$$

Число цепочек-микроэлектродов  $N$  определяем из зависимости

$$N = \frac{4nV_u(1 + \Pi)}{\pi d^2 \delta},$$

где  $\delta$  – величина межэлектродного промежутка.

Определяем падение напряжения на цепочке-микроэлектроде

$$\Delta U_j = \sum_{i=1}^k \Delta U_i + \sum_{i=1}^{k+1} \Delta U_{i,i+1},$$

где  $\Delta U_i$  – падение напряжения на  $i$ -ой частице ферропорошка;  $\Delta U_{i,i+1}$  – падение напряжения в контакте между  $i$ -ой и  $i+1$  частицами;  $k = \frac{\delta}{d}$  – число частиц ферропорошка в цепочке.

Запишем закон Ома для частицы ферропорошка и контакта между частицами

$$\Delta U_i = i_j \cdot r_i;$$

$$\Delta U_{i,i+1} = i_j \cdot r_{i,i+1},$$

где  $i_j$  – сила разрядного тока в  $j$  цепочке;  $r_j$  – сопротивление  $i$ -ой частицы;  $r_{i,i+1}$  – сопротивление в контакте между  $i$ -ой и  $i+1$  частицами.

Так как цепочка составлена из  $k$ -порошинок, то падение напряжения на одной из цепочки будет равно

$$\Delta U_j = i_j \cdot r_u \cdot k + i_j \cdot r_k \cdot (k + 1),$$

где  $r_u$  и  $r_k$  – соответственно сопротивление частицы ферро-порошка и в контакте между ними.

Тогда сопротивление одной цепочки будет равно

$$R_j = \frac{\Delta U_j}{i_j} = \frac{i_j \cdot r_u \cdot k}{i_j} + \frac{i_j \cdot r_k \cdot (k+1)}{i_j} = r_u \cdot k + r_k \cdot (k+1).$$

Электрическую проводимость порошка в рабочей зоне определим из соотношения

$$\frac{1}{R} = \sum_{j=1}^N \frac{1}{R_j} = \frac{N}{r_u \cdot k + r_k \cdot (k+1)}.$$

В случае расчета сопротивления частицы ферропорошка шаровидной формы выделим в ней слой, перпендикулярный оси  $y$  толщиной  $dy$  (рис. 2).

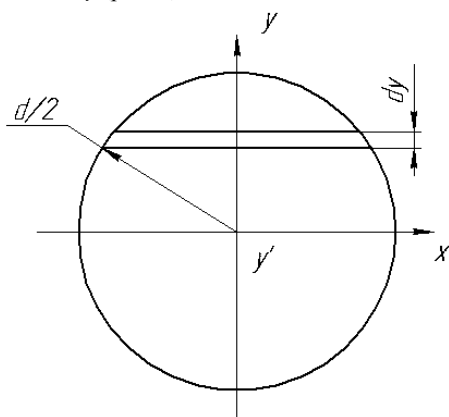


Рис. 2. Схема для определения электрического сопротивления частицы ферропорошка в межэлектродном зазоре при электромагнитной наплавке.

Площадь сечения слоя, расположенного на расстоянии  $y'$  от центра частицы будет равна

$$S(y') = \alpha_v \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (d^2 - 4y'^2),$$

а электрическое сопротивление слоя порошка тогда определится из зависимости

УДК 621.793.18

Мрочек Ж.А., Иванов И.А., Султан С.А.И.

## РАСЧЁТ СКОРОСТИ ОСАЖДЕНИЯ ПОКРЫТИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПАКЕТА ПРИКЛАДНЫХ ПРОГРАММ МАТЛАВ

Для ионно-плазменных способов осаждения покрытий одним из важных факторов, влияющих на функциональные свойства поверхности, является толщина осажденного слоя [1], поэтому разработка методов расчета и контроля толщины формируемых покрытий является актуальной [2].

Основная цель работы – это разработка на базе пакета прикладных программ MATLAB опытно-статистических моделей для расчета скорости осаждения покрытий в зависимости от технологических параметров процесса с визуализацией результатов.

Для аналитического описания известных экспериментальных зависимостей выбирались эмпирические формулы в виде многочленов, степень которых заранее была не известна [3].

*Иванов Игорь Аркадьевич, д.т.н., доцент, зав. каф. «Основы машиностроительного производства и профессиональное обучение» Белорусского национального технического университета.*

*Салем Абубакер Султан Имхимад, аспирант Белорусского национального технического университета. Беларусь, БНТУ, 220107, г. Минск, пр. Партизанский, 77.*

Машиностроение

$$dr = \rho \cdot \frac{4 \cdot dy'}{\alpha_v \cdot \pi \cdot (d^2 - 4y'^2)}, \quad (2)$$

где  $\rho$  – удельное сопротивление частицы порошка.

Интегрируя (2), получаем уравнение для определения электрического сопротивления частицы ферропорошка

$$r = \frac{8\rho}{\pi} \cdot \int_0^{\tilde{y}} \frac{dy'}{d^2 - 4y'^2},$$

где  $\tilde{y}$  – координата, при которой площадь сечения шаровидной порошинки будет равна  $\pi x^2(y)$ .

Для определения контактных сопротивлений между частицами порошка используем зависимость [2]

$$r_k \approx \frac{1}{\sqrt[3]{p}},$$

где  $p$  – давление в контакте.

Давление в контакте  $p$  определяется как отношение силы  $F$ , действующей в контакте, к площади контакта  $\Delta S$ .

Площадь контакта  $\Delta S$  определяется зависимостью [3]

$$\Delta S = \pi \cdot \sqrt[3]{\left[ \frac{3dF \cdot (1 - \mu^2)}{8E} \right]^2},$$

где  $\mu$  и  $E$  – соответственно коэффициент Пуассона и модуль Юнга материала ферропорошка.

Таким образом, получены математические зависимости, определяющие величину электрического сопротивления и давления в рабочей зоне между частицами ферропорошка при электромагнитной наплавке.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Кожуро Л. М., Чемисов Б. П. Обработка деталей машин в магнитном поле. – Мн.: Наука і тэхніка, 1995. – 232 с.
2. Поливанов К. М. Теоретические основы электротехники. Ч. 3. Теория электромагнитного поля. – М.: Энергия, 1969. – 352 с.
3. Ромм Е.С. Структурные модели порового пространства горных пород. – Л.: Недра, 1985. – 240 с.

Для построения интерполяционных полиномов использовался метод неопределенных коэффициентов, реализуемый на базе пакета прикладных программ [4].

В качестве примера рассматривался однокомпонентный плазменный поток, формируемый при испарении вакуумной дугой титана марки ВТ1-0. При моделировании за источник плазмы (центр испарения) принималась точка пересечения оси испарителя с поверхностью катода.

Исходные экспериментальные данные для интерполяции [5]- вертикальный срез осесимметричного плазменного потока с изолиниями скоростей осаждения покрытий (рис. 1) - использованы для написания функции MATLAB со следующим прототипом: