

Горбунов В.П., Григорьев В.Ф.

## СТАБИЛИЗАЦИЯ ТОЧНОСТИ МНОГОЦЕЛЕВОГО СТАНКА ПРИ ПРЕЦИЗИОННОЙ ОБРАБОТКЕ

Современной промышленности требуются детали высокой точности. Это относится в особенности к станкостроению, авиа и моторостроению. Количество прецизионных деталей, изготавливаемых предприятиями, может изменяться в широких пределах, от отдельных экземпляров до больших серий. Типичным примером могут быть корпусные детали, характеризующиеся наличием плоских поверхностей различных размеров и отверстий, как основных, так и крепежных, оси которых расположены под различными углами. При обработке таких деталей необходимо обеспечить в заданных пределах перпендикулярность и параллельность осей основных отверстий друг к другу или базовым поверхностям; заданные межосевые расстояния; точность диаметральных размеров и точность формы отверстий; перпендикулярность торцевых поверхностей осей отверстий; прямолинейность и плоскостность поверхностей.

Указанные детали изготавливаются, как правило, на многоцелевых станках (МС) с числовым программным управлением (ЧПУ) с горизонтальным расположением шпинделя, обладающими большими технологическими возможностями при обработке за одну установку.

Как было показано [1], точность выходного параметра МС, а именно точность траектории или точность координатных перемещений в первую очередь определяется параметрами геометрической точности станка и точностью позиционирования. Поскольку обработка деталей на МС ведется в определенном рабочем объеме, зависящем от величины перемещений рабочих органов (стола, салазок, ползуна станка), то и геометрические погрешности и погрешности при позиционировании также должны определяться в рабочем объеме.

Формирование погрешностей геометрических параметров для станка требует представления данных погрешностей первоначально в определенной плоскости и определяемых при движениях стола и ползуна станка. Наименьшее влияние погрешностей от смещения плоскости аттестации относительно направляющих станка (плоскости расположения измерительного преобразователя) характерно для плоскости стола станка. Тогда картина погрешностей в плоскости стола станка будет изменяться в рабочем объеме под влиянием погрешностей от смещения плоскости обработки относительно плоскости аттестации и смещаться пропорционально геометрическим погрешностям при перемещении рабочего органа несущего инструмент.

Представим данную картину в плоскости стола для станка горизонтальной компоновки, используя погрешности перемещения по отдельным осям координат. Проекция погрешности траектории и погрешности координатных перемещений рабочих органов станка будут определяться погрешностями от перпендикулярности перемещения в направлениях  $X$ ,  $Z$ , погрешностей от прямолинейности перемещений данным направлениям перемещений, а также погрешностями позиционирования, когда имеем многократный подход в запрограммированную точку. Данные погрешности определяются по зависимостям, приведенным в [1], и характеризуют свое влияние для данной рассматриваемой плоскости.

Для построения поля погрешностей необходимо точку

начала координат  $O$  (погрешности в которой равны нулю) расположить так, чтобы оси движения пересекались в ней: в конечных положениях стола и ползуна (рисунок 1), либо в средних положениях осей движения (рисунок 2).

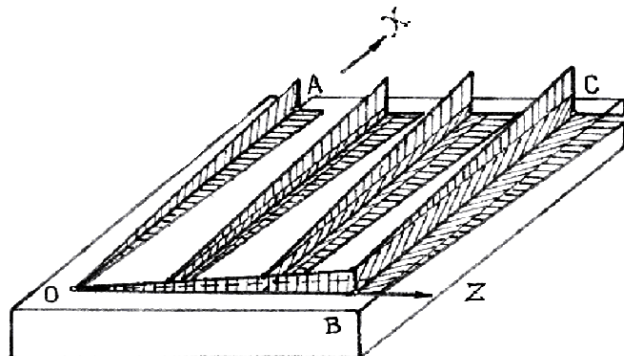


Рис. 1. Поле геометрических погрешностей с началом координат в конечных положениях стола и ползуна.

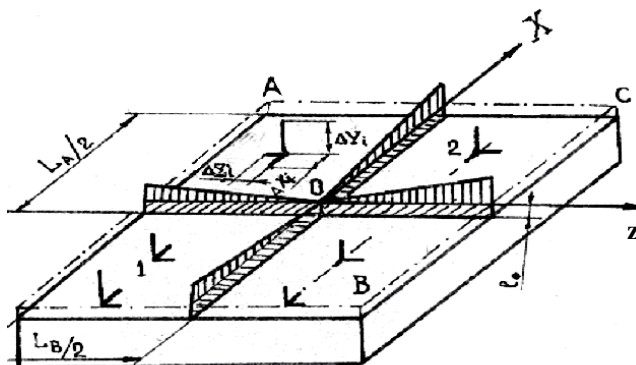


Рис. 2. Поле геометрических погрешностей с началом координат в центральном положении стола и ползуна.

В первом случае за счет отклонений от перпендикулярности направления перемещения в вертикальной плоскости происходит угловое смещение базовой плоскости относительно плоскости стола. Данное поле погрешностей будет характерно для одностороннего подхода к заданной точке. При двухстороннем подходе наиболее рационально за начало отсчета принять центр стола. Тогда положение исходных погрешностей в определенных фиксированных точках даст пространственную картину геометрических погрешностей.

С учетом влияния погрешности позиционирования (которая определяется для тех же точек, что и погрешности геометрических параметров) проекции составляющих погрешности выходного параметра станка в плоскости стола и в произвольно выбранной точке соответственно равны:

$$\begin{vmatrix} \Delta X_i \\ \Delta Z_i \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \delta_{xxi} & \delta_{xzi} \\ \delta_{zxi} & \delta_{zzi} \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} X_i \\ Z_i \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} \alpha_{xxi} & \alpha_{xzi} \\ \alpha_{xzc} & \alpha_{zzi} \end{vmatrix},$$

Горбунов Виктор Петрович, доцент каф. машиноведения Брестского государственного технического университета.

Григорьев Владимир Феофанович, доцент каф. машиноведения Брестского государственного технического университета.

Беларусь, БГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.

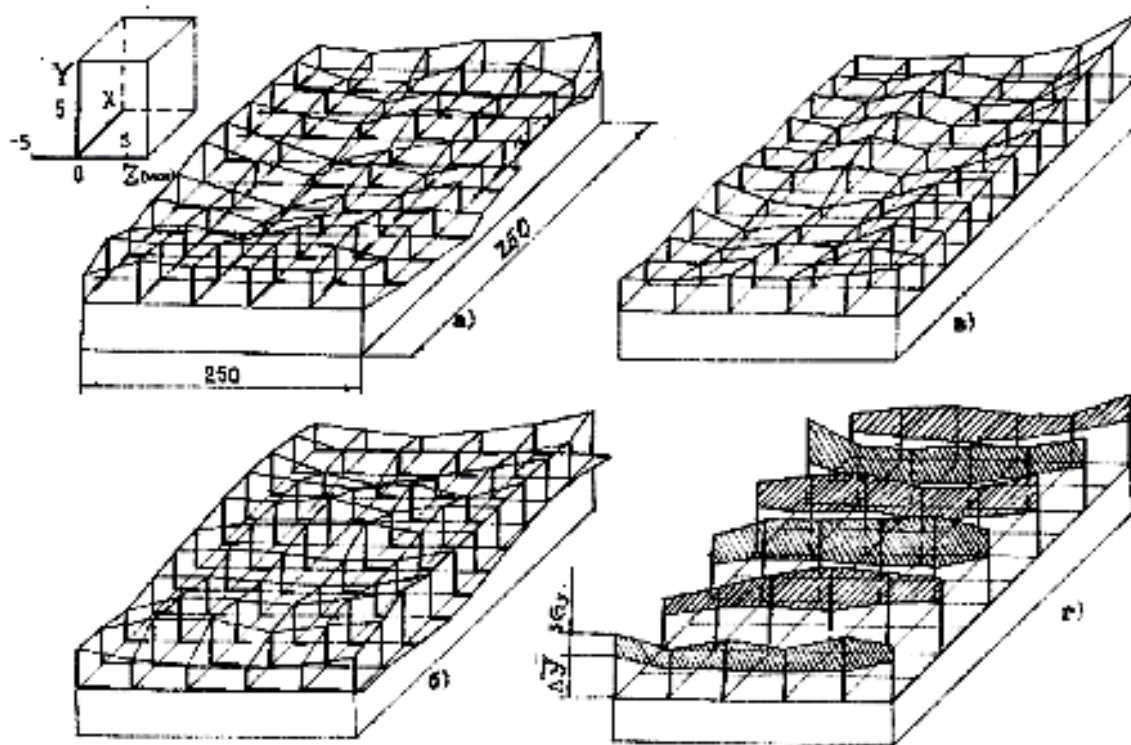


Рис. 3. Поле геометрических погрешностей в плоскости стола МС.

где  $\Delta X_i, \Delta Z_i$  - проекции погрешности выходного параметра вдоль осей координат  $X$  и  $Z$  в произвольной точке;

$X_i, Z_i$  - координатные перемещения вдоль осей координат  $X$  и  $Z$ ;

$\delta_{xxi}, \delta_{zz_i}$  - погрешности от перебега (недобега) стола и ползуна относительно от запрограммированной точки;

$\delta_{xzi}, \delta_{zxi}$  - погрешности от непрямолинейности перемещения стола и ползуна в направлении координат  $X$  и  $Z$ ;

$\alpha_{xzi}, \alpha_{zxi}$  -угловой поворот стола и ползуна в направлении координат  $X$  и  $Z$ .

Рассеивание погрешностей от угловых смещений бывают незначительными и их можно не учитывать.

При перемещении стола и ползуна станка из одной точки в другую в плоскости, допустим из точки 1 в точку 2 (рисунок 2), результирующая проекция погрешности выходного параметра МС будет иметь вид:

$$\begin{vmatrix} \Delta X \\ \Delta Z \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \Delta X_2 \\ \Delta Z_2 \end{vmatrix} - \begin{vmatrix} \Delta X_1 \\ \Delta Z_1 \end{vmatrix}.$$

Значение вертикальной составляющей погрешности  $\Delta Y$  можно принимать, с некоторым допущением, равной большому значению из погрешностей  $\delta_{yxi}$  или  $\delta_{yyi}$ . При высоких требованиях к погрешности формы или линейного размера вдоль оси координат  $Y$  нужно учитывать результирующее влияние данных погрешностей с коррекцией на величину  $l_0$  - смещения нулевой точки относительно базовой плоскости

$$\Delta Y = \delta_{yxi} + \delta_{yyi} + l_0.$$

Данное поле геометрических погрешностей в плоскости стола станка будет менять пространственное положение под воздействием перемещения ползуна. При этом отклонение от перпендикулярности направления перемещения к плоскости стола, прямолинейности перемещения и отклонение при позиционировании в направлении координаты  $Y$  в итоге приведут к смещению данного поля, причем случайная составляющая погрешности тоже увеличится.

Указанное поле геометрических погрешностей характеризует ненагруженное состояние станка. Влияние статических нагрузок, тепловые деформации узлов и элементов станка изменяют стабильность составляющих погрешности.

Оценка данного влияния, наряду с оценкой начальных погрешностей, позволяет определить основную траекторию перемещения и выбрать оптимальную зону, исходя из заданных условий точности обработки. Таким образом, погрешности геометрических параметров станка, рассматриваемые в направлениях, перпендикулярных заданному перемещению, вносят свое влияние, наряду с погрешностью позиционирования, в процесс формирования точности выходного параметра МС с ЧПУ. Учет данного влияния дает возможность, исходя из условий точности обработки, выбрать оптимальную зону в рабочем объеме станка.

В качестве примера по результатам измерений геометрических погрешностей перемещения стола и ползуна станка модели МС 12-250 и погрешности позиционирования в пределах плоскости аттестации построено поле геометрических погрешностей (суммарные погрешности в вертикальной и горизонтальной плоскостях). При построении поля погрешностей за начало отсчета был принят центр рабочей зоны стола с соответствующим кубом  $OXYZ$  (рисунок 3).

Отклонения геометрических параметров приведены в соответствие с центральной точкой отсчета. Тогда поле погрешностей в начальном состоянии с фиксированным интер-

валом вдоль координаты  $Z$  равным 50 мм, и вдоль координаты  $X$  в положениях стола при двухстороннем позиционировании [2], по суммарным значениям средних отклонений составляющих погрешностей примет вид (рисунок 3,а).

Погрешность позиционирования и отклонения от прямолинейности перемещения кроме среднего арифметического значения характеризуются также рассеиванием параметров. Упрощенное для наглядности поле погрешностей с учетом зоны рассеивания вдоль координаты  $Y$  равной  $3\delta_y$  (при условии нормального закона распределения отклонений и заданной вероятности  $P(t) = 0,9973$ ) показано на рисунке 3г.

Как уже было отмечено [1], в начальном состоянии станка на стабильность траектории перемещения оказывают влияние и силовые факторы, т.е. изменение веса заготовки и ее местоположение. При исследованиях МС была произведена оценка данного влияния при центрально расположенной статической нагрузке в 500; 1000; 1500 Н на отклонения от прямолинейности перемещения ползуна в вертикальной и горизонтальной плоскостях, а также погрешности позиционирования для условий аналогичных измерениям геометрических параметров. Ограничение рассеивания определяется особенностью системы управления, которая не разрешает отработку следующего кадра при не установке рабочего органа в зоне  $\pm 6$  мкм от заданного положения.

В общем случае влияние нагрузок приводит к изменению отклонений, сформировавших поле геометрических погреш-

ностей, которое и показано на рисунке 3б (при нагрузке 500 Н) и рисунке 3в (при нагрузке 1500 Н).

Таким образом, при построении поля геометрических погрешностей в плоскости стола необходим учет всех составляющих погрешностей с приведением их положения к единой системе отсчета. При этом характер изменения поля геометрических погрешностей в плоскости, сформированного в начальный период, зависит от вида воздействия (нагрузки) и местоположения рабочих органов, которые приводят к пространственной переориентации данного поля. Выбор соотношения веса и положения рабочих органов позволяет выявить область минимального смещения данного поля. Используя возможность компенсации систематических составляющих погрешности выходного параметра в рабочем объеме через систему программного управления можно осуществлять стабилизацию точности станка в процессе обработки.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Горбунов В.П., Григорьев В.Ф. Баланс погрешностей выходного параметра многоцелевого станка в системе привод подач - подвижный рабочий орган // Вестник БГТУ – Машиностроение, автоматизация, ЭВМ.- №4, 2002- с.4-7.
2. Григорьев В.Ф., Горбунов В.П. Исследование точности позиционирования многопозиционного станка.- Новые технологии в машиностроении и вычислительной технике/ Труды X Научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава, аспирантов и студентов. Ч 1.-Брест, БПИ, 1998.-с.95-97.

УДК 622.24.051

Монтик С.В.

## АНАЛИЗ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ МЕХАНОТЕРМИЧЕСКОМ ФОРМИРОВАНИИ БИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ (ТВЕРДЫЙ СПЛАВ – СТАЛЬ) ИЗДЕЛИЙ СЛОЖНОЙ ФОРМЫ

### ВВЕДЕНИЕ

Применение биметаллических изделий, состоящих из твердосплавной рабочей части и стального основания, выполняющего роль державки, обеспечивает снижение расхода дорогостоящего твердого сплава. Биметаллические изделия возможно изготавливать методом электроконтактного механотермического формирования (МТФ), разработанного в Государственной академии нефти и газа имени И. М. Губкина (г. Москва). МТФ характеризуется спеканием порошка твердого сплава и получением монолитного соединения его со сталью за счет выделения теплоты при пропуске электрического тока и формирующего давления.

Распределение температуры в твердом сплаве при МТФ является одним из факторов, определяющих качество биметаллического изделия, т. к. от температуры зависит скорость и характер спекания твердого сплава, скорость диффузии на границе со сталью и прочность соединения твердый сплав – сталь, величина остаточных напряжений.

Процесс МТФ применительно к биметаллическим (твердый сплав – сталь) зубкам для шарошек буровых долот изучался Н. А. Жидовцевым, В. Я. Кершенбаумом, Э. С. Гинзбургом, А. И. Мизиным, И. Г. Барило и Л. А. Резником [1 - 4].

Для получения биметаллических (твердый сплав – сталь) зубков формы Г26 рекомендовано применять одностадийное МТФ в керамической форме с использованием медного электрода-пуансона (см. рис. 1, а, б) [1]. При проведении МТФ

давление прессования составляет 25 - 50 МПа, плотность тока 8 - 20 А/мм<sup>2</sup>, время процесса 5 - 7 секунд. Однако проведенные нами исследования показывают, что биметаллические зубки, изготовленные данным методом, имеют низкую твердость (HRA 78 вместо HRA 86,5 ... 87,5 по ГОСТ 3882-74) и высокую пористость (0,8% объемных вместо 0,2 % по ГОСТ 9391-80) в поверхностных слоях твердого сплава. Это можно объяснить тем, что при данной технологии МТФ в поверхностных слоях твердого сплава не происходит жидкофазное спекание из-за низкой температуры вследствие малого времени МТФ или теплоотвода в медный электрод-пуансон.

Целью данной работы является исследование температурного поля в твердосплавной части биметаллического зубка при МТФ для проверки данных предположений и разработка технологии электроконтактного МТФ, позволяющей изготавливать биметаллические изделия сложной формы.

### 1. Математическая модель для исследования температурного поля в твердосплавной части биметаллического зубка при МТФ

Выполним анализ температурного поля биметаллического изделия применительно к биметаллическим (твердый сплав – сталь) зубкам формы Г26 (см. рис. 1, а) по ГОСТ 880-75 диаметром 12 мм и высотой 14 мм для шарошек буровых долот. Для изготовления рабочей части зубка используются твердые сплавы типа ВК, состоящие из карбида вольфрама и кобальта, например, твердые сплавы ВК8-В и ВК8-ВК по ГОСТ 3882-74.

Монтик Сергей Владимирович, доцент каф. машиноведения Брестского государственного технического университета. Беларусь, БГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.