

ряда, вызванное непостоянством электрического сопротивления ферромагнитного порошка в рабочем зазоре, а также относительная неравномерность подачи ферромагнитного порошка в зону обработки и непостоянство электрических и магнитных свойств материала детали 4 и электрода инструмента 8 приводит к изменению силы технологического тока.

В соответствии с величиной этого изменения датчик 24 подает команду в цепь блока управления 16. В зависимости от величины полученного сигнала открывается один, два, три и т.п. симистора (число симисторов определяется экспериментально и зависит от пределов регулирования величины рабочего зазора) блока управления и на электромагнитную катушку 15 подается различное напряжение. В результате в катушке изменяется ток, и сердечник вместе с оправкой совершает линейные возвратно-поступательные перемещения. Совместно с сердечником совершает линейные возвратно-поступательные перемещения оправка с электродом инструментом, тем самым регулируется величина рабочего зазора и, как следствие, сила технологического тока.

УДК 621.9.06

Щербаков С.А., Кульгейко М.П.

## МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ СУММАРНОЙ ПОГРЕШНОСТИ ОБРАБОТКИ И АВТОМАТИЗАЦИЯ ЕЁ РАЧЕТОВ

Одной из важнейших задач технологии машиностроения является обеспечение заданной точности обработки деталей. На практике точность обработанных деталей измеряется на контрольных операциях техпроцесса или в ходе проверок работниками служб технического контроля. В этом случае определяются реальные значения заданных параметров, т.е. действительная точность обработки. Однако в процессе технической подготовки производства, при проектировании технологических процессов и оснастки важно знать прогнозируемый разброс значений параметров, т.е. расчетную (ожидаемую) точность.

Анализ работ по этой проблеме за несколько десятилетий [1-13] выявил наличие различных принципиальных подходов и методик проектного определения суммарной погрешности обработки. Кроме того, имеются различия в составе влияющих факторов (первичных погрешностей), методах их суммирования, нормативных данных. Практическое применение этих методик связано с определенными трудностями и ограничениями: наличие противоречий между формулами и нормативными данными, отсутствие четких правил определения и суммирования первичных погрешностей, недостаточное количество нормативных данных [4, 12]; представление нормативной базы в терминах и единицах измерения устаревшей системы стандартов [9] и т.п.

Все это ограничивает область применения методик и позволяет производить расчет суммарной погрешности обработки лишь для частных случаев механической обработки.

Очевидна необходимость формализации подходов и синтеза методики определения суммарной погрешности обработки на основе известных разработок этой проблемы с последующим созданием системы автоматизированного расчета в виде проблемной программы обучающего типа. Это позволит сократить трудоемкость расчетов, уменьшить вероятность внесения субъективных ошибок и расширить область приме-

Таким образом, несмотря на относительную сложность элементной базы схемы управления, применение предлагаемой системы стабилизации технологического тока позволяет существенно повысить экономичность и эффективность процесса магнитно-электрического упрочнения. Авторегулирование параметров в зоне контактного взаимодействия системы инструмент – порошок – деталь способствует увеличению сплошности покрытия, равномерности его геометрических и физико-механических свойств, т.е. повышению поверхностной стабильности упрочненного слоя.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Аскинази Б.М. Упрочнение и восстановление деталей электромеханической обработкой. – Л.: Машиностроение, 1977. – 184с.
2. Барон Ю.М. Магнитно-абразивная и магнитная обработка изделий и режущих инструментов. – Л.: Машиностроение, 1986. – 172с.

нения методики.

Существуют два принципиальных подхода к определению суммарной погрешности обработки, которые в [7] названы расчетно-аналитическим и статистическим.

При статистическом подходе, варианты которого можно найти в [1,2,5,7,11,13], суммарная погрешность обработки  $\Delta_{\Sigma}$  определяется по формуле:

$$\Delta_{\Sigma} = 1,2 \cdot \sqrt{(\delta \cdot \sigma)^2 + \mathcal{E}^2 + \Delta_n^2 + \Delta_u + \Sigma \Delta_m + \Sigma \Delta_{\phi}}, \quad (1)$$

где

$\delta \cdot \sigma$  - предельный разброс фактических размеров при обработке ( $\sigma$  - среднее квадратическое отклонение генеральной совокупности фактических размеров от математического ожидания). Выборочная оценка среднего квадратического отклонения  $\sigma$  определяется по формуле:

$$\sigma' = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m (R_i - R'_{cp})^2}{m}}, \quad (2)$$

где

$R_i$  - фактическое значение размера при обработке;

$R'_{cp}$  - оценка математического ожидания всех размеров обработки;

$$R'_{cp} = \sum_{i=1}^m R_i / m; \quad (3)$$

$m$  - объем выборки для определения оценок  $\sigma$  и  $R'_{cp}$  генеральной совокупности обрабатываемых размеров;

Кульгейко Михаил Петрович. К.т.н., доцент, зав. каф. "Технология машиностроения" Гомельского государственного технического университета им. П.О. Сухого.

Щербаков Сергей Александрович. К.э.н., доцент каф. "Технология машиностроения" Гомельского государственного технического университета им. П.О. Сухого.

ГГТУ им. П.О. Сухого, Беларусь, г. Гомель, пр. Октября, 48.

$\mathcal{E}$  - погрешность установки заготовки при обработке, которая в общем случае определяется по формуле:

$$\mathcal{E} = 1,2 \cdot \sqrt{\mathcal{E}_6^2 + \mathcal{E}_3^2 + \mathcal{E}_{np}^2 + \mathcal{E}_{инд}^2}, \quad (4)$$

где

$\mathcal{E}_6$  - погрешность базирования;  $\mathcal{E}_3$  - погрешность закрепления;  $\mathcal{E}_{np}$  - погрешность приспособления;  $\mathcal{E}_{инд}$  - погрешность индексации при многопозиционной обработке.

$\Delta_n$  - погрешность настройки, определяемая по формулам:

- при динамической настройке

$$\Delta_n = 1,2 \cdot \sqrt{\mathcal{E}_{рег}^2 + \mathcal{E}_{изм}^2}, \quad (5)$$

где

$\mathcal{E}_{рег}$  - погрешность регулирования положения режущего инструмента на станке;  $\mathcal{E}_{изм}$  - погрешность измерения пробных деталей;

- при статической настройке

$$\Delta_n = 1,2 \cdot \sqrt{\mathcal{E}_{эм}^2 + \mathcal{E}_{щ}^2 + \mathcal{E}_{у.и.}^2}, \quad (6)$$

где

$\mathcal{E}_{эм}$  - погрешность изготовления и установки эталона или установка на станке;  $\mathcal{E}_{щ}$  - погрешность изготовления щупа;

$\mathcal{E}_{у.и.}$  - погрешность установки инструмента по эталону или по щупу;

- при использовании мерного режущего инструмента

$$\Delta_n = 1,2 \cdot \sqrt{\mathcal{E}_{ин}^2 + \mathcal{E}_{у.м.и.}^2}, \quad (7)$$

где

$\mathcal{E}_{ин}$  - погрешность изготовления инструмента (допуск на изготовление по исполнительному размеру);  $\mathcal{E}_{у.м.и.}$  - погрешность установки мерного режущего инструмента (допустимое биение);

$\Delta_u$  - переменная систематическая погрешность, вызываемая износом режущего инструмента. Определение ее полного значения не всегда необходимо поскольку часть этой погрешности задается при наладке станка на настроечный размер исходя из условий проведения операции и необходимого периода работы станка между его поднастройками. Погрешность, вызываемую износом режущего инструмента, рассчитывают по формулам:

- для несимметричной обработки

$$\Delta_u = \frac{U_0 \cdot l}{1000}, \quad (8)$$

- для симметричной обработки

$$\Delta_u = \frac{2 \cdot U_0 \cdot l}{1000}, \quad (9)$$

где

$U_0$  - относительный износ инструмента;  $l$  - путь резания.

$\Sigma \Delta_m$  - погрешности, вызываемые тепловыми деформациями технологической системы. Эти погрешности обычно имеют знак, противоположный погрешностям, обусловленным износом инструмента, и в период тепловых деформаций способны в некоторой мере уменьшать влияние износа инструмента.

Погрешность, вызываемую тепловыми деформациями, из-за сложности учета тепловых процессов в технологической системе легче определить экспериментально для конкретной операции при установившемся тепловом режиме и компенсировать настройкой инструмента. Создание нормативной базы или математической модели для этой первичной погрешности из-за большого разнообразия конструктивных особенностей технологических систем и условий охлаждения является проблематичным. Поэтому полную погрешность обработки, связанную с температурными деформациями для операций окончательной обработки в [12] рекомендуется принимать приблизительно в размере

$$\sum \Delta_m = (0,1 \div 0,4) \Delta_{\Sigma}. \quad (10)$$

$\Sigma \Delta_{\phi}$  - погрешности формы, вызываемые геометрическими неточностями станка и деформациями заготовки силами, возникающими при ее закреплении и обработке. Погрешности формы  $\Sigma \Delta_{\phi}$  могут быть рассчитаны для определенного сечения обрабатываемой поверхности по формулам, задающим зависимости между упругими перемещениями и силами с учетом конкретной схемы силового взаимодействия в технологической системе.

При расчетно-аналитическом подходе определения суммарной погрешности  $\Delta_{\Sigma}$ , которого придерживаются авторы [3,4,5,7,8,9,10,12,13], используется несколько вариантов суммирования элементарных погрешностей:

- алгебраическое суммирование предельных значений [4,8,9]:

$$\Delta_{\Sigma} = \Delta_y + \mathcal{E} + \Delta_n + \Delta_u + \Sigma \Delta_m + \Sigma \Delta_{cm} + \Sigma \Delta_{\phi}, \quad (11)$$

где

$\Delta_y$  - погрешность, вызываемая упругими деформациями технологической системы под влиянием нестабильных нагрузок, действующих при обработке;  $\Sigma \Delta_{cm}$  - геометрические погрешности станка, влияющие на выдерживаемый размер с учетом износа станка;

- вероятностное суммирование, которое рекомендуется в [4,7,8,9,10,12,13]:

$$\Delta_{\Sigma} = K \times \sqrt{(K_1 \Delta_y)^2 + (K_2 \mathcal{E})^2 + (K_3 \Delta_n)^2 + (K_4 \Delta_u)^2 + (K_5 \Sigma \Delta_m)^2 + (K_6 \Sigma \Delta_{cm})^2 + \Sigma \Delta_{\phi}} \quad (12)$$

где

$K$  - коэффициент, корректирующий суммарную погрешность для заданной надежности оценки  $P$ , при  $P = 0,9973$  для диаметральных размеров  $K = 2$ , а для линейных размеров  $K = 1$ ;  $K_i$  - коэффициенты, зависящие от вида законов распределения элементарных погрешностей, для нормального закона распределения погрешностей, который обычно применяют для  $\Delta_y$ ,  $\mathcal{E}$  и  $\Delta_n$

$K_1 = K_2 = K_3 = 1$ , а для закона равной вероятности ( $\Delta_u$ ,  $\Delta_m$ ,  $\Delta_{cm}$ ),  $K_4 = K_5 = K_6 = 1,73 = \sqrt{3}$ .

Поэтому формулу (12) обычно представляют в виде

$$\Delta_{\Sigma} = K \cdot \sqrt{\Delta_y^2 + \mathcal{E}^2 + \Delta_n^2 + 3 \Delta_u^2 + 3 \Sigma \Delta_m^2 + 3 \Sigma \Delta_{cm}^2 + \Sigma \Delta_{\phi}}; \quad (13)$$

- смешанное суммирование, предлагаемое в [12]

$$\Delta_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n \Delta_i + K \sqrt{\sum_{i=n+1}^m (K_i \cdot \Delta_i)^2}, \quad (14)$$

где

$\Delta_i$  - элементарная погрешность.

Как видно из формул (1) и (11) различие в подходах заключается лишь в том, что в статистическом предельный разброс фактических размеров включает в себя все случайные погрешности, среди которых и погрешности, обусловленные упругими деформациями технологической системы и геометрическими погрешностями станка. А в расчетно-аналитическом эти погрешности рассчитываются для включения тем или иным способом суммирования в  $\Delta_{\Sigma}$ . Как при одном, так и при другом подходе имеются существенные трудности для чисто теоретического (расчетного) определения суммарной погрешности обработки.

С точки зрения автоматизации расчетов более предпочтительным, по нашему мнению, является статистический подход, который и следует положить в основу методики автоматизированного определения суммарной погрешности обработки, т.е. в качестве полной математической модели предлагается принять формулу (1).

Преимущества автоматизированного расчета позволяют произвести многовариантный анализ результатов расчета суммарной погрешности обработки с использованием разных подходов к её определению и выдать информацию о границах варьирования ее значений в зависимости от способов определения и суммирования элементарных погрешностей.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Короблев П.А. Точность обработки на металлорежущих станках в приборостроении. М.: Машгиз, 1962.

УДК 622.24.051

**Монтик С.В.**

## ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИИ МЕХАНОТЕРМИЧЕСКОГО ФОРМИРОВАНИЯ НА ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ ТВЕРДОГО СПЛАВА

Основным породоразрушающим инструментом при бурении нефтяных и газовых скважин являются шарошечные долота. Оснащение их твердосплавным вооружением, состоящим из зубков из твердого сплава ВК (сплав карбида вольфрама с кобальтом), повысило проходку и другие эксплуатационные характеристики долот. Однако твердый сплав используется нерационально, т.к. большая часть твердосплавного зубка находится в корпусе долота и выполняет роль державки. Разработанный в Государственной академии нефти и газа имени И. М. Губкина (г. Москва) метод электроконтактного механотермического формирования (МТФ) биметаллических изделий позволяет изготавливать комбинированные зубки, состоящие из твердосплавной рабочей головки и стального основания, что дает возможность снизить расход твердого сплава.

Твердосплавное вооружение долот подвергается действию абразивного, ударно-абразивного и ударно-усталостного изнашивания. В зависимости от типа долота и

2. Валитов В.З. Расчет точности станочных приспособлений. Изд. Ленинградского института точной механики и оптики, 1963.
3. Кован В.М., Корсаков В.С. и др. Основы технологии машиностроения. М.: Машиностроение, 1965.
4. Справочник технолога-машиностроителя. В двух томах. Изд. 3-е перераб. Том 1. Под ред. канд. техн. наук А.Г.Косиловой и Р.К.Мещерякова. М.: Машиностроение, 1972.-694 с.
5. Болотин Х.Л., Костромин Ф.П. Станочные приспособления. Изд. 5-е, перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1973.-344 с.
6. Корсаков В.С. Основы технологии машиностроения. М.: Высшая школа, 1974. - 607с.
7. Ящерицын П.И. Основы технологии механической обработки и сборки в машиностроении. Минск, «Вышэйшая школа», 1974. - 607 с.
8. Егоров М.Е. и др. Технология машиностроения. Учебник для вузов. Изд. 2-е, доп. М.: Высш. школа, 1976. - 534 с.
9. Дипломное проектирование по технологии машиностроения: [Учеб. пособие для вузов / В.В.Бабук, П.А.Горезко, К.П.Забродин и др.] Под общ. ред. В.В.Бабука. – Мн.: Высш.школа, 1979. – 464с., ил.
10. Корсаков В.С. Основы конструирования приспособлений: Учебник для вузов. 2-е изд., перераб. и доп.- М.: Машиностроение, 1983. - 277 с.
11. Маталин А.А. Технология машиностроения: Учебник для машиностроительных вузов по специальности «Технология машиностроения, металлорежущие станки и инструменты». – Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1985. - 496 с.
12. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. Т.1 /Под ред. А.Г.Косиловой и Р.К.Мещерякова. 4-е изд. перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1985. - 656 с.
13. Горохов В.А. Проектирование технологической оснастки: Учебник для студ. машиностроит. спец. вузов. - Мн.: Бервита, 1997. - 344 с.

вида вооружения (основное или калибрующее) преобладает один из видов изнашивания. Важной задачей является исследование влияния технологии механотермического формирования на износостойкость твердого сплава, что позволит осуществлять правильный выбор параметров МТФ и марки твердого сплава в зависимости от конкретных условий работы комбинированных зубков.

В зависимости от назначения для изготовления биметаллических (твердый сплав – сталь) изделий используют двухстадийную или одностадийную технологию МТФ.

Двухстадийная технология МТФ заключается в спекании под давлением в керамической пресс-форме порошка твердого сплава при одновременном его соединении со стальным основанием за счет теплоты, выделяемой при пропускании электрического тока, с использованием медного, а затем графитового электрода-пуансона. Параметры процесса: давление прессования 25 - 50 МПа, плотность тока 8 - 20 А/мм<sup>2</sup>, время процесса 5 - 7 с для каждой стадии.

**Монтик Сергей Владимирович.** Доцент каф. «Машиноведение» Брестского государственного технического университета. БГТУ, Беларусь, г. Брест, ул. Московская 267.