

Национальная металлургическая академия Украины, г. Днепропетровск

## СИСТЕМА СОЗДАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОСНАТКИ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ АБРАЗИВНЫХ ИНСТРУМЕНТОВ

**Введение.** Для финишной обработки отверстий в прецизионных деталях гидравлической аппаратуры используются специальные абразивные инструменты (притиры) [1, 2]. Изготовление притиров осуществляется с помощью специальной технологической оснастки. Известен комбинированный способ [3] изготовления притиров, основанный на электроискровом закреплении абразивных частиц на рабочей поверхности притира.

**Постановка задачи.** Для исследования возможностей использования специальной технологической оснастки [3] для изготовления притиров целесообразно применить систему математического моделирования [4], которая включает:

- математическое моделирование (целеполагание, идеализация, формализация, идентификация, проверка адекватности);
- разработку конструктивно-технологических предложений;
- оптимизацию параметров конструктивно-технологических предложений.

Рассмотрим решение такой задачи на примере конкретного вида цилиндрического притира.

**Результаты работы.** *Математическое моделирование.*

*Целеполагание* – создать математическую модель (ММ), учитывающую основные кинематические особенности специальной технологической оснастки, для определения оптимальных параметров процесса изготовления притира. Погрешность моделирования не более 5%. Стоимость моделирования не должна превышать 5% стоимости деталей, для изготовления которых используется притир.

*Идеализация.* В технологической оснастке реализована кинематика механической обработки на токарном станке. Действительно, притир вращается (главное движение), при этом устройство для подачи абразивных частиц перемещается поступательно (движение подачи).

Исключим из рассмотрения предварительный этап нанесения слоя («подложка») меди на рабочую цилиндрическую поверхность притира.

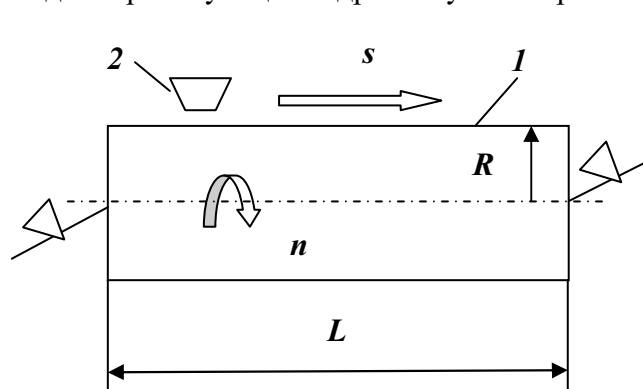


Рисунок 1 – Расчетная схема технологической оснастки

На расчетной схеме (рис.1) представлены основные геометрические и кинематические особенности технологической оснастки.

Цилиндрический притир 1, имеющий длину  $L$  и радиус  $R$  рабочей части, установлен в центрах и вращается с частотой  $n$ . Устройство 2, подающее абразивные частицы, перемещается поступательно с подачей  $s$ .

Примем следующие допущения, которые определяют связь механических и электрических характеристик процесса:

- закрепление одного абразивного зерна производится при единичном электрическом разряде;
- толщина  $t$  абразивного слоя, которая создается при единичном проходе устрой-

ва 2, равна приведенному диаметру абразивной частицы  $d$ ;

- общая приведенная толщина абразивного слоя  $Z$  создается за несколько проходов;
- однородность абразивного слоя предполагает сплошное расположение частиц в каждом слое (по длине и по окружности поверхности притира);
- плотность распределения  $f(d)$  величин размеров абразивных частиц известна и соответствует стандартам для абразивных материалов;
- длительность нанесения слоя  $T_p$  равна суммарной длительности всех электрических разрядов  $t_p$  для закрепления абразивных частиц данного слоя.

*Формализация.* Основной выходной переменной процесса нанесения абразивных частиц является длительность нанесения абразивного слоя.

Основными входными переменными являются кинематические параметры нанесения (подача и частота вращения), а также длительность электрического разряда. Эти же переменные следует выбрать в качестве входных и выходной переменных математической модели.

Условия обработки характеризуются также рабочими параметрами разрядного устройства (частотой разрядов), размерами абразивных частиц, а также геометрическими параметрами рабочей части притира.

Длительность нанесения слоя можно оценить величиной, аналогичной основному времени [1, 2] при резании  $T_o$  (мин):

$$T_o = \frac{L}{n \cdot s} \cdot \frac{Z}{t}, \quad (1)$$

где  $L$  – длина обработки (рабочей части притира), мм;

$n$  – частота вращения притира, об/мин.;

$s$  – подача на один оборот притира, мм/об.;

$Z$  – общая приведенная толщина абразивного слоя, мм;

$t$  – приведенная толщина слоя при однократном перемещении устройства 2, мм.

Общее количество абразивных частиц  $k$  в слое можно оценить с помощью выражения, в котором присутствует неизвестная функция  $\varphi(v)$ , описывающая распределение абразивных частиц в объеме слоя:

$$k = f_v \varphi(v) \cdot dv. \quad (2)$$

Приближенно (на основе принятых при идеализации допущений) эту величину можно выразить с учетом геометрических параметров притира  $L$ ,  $R$  и  $Z$  и приведенного диаметра абразивной частицы  $d$ :

$$k \approx \frac{6LZ^2}{d^2}. \quad (3)$$

Для обеспечения однородности абразивного слоя величины подачи  $s$  и частоты вращения  $n$  должны быть ограничены сверху величинами:

$$\begin{aligned} [s] &= \frac{d}{t_p}; \\ [n] &= \frac{d}{2\pi R t_p}. \end{aligned} \quad (4)$$

*Идентификация.* Длина обработки (длина рабочей части притира  $L$ ), общая приведенная толщина абразивного слоя  $Z$ , приведенная толщина слоя при однократном перемещении  $t$  (эквивалентна приведенному диаметру абразивной частицы  $d$ ) для конкретного вида притира являются заданными величинами. Это же относится к величине радиуса  $R$  рабочей части притира и электрическим параметрам разрядного устройства (табл.1).

Таблица 1 – Значения параметров модели

$t_p, c$	$L, м$	$Z, м$	$t, м$	$R, м$
0,005	0,050	$50 \cdot 10^{-6}$	$5 \cdot 10^{-6}$	0,005

*Проверка адекватности.* Соответствие математической модели и оригинала (процесса нанесения покрытия) обеспечивается использованием апробированных выражений [1, 2] теории резания и технологии машиностроения.

Дополнительно проверено соответствие модели и оригинала [5] по основной выходной переменной модели и оригинала, а именно по времени нанесения покрытия.

Предельные допустимые отклонения значений выходной переменной оригинала  $\xi_{max}$  и  $\xi_{min}$  определены [5] по формулам (5), (6) с использованием статистических оценок математических ожиданий  $\xi$  и средних квадратических отклонений  $s$  экспериментальных данных. Значения статистики  $\zeta(n, Q)$  определены по таблице 4.8в [7] при  $Q=5\%$ .

$$\xi_{max} = \xi + \zeta(n, Q) \cdot s ; \tag{5}$$

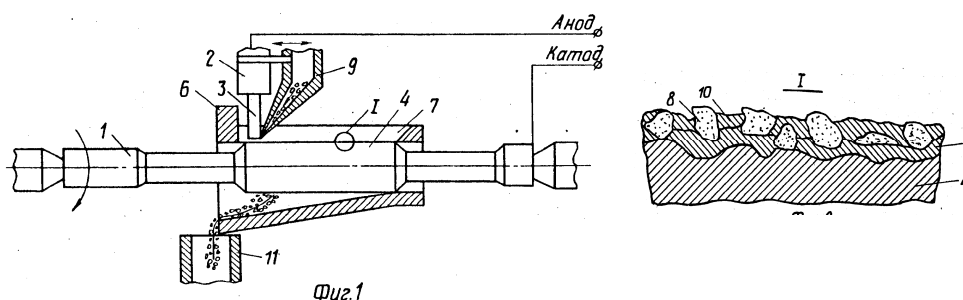
$$\xi_{min} = \xi - \zeta(n, Q) \cdot s . \tag{6}$$

Соотношение рассчитанных с помощью математической модели и экспериментальных значений времени нанесения покрытия (таблица 2) показывает, что гипотеза о соответствии модели и оригинала не может быть отклонена [5].

Таблица 2 – Проверка соответствия модели и оригинала

Натурный эксперимент, мин.	Математическая модель нанесения, мин.	$\xi_{max}$ , мин	$\xi_{min}$ , мин
4,921	4,716	6,278	3,562

*Разработка конструктивно-технологических предложений.* Для получения качественных притиров предложены способ изготовления абразивных инструментов и технологическая оснастка для его реализации (рис.2).



- 1 – корпус притира; 2 – искровое устройство; 3 – электрод;
- 4 – рабочая поверхность притира; 5 – слой меди (первичный); 6 – обечайка;
- 7 – прорезь; 8 – абразивные частицы; 9 – подающее устройство;
- 10 – слой меди (вторичный); 11 – накопитель

Рисунок 2 – Технологическая оснастка для изготовления притиров для доводки отверстий

Рабочая поверхность притира создается в два этапа. На первом в результате переноса материала электрода при разрядах и согласованном движении притира и электрода на поверхности инструмента создается слой меди толщиной  $20 \div 30$  мкм, имеющий развитой рельеф.

На втором этапе на слой меди подаются абразивные частицы (например, алмазные зерна заданного размера), которые закрепляются во впадинах микрорельефа при

деформировании разогретого материала выступов, окружающих впадины. Многократное повторение таких элементарных актов приводит к получению абразивного слоя на всей поверхности изготавливаемого инструмента. Абразивные частицы в слое располагаются на нескольких уровнях, надежно закреплены и обеспечивают большую износостойкость инструмента (притира).

*Оптимизация параметров конструктивно-технологических предложений.* Задача оптимизации формулируется на основе математической модели процесса (1)-(4) как задача об определении значений кинематических параметров, при которых время нанесения покрытия (критерий оптимизации) минимально и одновременно выполняются ограничения по величинам подачи и частоты вращения:

$$T = \frac{L}{n \cdot s} \cdot \frac{Z}{t} \rightarrow \min ,$$

$$s \leq [s],$$

$$n \leq [n]$$
(7)

где  $[s]$  и  $[n]$  – предельно допустимые значения подачи и частоты вращения.

В качестве примера рассмотрим решения задачи оптимизации для разделения конкретного вида притира, параметры которого приведены в таблице 1. С учетом изложенного ранее формулировка задачи оптимизации примет вид:

$$T_o = \frac{500}{n \cdot s} \rightarrow \min ,$$

$$s \leq 32,$$

$$n \leq 2.$$
(8)

Учитывая нелинейный вид формулировки задачи оптимизации для ее решения использован известный [6] вариант градиентного метода оптимизации, основанный на имитационных экспериментах с ММ процесса нанесения. Ход решения представлен в табл.3.

Таблица 3 – Решение задачи оптимизации

	Подача, мм/об	Частота, об/мин	Время, мин
Основной уровень	15	1,0	33,3333
Интервал	2	0,1	
Верхний уровень	17	1,1	26,73797
Нижний уровень	13	0,9	42,73504
Имитационные эксперименты			
1	17	1,1	26,73797
2	17	0,9	34,96503
3	13	1,1	32,67974
4	13	0,9	42,73504
Градиент	-18,2824	-13,7118	
Шаг движения	-36,5647	-1,37118	
Шаг скорректированный	-3,6	-0,14	
Движение по градиенту			
5	20,6	1,24	19,57407
6	24,2	1,38	14,97185
7	27,8	1,52	11,83264
8	31,4	1,66	9,59251
9	35	1,8	7,936508
10	38,6	1,94	6,676994

Начальные значения (основные уровни) и интервалы варьирования оптимизируемых переменных ( $n$  и  $s$ ) выбраны с учетом результатов теоретических исследований (приблизительно посередине установленных предельных диапазонов). Размерности величин соответствуют принятым в технологии машиностроения традициям. После определения составляющих градиента целевой функции их значения были уменьшены в десять раз (для обеспечения возможности реализации движения по градиенту). Для начала движения по градиенту выбрано сочетание факторов, которые имеют наиболее подходящие значения критерия оптимизации и ограничений (третий имитационный эксперимент в табл.3).

Оптимальное решение соответствует восьмому шагу движения по градиенту, так как при следующем шаге достигается предельное значение ограничения по величине подачи. При этом время нанесения покрытия равно 9,59 мин.

$$n_{opt} = 1,66 \text{ об/мин.}, \quad (9)$$

$$s_{opt} = 31,4 \text{ мм/об.}$$

**Выводы.** Использование системы математического моделирования, которая включает

- математическое моделирование (целеполагание, идеализация, формализация, идентификация, проверка адекватности);
  - разработку конструктивно-технологических предложений;
  - оптимизацию параметров конструктивно-технологических предложений,
- позволяет решать практические задачи повышения эффективности использования технологической оснастки при изготовлении абразивных инструментов (цилиндрических притиров).

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Справочник технолога-машиностроителя. Т. 1 / Под ред.. А.Г.Косиловой, Р.К.Мещерякова. – М.: Машиностроение, 1972. – 694с.
2. Справочник технолога-машиностроителя. Т. 2 / Под ред.. А.Н.Малова. – М.: Машиностроение, 1972. – 568с.
3. А. с. № 1611723 СССР, МКИ В 24 D 18/00. Способ изготовления абразивного инструмента / В.Н.Морозенко, А.Г.Ясев, Н.А.Мололкин (СССР). – №4496195/31-08; Заявлено 04.07.88; Оpubл. 07.12.90, Бюл. №45. – 3с.
4. Ясев А.Г. Комплексный метод совершенствования технологической оснастки процессов обработки деталей металлургических машин / Ясев А.Г. // Сучасні проблеми металургії: наукові праці. – Дніпропетровськ: Системні технології. – 2007. – Том 10. – С.68-82.
5. Ясев А.Г. Соответствие математических моделей и технологических процессов в металлургии и машиностроении / Ясев А.Г. – Днепропетровск: Днепр-VAL, 2001. – 237с.
6. Ясев А.Г. Применение методов оптимизации технологических процессов / Ясев А.Г. – С.163-217 // Физико-математическая теория процессов обработки материалов и технологии машиностроения. В 10-и томах / под общ. ред. Ф.В.Новикова, А.В.Якимова. – Т. 8: Оптимизация технологических процессов в машиностроении. – Одесса: ОНПУ, 2004. – 509с.
7. Большев Л.Н. Таблицы математической статистики / Большев Л.Н., Смирнов Н.В. – М.: Наука, 1983. – 416с.

Поступила в редколлегию 27.03.2015.