

### Литература

1. Кузнецов С. Сбербанк сокращает разрыв между общим технологическим развитием и технологиями безопасности // Журнал ПЛАС. 2018. № 9.
2. Банк Русский Стандарт начал принимать биометрические данные клиентов // Журнал ПЛАС. 2018. URL: <https://www.plusworld.ru/daily/banki-i-mfo/bank-russkij-standart-nachal-prinimat-biometricheskie-dannye-klientov/>.
3. Альфа-Банк запустил идентификацию клиентов по отпечатку ладони // Журнал ПЛАС. 2018. URL: <https://www.plusworld.ru/daily/tehnologii/alfa-bank-zapustil-identifikatsiyu-klientov-po-otpechatku-ladoni/>.
4. Тинькофф Банк в 6 раз сократил число случаев кредитного мошенничества благодаря биометрии // Журнал ПЛАС. 2018. URL: <https://www.plusworld.ru/>

daily/banki-i-mfo/tinkoff-bank-v-6-raz-sokratil-sluchai-kreditnogo-moshennichestva-blagodarya-biometrii-2/.

5. Якименко А.А., Вихман В.В. Биометрические системы контроля и управления доступом в задачах защиты информации. Новосибирск: Изд. НГТУ, 2016. 54 с.
6. ИИ создал «мастер-отпечаток» для разблокировки смартфонов // SecurityLab. 2018. URL: <https://www.securitylab.ru/news/496546.php>.
7. Десятчиков А.А., Ковков Д.В., Лобанцов В.В., Маковкин К.А., Матвеев И.А., Мурынин А.Б., Чучупал В.Я. Комплекс алгоритмов для устойчивого распознавания человека // Известия РАН. Теория и системы управления. 2006. № 2. С. 1-12.
8. Громова Н. М., Громова Н. И. Основы экономического прогнозирования. М.: Академия Естествознания, 2007. 112 с.

УДК 621.923.9

## РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА И МЕТОДОВ ПОЛУЧЕНИЯ ШАРОВИДНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ИЗ САМОЦВЕТНЫХ КАМНЕЙ

Ходжаев Т.А., Мирзоалиев И., Мирзоалиев А.И.

Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими  
Душанбе, Таджикистан

Большинство изделий из самоцветных камней типа бусы, четки, ожерелье и др., состоит из шариков. Изготовление сферических тел из самоцветных камней является одним из трудоёмких задач. Кроме того, существующие способы не обеспечивают правильность формы шариков. В процессе изготовления из-за больших сил давления нередки случаи поломки шариков. В отличие от традиционной обработки рассмотрим другую схему, в которой используется процесс центробежной абразивной обработки.

Рассмотрим схему обработки (рис. 1), при которой обрабатываемое тело установленное в сепараторе, совершает сложное движение, относительно и переносное движения которого являются вращательными. Под действием переносной центробежной силы обрабатываемые шары прижимаются к внутренней стенке барабана. Шары под действием силы тяжести прижимаются к поверхности инструмента, закрепленного к внутренней стенке барабана, и обрабатываются при скольжении по поверхности инструмента. Скорость относительного скольжения и соответственно производительность обработки зависят от установившейся частоты вращения сепаратора. Рассматривая динамику процесса, определяем частоту вращения шаровидных заготовок, от которой зависит производительность и точность обработки.

Рассмотрим вращающийся сепаратор и абразивный круг, а также обрабатываемые тела как одну систему и для определения момента сопротивления и зависимости угловых скоростей вращения тела и диска применим теорему об изменении кинетического момента системы, согласно которой: производная по времени от кинематического

момента системы относительно оси вращения равна алгебраической сумме моментов всех внешних сил относительно этой оси.

$$\frac{dK_z}{dt} = \sum_{k=1}^n m_k (\bar{F} k^e) \quad (1)$$

где,

$$K_z = K_{z_1} + K_{z_2} + K_{z_3}, \quad (2)$$

$K_{z_1}, K_{z_2}, K_{z_3}$  – собственно кинетические моменты вращающихся дисков и обрабатываемых тел.

$$K_z = J_{zi} \cdot \omega_i; \quad J_{zi} = \frac{m_i R_i^2}{2}; \quad \omega_i = \frac{\pi n_i}{30} \quad (3)$$

$$K_{z_1} = \frac{m_1 R^2}{2} \cdot \frac{\pi n_1}{30} = \frac{\pi m_1 R^2 n_1}{60} \quad (4)$$

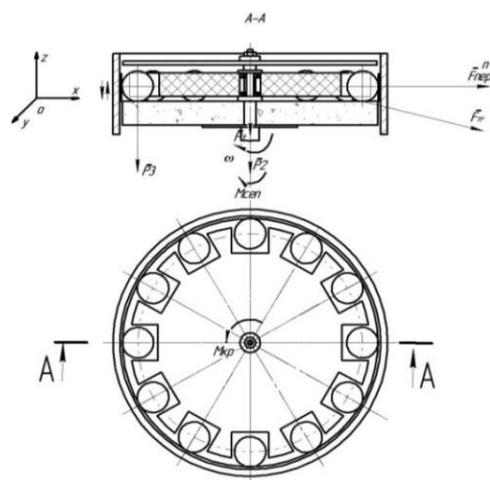


Рисунок 1 – Схема действия сил при обработке шаров из самоцветных камней

$$K_{z_2} = J_{z_2} \cdot \omega_2; J_{z_2} = \frac{m_2 R_2^2}{2}; K_{z_2} = \frac{m_2 R_2^2}{2} \cdot \omega_2$$

$$M_{\text{сопр}} = \delta \cdot N_3 = \delta \cdot P_3,$$

т. к. обрабатываемое тело массой  $m_3$  совершает сложное движение, то

$$K_{z_3} = J_{z_3} \cdot \omega_1 + m_3 \cdot V_3 \cdot R_1, \quad J_{z_3} = \frac{2m_3 \cdot R_3^2}{5}$$

где

$$V_3 = \omega_3 \cdot R_3;$$

$$K_{z_3} = \frac{\pi m_3 R_3^2 \cdot n_2}{75} + m_3 \cdot \omega_3 \cdot R_3 \cdot R_1;$$

$$K_z = \frac{\pi m_1 R^2 \cdot n_1}{60} + \frac{m_2 R_2^2}{2} \cdot \omega_2 + \frac{\pi m_3 R_3^2 \cdot n_2}{75} + m_3 \cdot \omega_3 \cdot R_3 \cdot R_1. \quad (5)$$

Изобразим действующие на систему внешние силы:  $\bar{P}_1, \bar{P}_2$  – силы тяжести абразивного круга и сепаратора;  $M_{kp}$  – момент активных сил, приводящих систему в движение;  $\bar{F}_{mp}$  – сила трения, приложенная в точке касания обрабатываемого тела с диском;  $F_{пер}^n$  – переносная сила инерции, равная;  $\bar{P}_3$  – вес обрабатываемого тела;  $M_{сопр}$  – крутящий момент сопротивления;  $R$  – радиус абразивного круга;  $R_1$  – расстояние от центра вращения до центра массы шара при их обработке;  $R_2$  – радиус сепаратора;  $R_3$  – радиус шара.

$$F_{пер}^n = -m_3 \cdot \frac{\pi n_1}{30} \cdot R_1, \quad (6)$$

где  $F_{кор}$  – Кориолисова сила инерции, равная:

$$F_{кор}^u = -m_3 \omega_3 R_3 \frac{\pi n_1}{30} \sin 90^\circ = -m_3 \omega_3 R_3 \frac{\pi n_1}{30}, \quad (7)$$

$\bar{R}_1, \bar{R}_2$  – реакция подшипников.

Определяем моменты всех внешних сил относительно оси вращения  $OZ$ :

$$m_z(\bar{P}_1) = 0; m_z(\bar{P}_2) = 0; m_z(\bar{P}_3) = 0, \quad (8)$$

так как эти силы параллельны оси.

Момент сил реакции подпятника  $A$  и подшипника в точке  $B$ :

$$m_z(R_A) = 0; m_z(R_B) = 0 \quad (9)$$

так как эти силы пересекают ось

$$\sum m_z(\bar{F}_k^e) = M_{kp} - M_{\text{сопр}} - F_{тр} \cdot R_1 \text{ так как}$$

$$m_z(\bar{F}_{кор}^u) = 0$$

$$F_{тр1} = f \cdot N_1 = n \cdot f \cdot P_3 = n \cdot f \cdot m_3 \cdot g$$

где  $n$  – количество обрабатываемых шаров.

Отсюда

$$\sum_1^n m_z(F_k^e) = M_{kp} - M_{\text{сопр}} - F_{тр} \cdot R_1,$$

где  $\delta$  – это коэффициент трения скольжения;  $m_z(\bar{F}_{кор}^u) = 0$ , так как вектор пересекает ось  $OZ$ ;  $f$  – коэффициент трения в точке соприкосновения шара с абразивным кругом.

$$\sum_1^n m_z(\bar{F}_k^e) = M_{kp} - \delta \cdot m_3 \cdot g - n \cdot f \cdot m_3 \cdot g \quad (10)$$

Подставляя равенства (5) и (10) в уравнение (1), получим:

$$d \left[ \frac{\pi R^2 n_1}{60} + \frac{m_2 R_2^2}{2} \cdot \frac{\pi n_2}{30} + \frac{\pi m_3 R_3^2 \cdot n_2}{75} + m_3 \omega_3 R_3 R_1 \right] = (M_{kp1} - \delta \cdot m_3 \cdot g - n \cdot f \cdot m_3 \cdot g) dt$$

Отсюда

$$m_3 \omega_3 R_3 R_1 = M_{kp} t - \delta m_3 g t - n f m_3 g t - \frac{\pi R^2 n_1}{60} - \frac{\pi m_2 R_2^2 \cdot n_2}{60} - \frac{\pi m_3 R_3^2 \cdot n_2}{75},$$

После преобразований:

$$\omega_3 = \frac{300 M_{kp} t - 300 \delta m_3 g t - 300 n f m_3 g t - 5 \pi R^2 n_1 - 5 \pi m_2 R_2^2 n_2 - 4 \pi m_3 R_3^2 n_2}{300 m_3 r_3 R_1}$$

Из данного выражения следует, что абсолютная частота вращения шаров будет возрастать при уменьшении частоты вращения сепаратора –  $\omega_2$ . Увеличение частоты вращения шаров приводит к возрастанию съема и исправлению их формы.

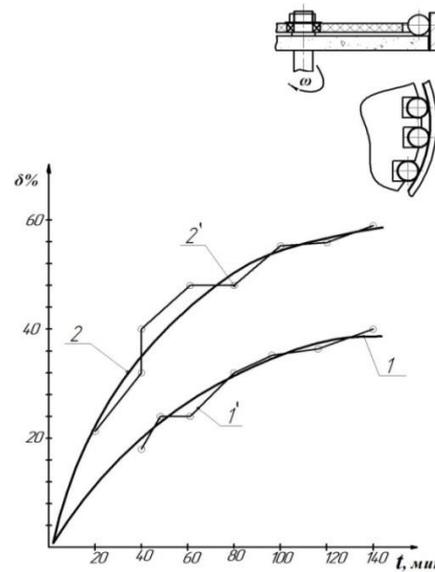


Рисунок 2 – График зависимости исправления формы шаров диаметром 20–35 мм от продолжительности обработки

На данном графике показана зависимость исправления формы шаров диаметром 20–35 мм от продолжительности обработки согласно

патенту № ТЈ 649 при свободно вращающемся и неподвижном сепараторе.

1,<sup>1</sup> – экспериментальные данные и функциональная зависимость исправления формы шаров от продолжительности обработки при свободно вращающемся сепараторе.;

2,<sup>1</sup> – экспериментальные данные и функциональная зависимость исправления формы шаров от продолжительности обработки при невращающемся сепараторе.

УДК 538.915

## ИНЖИНИРИНГ ШИРИНЫ ЗАПРЕЩЕННОЙ ЗОНЫ В ДИХАЛЬКОГЕНИДАХ ТУГОПЛАВКИХ МЕТАЛЛОВ: АВ-INITIO МОДЕЛИРОВАНИЕ

Хорошко Л.С., Баглов А.В.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
Минск, Республика Беларусь

**Введение.** Для создания новых электронных приборов и структур требуются перспективные материалы, среди которых часто выделяют графитоподобные гетерогенные двумерные полупроводниковые дихалькогениды и диселениды тугоплавких металлов –  $\text{MoS}_2$ ,  $\text{MoSe}_2$ ,  $\text{WS}_2$  и  $\text{WSe}_2$ . Данные халькогениды могут быть сформированы как в виде многослойных материалов с различным числом слоев, так и в виде монослоя, что позволяет применять их для изготовления, например, мало-мощных полевых транзисторов [1] и логических схем [2]. Используя сочетание монослоев  $\text{WSe}_2$  и  $\text{MoS}_2$  авторы [3] экспериментально продемонстрировали двухзатворную приборную структуру. Показано, что структура может вести себя как диод Эсаки с отрицательным дифференциальным сопротивлением, как обратный диод с большим туннельным током обратного смещения или прямой выпрямительный диод с низким током обратного смещения. Подобные двумерные слоистые системы могут быть созданы путем послойного наложения уже сформированных мономолекулярных слоев, а также путем их послойного химического осаждения из газовой фазы [4]. Однако совокупность имеющихся экспериментальных и теоретических данных не позволяет однозначно определить причины сужения запрещенной зоны в гетероструктуре  $\text{WSe}_2/\text{MoS}_2$ .

В данной работе представлены результаты моделирования объемного  $\text{MoS}_2$ , объемного  $\text{WSe}_2$ , комбинированной гетероструктуры  $\text{WSe}_2/\text{MoS}_2$ , проведенного с целью установления фундаментальных электронных свойств слоистых гетерогенных двумерных кристаллов  $\text{MoS}_2$  и  $\text{WSe}_2$  и их взаимного влияния на ширину запрещенной зоны – энергетического зазора между валентной зоной и зоной проводимости.

**Методики проведения численного моделирования.** Расчет зонной структуры, парциальной плотности электронных состояний (ППЭС) и

## Литература

1. Патент № ТЈ 649, Республика Таджикистан. Устройство для центробежной абразивной обработки сферических поверхностей изделий из самоцветных камней / Т.А. Ходжаев, И.М. [и др.]. №1300825; заявл. 09.12.2013. опубл. 10.11.2014. – С. 15.

2. Ходжаев Т.А. Повышение эффективности процесса изготовления шаровидных изделий из самоцветных камней совершенствованием конструкторско-технологических решений. Дис. канд. технич. наук: 05.02.07 / Т.А. Ходжаев, 2018г.

релаксацию атомов проводили в рамках теории функционала плотности и теории псевдопотенциала, реализованных в пакете *OpenMX* [5 – 8]. В гетероструктуре  $\text{WSe}_2/\text{MoS}_2$  атомы верхнего слоя ( $\text{MoS}_2$ ) располагали над атомами нижнего слоя ( $\text{WSe}_2$ ) со смещением друг относительно друга аналогично тому, как это имеет место в объемном материале. В расчете использовали приближение локальной плотности и учитывали следующие электроны атомов как валентные:  $\text{W} - 5p, 5d$  и  $6s$ ;  $\text{Mo} - 4s, 4p, 4d$  и  $5s$ ;  $\text{Se} - 4s$  и  $4p$ ;  $\text{S} - 3s$  и  $3p$ . Энергию отсечки выбирали равной  $150 \text{ Ry}$  (Ридберг), критерий сходимости расчета самосогласованного поля составлял  $5 \cdot 10^{-6} \text{ Ry}$ , релаксацию атомов ячейки продолжали до тех пор, пока силы, действующие на атомы, становились менее  $0,05 \text{ эВ/\text{Å}}$ .

**Результаты и обсуждение.** Результаты моделирования приведены на рис. 1.

В объемных  $\text{MoS}_2$  и  $\text{WSe}_2$  расстояние между атомом металла и атомом халькогена составляло  $2,402 \text{ \AA}$  и  $2,531 \text{ \AA}$ , соответственно. При формировании слоистого кристалла  $\text{MoS}_2/\text{WSe}_2$  эти расстояния изменялись связь  $\text{Mo} - \text{S}$  увеличивалась до  $2,438 \text{ \AA}$  при неизменной длине связи  $\text{W} - \text{Se}$ . Халькогениды молибдена и вольфрама в объемном состоянии представляют собой непрямозонные полупроводники с шириной запрещенной зоны  $1,26 \text{ эВ}$  и  $1,36 \text{ эВ}$  для  $\text{MoS}_2$  и  $\text{WSe}_2$ , соответственно (рис. 1 а, б). Слоистая гетероструктура  $\text{WSe}_2/\text{MoS}_2$  демонстрирует значительно меньшую ширину запрещенной зоны, составляющую  $0,22 \text{ эВ}$  и обладает первым прямым переходом в точке К.

На рис. 2 представлены парциальные плотности электронных состояний для структур  $\text{MoS}_2$ ,  $\text{WSe}_2$  и  $\text{WSe}_2/\text{MoS}_2$ .

Проведенный анализ парциальных ПЭС для исследованных структур показал, что для халькогениды молибдена и вольфрама демонстрируют схожую тенденцию: зона проводимости форми-