

нос, поворот и растяжение геометрических объектов с различными вариантами привязки. Технологические построения — операция вписания резца инструмента в контур обработки. Удобный визуальный контроль построений.

2. Задание параметров режущей части с ее визуальным отображением в окне параметров. В модуле предусмотрена обработка проходным, расточным, контурным, канавочным резцом с одной и двумя вершинами, а также широким резцом с двумя скругленными вершинами и косой режущей кромкой для обработки движениями, перпендикулярными оси детали. В версии 9.0 bis добавлена возможность обработки круглой пластиной.

3. Ручное и автоматическое вписание резца в контур обработки.

4. Предусмотрены следующие виды токарных операций:

➔ *Токарный карман*. Предназначен для выборки материала между контуром заготовки и контуром детали. Основные рабочие движения выполняются либо параллельно оси, либо параллельно торцу. Глубина резания, величина отскока задаются в параметрах. Предусмотрены варианты движения по контуру детали в пределах глубины резания, а также врезание под углом и по контуру детали. В версии 9.0 bis имеется стратегия выборки параллельно контуру фигурной канавки для обеспечения равномерности припуска.

➔ *Токарный контур*. Предназначен для осуществления чистовой обработки детали, а также для задания станочных циклов профильной обработки. Параметры инвариантного постпроцессора позволяют средствами системы GeMMA-3D разрабатывать постпроцессоры как на циклы, у которых профиль задается внутри текста управляющей программы между кадрами смены инструмента, так и на циклы с описанием профиля в виде подпрограммы или группы кадров в начале программы. Гарантируется расчет фасонного контура с учетом смещения расчетной точки относительно центра скругления режущей пластины. Предоставлена возможность ввода типа радиусной коррекции для систем ЧПУ, имеющих такую G-функцию. Система позволяет пользователю самостоятельно подготовить специальные макросы для более удобного задания параметров станочных циклов, чем это делается в стандартном окне, включая графические иллюстрации. Резьбонарезание можно выполнять с помощью станочных циклов.

➔ *Токарное сверление*. Предназначено для задания сверления как осевых отверстий, так и расположенных на торце детали параллельно ее оси. Возможно как задание сверлильного цикла, так и его интерпретация горизонтальными движениями инструмента.

УДК 621.9.048

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ПАРАМЕТРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА ПРОЦЕСС ВИБРООБРАБОТКИ

**Бранспиз Елена Владимировна**, кандидат технических наук, доцент  
Кафедра «Легкая и пищевая промышленность»,  
Восточноукраинский национальный университет им. В. Даля,  
кв. Молодежный, 20А, г. Луганск, 91034  
Контактный тел.: 8-095-571-15-50

**Калмыков Михаил Александрович**, кандидат технических наук, докторант  
Кафедра «Конструирование станков и машин»,  
Механико-машиностроительный институт НТУУ «КПИ»,  
просп. Победы, 37, корп. 1, к. 238А, г. Киев, 03056  
Контактный тел.: 8-050-326-28-19

**Нечай Елена Владимировна**, аспирант  
Кафедра «Технология машиностроения»,  
Восточноукраинский национальный университет им. В. Даля,  
кв. Молодежный, 20А, г. Луганск, 91034  
Контактный тел.: 8-050-694-73-01  
E-mail: elenanechaj@yandex.ru

Наведено результати експериментальних досліджень по визначенню коефіцієнта опору середовища в процесі шпindelної обробки в середовищі вільного абразиву для подальшого визначення потужності приводу даного устаткування. Знайдено взаємозв'язок між довжинами оброблювальних деталей циліндричної форми і відповідними коефіцієнтами опору середовища.

*Ключові слова:* шпindelна обробка, абразивне середовище, сила опору, похибка вимірювання.

Представлены результаты экспериментальных исследований по определению коэффициента сопротивления среды в процессе шпindelной виброобработки в среде свободного абразива для последующего определения мощности привода данного оборудования. Найдена взаимосвязь между длинами обрабатываемых деталей цилиндрической формы и соответствующими коэффициентами сопротивления среды.

*Ключевые слова:* шпindelная обработка, абразивная среда, сила сопротивления, погрешность измерений.

The results of experimental researches on determination of medium resistance coefficient in the process of spindle finishing in the medium of free abrasive are presented for subsequent equipment drive power determination. Intercommunication between lengths of cylindrical work piece and the proper medium resistance coefficients is found.

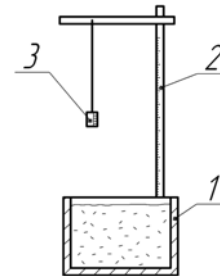
*Keywords:* spindle finishing, abrasive medium, resistance force, precision of measurements.

Одним из перспективных методов отделочной обработки деталей является шпindelная виброобработка в среде свободного абразива. Этим методом могут обрабатываться детали разных форм и размеров. Однако отсутствие системных теоретических и экспериментальных исследований процесса шпindelной виброобработки сдерживают применение этого высокопроизводительного метода.

Для правильного назначения режимов процесса виброшпindelной обработки необходимо знание коэффициентов сопротивления среды, в которой производится обработка, и соотношения, устанавливающего связь между коэффициентом сопротивления и длиной образца. Решение поставленной в работе задачи выполняется экспериментальным путем с использованием математического аппарата.

Основным параметром, влияющим на процесс виброабразивной обработки, является сила сопротивления среды [1] (используемая для вычисления мощности виброустановки). Чтобы ее определить, необходимо экспериментальным путем определить коэффициент сопротивления рабочей среды  $\gamma$ .

Для определения коэффициента сопротивления среды  $\gamma$  была разработана модель, принципиальная схема которой приведена на рис. 1. В качестве рабочей среды использовалось абразивное зерно № 32. Характеристики цилиндрических образцов (рис. 2) приведены в табл. 1.



**Рис. 1.** Принципиальная схема модели для экспериментальных исследований: 1 — емкость с абразивной средой; 2 — штатив с измерительной шкалой; 3 — образец, прикрепленный на нити



**Рис. 2.** Цилиндрические образцы для проведения экспериментального исследования

Таблица 1

Параметры цилиндрических образцов

	Диаметр, мм	Длина, мм	Масса, кг	Материал
1	30	19,5	0,1075	Сталь 45
2	30	14,6	0,0808	Сталь 45
3	30	9,8	0,0529	Сталь 45
4	19,7	19,5	0,0471	Сталь 45
5	19,7	14,6	0,0345	Сталь 45
6	19,7	9,8	0,0233	Сталь 45

Экспериментальные исследования производились в следующем порядке.

К штативу 2 на фиксированной высоте на нити крепился образец 3. Нить пережигалась, и образец 3 падал в емкость с абразивной средой 1 с начальной скоростью  $V_0 = 0$ . При этом образец погружался в абразивную среду на определенную глубину, которая измерялась при помощи измерительной шкалы, нанесенной на образце. Опыт проводился при фиксировании нескольких высот падения, при этом на одной и той же высоте глубина погружения груза фиксировалась 5–10 раз.

Обработка экспериментальных данных осуществлялась по зависимостям

$$\gamma^* = \frac{\gamma}{M} = \frac{\sqrt{2gH}}{y_{\max}}, \quad (1)$$

где  $\gamma^*$  – удельный коэффициент сопротивления среды (на единицу массы),  $g$  – ускорение свободного падения,  $H$  – высота, с которой падал образец,  $y_{\max}$  – глубина, на которую погружался образец в абразивный материал.

$$\gamma_{\text{CP}}^* = \frac{\sum \gamma_i^*}{n}, \quad i = 1, \dots, n, \quad (2)$$

где  $\gamma_{\text{CP}}^*$  – средний удельный коэффициент сопротивления среды,  $n$  – количество проведенных опытов по одному образцу.

$$\xi = \frac{\gamma_{\text{CP}}^* - \gamma_i^*}{\gamma_{\text{CP}}^*} \cdot 100, \quad (3)$$

где  $\xi$  – погрешность, допущенная при проведении экспериментальных исследований

$$\xi_{\text{CP}} = \frac{\sum |\xi_i|}{n}, \quad (4)$$

где  $\xi_{\text{CP}}$  – средняя погрешность измерений.

Средние значения  $\gamma_{\text{CP}}^*$  приведены в табл. 2 и представлены графически на рис. 3.

Таблица 2

Средние значения коэффициента сопротивления среды —  $\gamma_{\text{CP}}^*, \text{c}^{-1}$

Диаметр образца, м	Длина образца, м		
	0,0195	0,0146	0,0098
0,03	266,53	282,75	343,88
0,0197	224,69	267,95	337,61

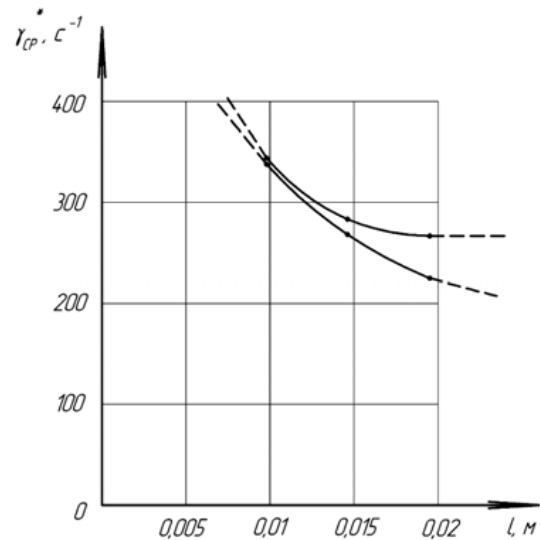


Рис. 3. Графическое представление результатов экспериментального определения  $\gamma^*$

Представим графически коэффициент сопротивления среды как линейную зависимость  $\gamma \cdot l = f(l)$  (рис. 4).

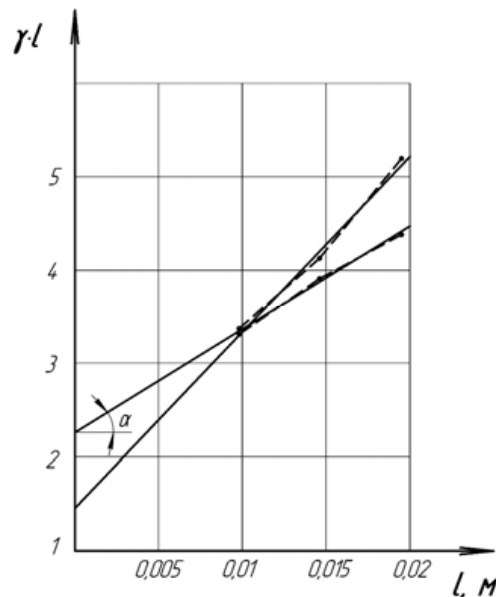


Рис. 4. Графическое представление линейной зависимости  $\gamma \cdot l = f(l)$

Запишем данный коэффициент в виде линейной зависимости

$$\gamma_{CP}^* = k_1 + \frac{k_2}{l}, \tag{5}$$

где  $k_1$  и  $k_2$  – коэффициенты, которые находятся из графика (рис. 4),  $k_2 = \text{tg} \alpha$ ,  $l$  – длина соответствующего образца.

Найденные коэффициенты сведем в табл. 3.

Таблица 3

Коэффициенты, определенные из графиков  $\gamma \cdot l = f(l)$

Диаметры образцов, м	Значения коэффициентов	
	$k_1$	$k_2$
0,030	196,66	1,48
0,0197	131,66	2,22

Пересчитав удельный коэффициент  $\gamma_{CP}^*$  по формуле (5), представим результаты в табл. 4.

Таблица 4

Средние значения  $\gamma_{CP1}^*$ , определенные по формуле (5)

Диаметр образца, м	Длина образца, м					
	0,0195	$\xi_{\gamma}, \%$	0,0146	$\xi_{\gamma}, \%$	0,0098	$\xi_{\gamma}, \%$
0,030	272,55	2,2	298,03	5,1	347,68	7,1
0,0197	245,25	8,4	283,37	5,4	357,68	5,6

где

$$\xi_{\gamma} = \frac{\gamma_{CP1}^* - \gamma_{CP}^*}{\gamma_{CP1}^*} \cdot 100, \tag{6}$$

$\xi_{\gamma}$  – погрешность.

Так как погрешность находится в допустимых пределах, можно считать, что предположение (5) верно. Т. е. зависимость  $\gamma \cdot l = f(l)$  – линейная.

По результатам проведенных экспериментальных исследований также видно, что соотношение, полученное в работе [1]

$$\frac{\gamma_a}{\gamma_b} = \frac{l_a}{l_b}, \tag{7}$$

где  $\frac{\gamma_a}{\gamma_b}$  – отношение коэффициентов сопротивления среды для изделий «а» и «б» соответственно,  $\frac{l_a}{l_b}$  – отношение длин изделий «а» и «б» имеет место лишь для определенных значений длин образца (согласно [2] для небольших деталей).

Тогда подставив (1) в (7) можно получить следующее соотношение

$$\frac{\gamma_a}{\gamma_b} = \frac{\gamma_a^* \cdot m_a}{\gamma_b^* \cdot m_b} = \frac{\left(k_1 + \frac{k_2}{l_a}\right) \cdot S_a \cdot l_a \cdot \rho_a}{\left(k_1 + \frac{k_2}{l_b}\right) \cdot S_b \cdot l_b \cdot \rho_b} = \frac{k_1 \cdot l_a + k_2}{k_1 \cdot l_b + k_2}, \tag{8}$$

из которого видно, что при

$$k_1 \cdot l_a \gg k_2 \quad (\text{т. е. } l_a \gg \frac{k_2}{k_1})$$

и

$$k_1 \cdot l_b \gg k_2 \quad (\text{т. е. } l_b \gg \frac{k_2}{k_1}).$$

При этом коэффициентом  $k_2$  можно пренебречь, что видно из (7).

Оценим длину изделия, при которой будет верно (с допустимой погрешностью) соотношение (7).

Точность выполнения соотношения (7) определяется соотношением между  $k_1 \cdot l_a$ ,  $k_1 \cdot l_b$  и  $k_2$ , как членами отношения в правой части (8). Т. е. чем меньше параметр  $k_2$  по сравнению с произведением  $k_1 \cdot l_{a,b}$ , тем точнее выполняется рассматриваемое соотношение. Таким образом, примем произведение  $k_1 \cdot l_{a,b}$  за 100 %, тогда процент, который составляет параметр  $k_2$  от произведения  $k_1 \cdot l_{a,b}$ , будет равен

$$\xi = k_2 \cdot \frac{100}{k_1 \cdot l_{a,b}}.$$

Это и будет погрешностью выполнения соотношения (7), а следовательно при заданной погрешности  $\xi$  длина изделия, при которой имеет место (7), определится как

$$l_{a,b} \geq 100 \cdot \frac{k_2}{\xi \cdot k_1}.$$

Так для диаметра 30 мм и при  $\xi = 10 \%$  получаем, что для длины изделия более 75 мм соотношение (7) является приблизительно верным.

В результате экспериментальных исследований получены следующие результаты:

1. Определен коэффициент сопротивления среды для нескольких образцов.
2. Для ряда длин образцов установлен диапазон, в котором выполняется пропорциональность коэффициента сопротивления длине образца.
3. Экспериментально получено соотношение, связывающее между собой коэффициент сопротивления и длину образца.

### Литература

1. Бранспиз, Е. В. Расчет параметров рабочего процесса виброабразивной обработки деталей на вибрирующем держателе в неподвижном контейнере [Текст] / Е. В. Бранспиз, М. А. Калмыков, Е. В. Нечай // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2009. – № 4/1(40). – С. 9–13.
2. Горшков, В. М. Основи механіки суцільних середовищ і обчислювальної гідродинаміки [Текст]: навч. посібник / В. М. Горшков. – Луганськ: Вид-во СНУ, 2000. – 172 с.