

считать квазистационарным. Уравнение теплопроводности принимает вид:

$$\nabla^2 T + 2\omega \frac{\partial T}{\partial y} = 0, \quad (16)$$

Решение уравнения (16) имеет следующее выражение:

$$T = \frac{q}{4\pi\lambda R} e^{-\omega(y+R)}; \quad R = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}. \quad (17)$$

Решение (17) удовлетворяет поставленному на границе области условию полной теплоизоляции. Действительно, вычислим производную:

$$\frac{\partial T}{\partial z} = -\frac{q}{4\pi\lambda R^3} z (1 + \omega R) e^{-\omega(y+R)}. \quad (18)$$

При $z = 0$ выражение (18) обращается в нуль всюду, кроме начала координат.

Таким образом, с помощью формул (13), (17) можно оценить распределение температуры в теле.

Проведена серия экспериментов по определению твердости поверхности образцов из чугуна и стали, обработанных плазменно-дуговым способом и параметрами данного процесса являлись: скорость движения плазматрона, расход газа, величины тока и напряжения, твердость.

Наиболее оптимальными оказались: скорость движения плазматрона 6 мм/с; сила тока – 26А; напряжение 36В, расхода аргона составил – 14,0-22л/ч. При этом твердость поверхности чугуна после упрочнения составила в пределах 50 ÷ 58,5 HRC, тогда как, без закалки – 28 ÷ 35HRC.

При увеличении скорости движения плазматрона твердость уменьшалась. На основании проведенных исследований построен график зависимости поверхностной твердости металла от скорости перемещения плазматрона (рис. 1).

Таким образом, предлагаемый метод поверхностной закалки с помощью плазменного источника тепла позволил

повысить твердость чугуна в 1,5 ÷ 2,5 раза; СТ45 – в 2 раза, а износостойкость стали – в 1,4 ÷ 1,7 раза. В процессе закалки в качестве плазмообразующего газа использовался аргон.

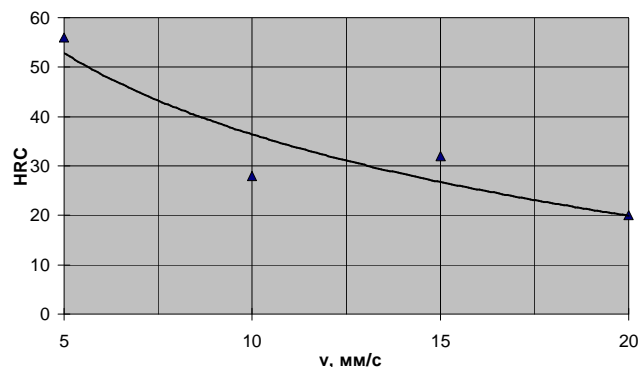


Рисунок 1 – Зависимость поверхностной твердости металла от скорости перемещения плазматрона.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Рыкалин Н.Н., Углов А.Л., Зуев И.В., Кокова А.Н., Лазерная и электронно-лучевая обработка материалов. Справочник – М.: Машиностроение, 1985. – 496с.
2. Спиридонов Н.В., Кобяков О.С., Куприянов И.Л. Плазменные и лазерные методы упрочнения деталей машин.- Мн.: Выш. шк., 1988 – 155с.
3. Бураков В.А., Федосенко С.С., Формирование структур повышенной износостойкости при лазерной закалке металлообрабатывающего инструмента. // Металловедение и термическая обработка металлов.-1962.-№9.-С.33–36.
4. Паркус Г. Неустановившиеся температурные напряжения. – М: Физматгиз. 1963. – 280С.

УДК 621.91-529: 62-19

Горбунов В.П., Григорьев В.Ф.

БАЛАНС ПОГРЕШНОСТЕЙ ВЫХОДНОГО ПАРАМЕТРА МНОГОЦЕЛЕВОГО СТАНКА В СИСТЕМЕ ПРИВОД ПОДАЧ – ПОДВИЖНЫЙ РАБОЧИЙ ОРГАН

К подвижным рабочим органам станков – столу, салазкам, ползуну, несущим заготовку или инструмент, предъявляются особенно высокие требования как к точности траектории, так и к точности координатных перемещений. Последние, рассмотренные вдоль направления перемещения, определяют точностью позиционирования рабочего органа.

Современные многоцелевые станки (МС) с ЧПУ, предназначенные для обработки разнообразных, в том числе прецизионных деталей, имеют увеличенное число управляемых координат, автоматическую смену инструмента и обрабатываемых деталей, автоматический выбор режимов резания. Эти станки являются основным элементом многих гибких автоматизированных производств, поэтому их точность и надежность должны удовлетворять требованиям «безлюдной» технологии. Эксплуатация МС показала, что их конструкция должна обладать рядом особенностей, без учета которых программное управление процессом обработки малоэффективно. К ним относятся более высокие требования к жесткости конструкций приводов столов, салазок, предотвращения скачкообразности движения подач путем усовершенствования кон-

струкции направляющих и винтовых передач, разработка специальных систем смазывания, применение прогрессивных видов приводов подач и стабильных отсчетно измерительных систем.

К приводам подач предъявляются высокие требования по параметрам точности позиционирования с учетом минимального времени перемещения рабочего органа. При создании новых конструкций станков происходит, как правило, дальнейшее совершенствование механизмов и устройств, обеспечивающих движение рабочих органов и их координатное позиционирование. Все это необходимо для обеспечения высокой надежности работы станка [1].

Исходной информацией для определения показателей технологической надежности исследуемого МС по выходному параметру служит баланс погрешностей, полученный при экспериментальных исследованиях. Как было показано в [2], точность координатных перемещений МС определяется величинами погрешностей ΔX , ΔY , ΔZ данного выходного параметра на рассматриваемые оси координат станка. Оценка данных проекций выходного параметра ведется с учетом воз-

Горбунов Виктор Петрович. Доцент каф. машиноведения Брестского государственного технического университета.

Григорьев Владимир Федорович. Доцент каф. машиноведения Брестского государственного технического университета. Беларусь, БГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.

можно рассеивания составляющих погрешностей, что позволяет учитывать все возможные, в т.ч. неблагоприятные сочетания их в процессе эксплуатации, и определяет область максимальных значений выходного параметра.

Составление баланса погрешностей выходного параметра складывается из следующих этапов:

1. Оценка значений проекций выходного параметра в начальном состоянии как в плоскости стола, так и в рабочем объеме;
2. Оценка влияния нагрузки на значения проекций выходного параметра так же в плоскости стола и рабочем объеме;
3. Оценка изменения значений выходного параметра в конце межналадочного периода под действием тепловых деформаций основных элементов и узлов станка.

Оценку баланса погрешностей выходного параметра будем производить для первого этапа. Определение максимальных значений проекций погрешности выходного параметра возможно как для максимальных координатных перемещений, так и для наиболее часто встречающихся значений координатных перемещений. Для исследуемого МС с ЧПУ модели МС12-250 область максимальных перемещений определяется объемом с координатами $X=250$ мм, $Y=250$ мм, $Z=220$ мм (перемещение ползуна).

Из возможных координатных перемещений, в качестве наиболее часто встречающихся значений принимаем зону расположенную относительно центра стола станка с координатами $X=150$ мм, $Y=125$ мм, и смещение от движения ползуна примем $Z=100$ мм.

При оценке технологической надежности по нескольким параметрам следует производить оценку по тому из параметров, который в наибольшей степени влияет на технологическую надежность. То есть в нашем случае по значению той из проекций выходного параметра, которая раньше выйдет из области допустимых значений под влиянием различного вида воздействий. Как показали экспериментальные исследования, наибольшими погрешностями станка являются смещения по оси координат Y [2]: например, если геометрические погрешности и погрешности позиционирования в плоскости XOY в начальном состоянии имеют соизмеримые значения вдоль осей X и Y , то тепловые деформации приводят к большему смещению вдоль оси координат Y . Так, прямолинейности перемещения в вертикальной и горизонтальной плоскостях лежат в допуске, равном 8 мкм, перпендикулярность поперечного перемещения стола к направлению продольного перемещения имеет допуск 10 мкм, точность линейных координатных перемещений 20 мкм. Максимальные смещения оси шпинделя при частоте вращения $n=1000$ мин⁻¹ и положении ползуна $Z=100$ мм оставляет 5 мкм вдоль оси координат X и 40 мкм вдоль оси координат Y .

Исходя, из этого будем рассматривать баланс погрешностей для проекции выходного параметра ΔY и в дальнейшем расчет показателей технологической надежности будем вести для данной погрешности выходного параметра.

Погрешности, составляющие выходной параметр ΔY для максимальных и наиболее часто встречающихся координатных перемещений в плоскости XOY определяются следующей зависимостью:

$$\Delta Y = \Delta Y_B - \Delta Y_A = (\delta_{yyB} + \delta'_{yxB} + \delta''_{yxB} + X_B \cdot \alpha_{yB}) - (\delta_{yyA} + \delta'_{yxA} + \delta''_{yxA} + X_A \cdot \alpha_{yA})$$

где ΔY_A , ΔY_B - проекции погрешности перемещений вдоль координаты Y из точки A в точку B ;

$Y_{np} = (Y_B - Y_A)$ - запрограммированное перемещение из точки A в точку B вдоль координаты Y ;

δ'_{yxA} , δ'_{yxB} - погрешности от перпендикулярности перемещения салазок (суппорта) в направлении координаты Y в точках A и B , которые являются постоянными для данных точек ($\delta'_{xy} = X \sin \alpha_x$);

δ''_{yxA} , δ''_{yxB} - погрешности от непрямолинейности перемещения салазок (суппорта) в направлении координат Y .

$$\delta''_{yx} = \bar{\Delta} \pm 3\sigma^{yx},$$

где $\bar{\Delta}$ - среднееарифметическое значение погрешности от непрямолинейности;

σ^{yx} - текущее значение среднеквадратического отклонения;

$\delta_{yуА}$, $\delta_{yуВ}$ - погрешности от перебега (недобега) рабочего органа станка относительно запрограммированной точки (другими словами, параметры погрешности позиционирования);

$X_{np} = X_A - X_B$ - запрограммированное перемещение из точки A в точку B вдоль координаты X ;

$X_A \cdot \alpha_{yA}$, $X_B \cdot \alpha_{yB}$ - дополнительные погрешности от поворота салазок и стола в точках A и B в направлении координаты Y .

Рассеивание погрешностей от угловых смещений незначительны, поэтому их можно не учитывать.

Тогда значение проекции погрешности вдоль координаты Y составит:

$$\Delta Y = (\bar{Y}_B - \bar{Y}_A) + 3(\sigma_A^y + \sigma_B^y) + (X_B - X_A) \cdot \sin \alpha_x + (\bar{\Delta}_B - \bar{\Delta}_A) + 3(\sigma_A^{yx} + \sigma_B^{yx}) + X_A \alpha_{yA} - X_B \alpha_{yB}$$

\bar{Y}_A , \bar{Y}_B - текущие среднееарифметические отклонения погрешности перемещения в точках A и B ;

σ_A^y , σ_B^y - текущие значения средних квадратических отклонений погрешности позиционирования в точках A и B ;

σ_A^{yx} , σ_B^{yx} - среднеквадратическое отклонение погрешности от прямолинейности перемещения в точках A и B .

Максимальное значение погрешности вдоль координаты Y будет:

$$\Delta Y^{max} = P_{\sigma} + X^{max} (\sin \alpha_x + \alpha_y) + 6 \cdot \sigma_{max}^{yx}$$

где P_{σ} - погрешность позиционирования при двухстороннем подходе на всей длине хода вдоль координаты Y .

Погрешности, составляющие данный выходной параметр ΔY для станка модели МС12-250 представлены в таблице 1.

Рассчитанные по зависимостям значения погрешностей $\Delta Y_B - \Delta Y_A$ (их средние значения $\bar{\Delta Y}$ и рассеивания ΔY) представлены в таблице 2. Данные значения характеризуют проекции погрешности выходного параметра в плоскости XOY .

На рисунке 1 представлена схема формирования баланса погрешности проекции выходного параметра ΔY стола станка модели МС12-250.

Рассчитанные по зависимостям значения погрешностей $\Delta Y_B - \Delta Y_A$ (их средние значения $\bar{\Delta Y}$ и рассеивания 6σ) представлены в таблице 2. Данные значения характеризуют проекции погрешности выходного параметра в плоскости XOY , что соответствует обработке по IT8...IT6 качеством точности для максимального и среднего размеров обработки.

Таблица 1 – Значения составляющих погрешности выходного параметра станка мод. МС12-250.

Перемещение рабочего органа	\bar{Y}_A	\bar{Y}_B	σ_{y_A}	σ_{y_B}	$\bar{\Delta}_A$	$\bar{\Delta}_B$	$\sigma_{y^x_A}$	$\sigma_{y^x_B}$	α_x	α_{y_A}	α_{y_B}
	мкм								10^{-5} угл.град.		
Максимальное	0	26	0,86	1,72	0	0	0,5	1	4	0	0..72
Часто повторяющаяся	2 4,2	15	0,43	2,15	-1	0	0,5	0,7	4	0.5	0.6

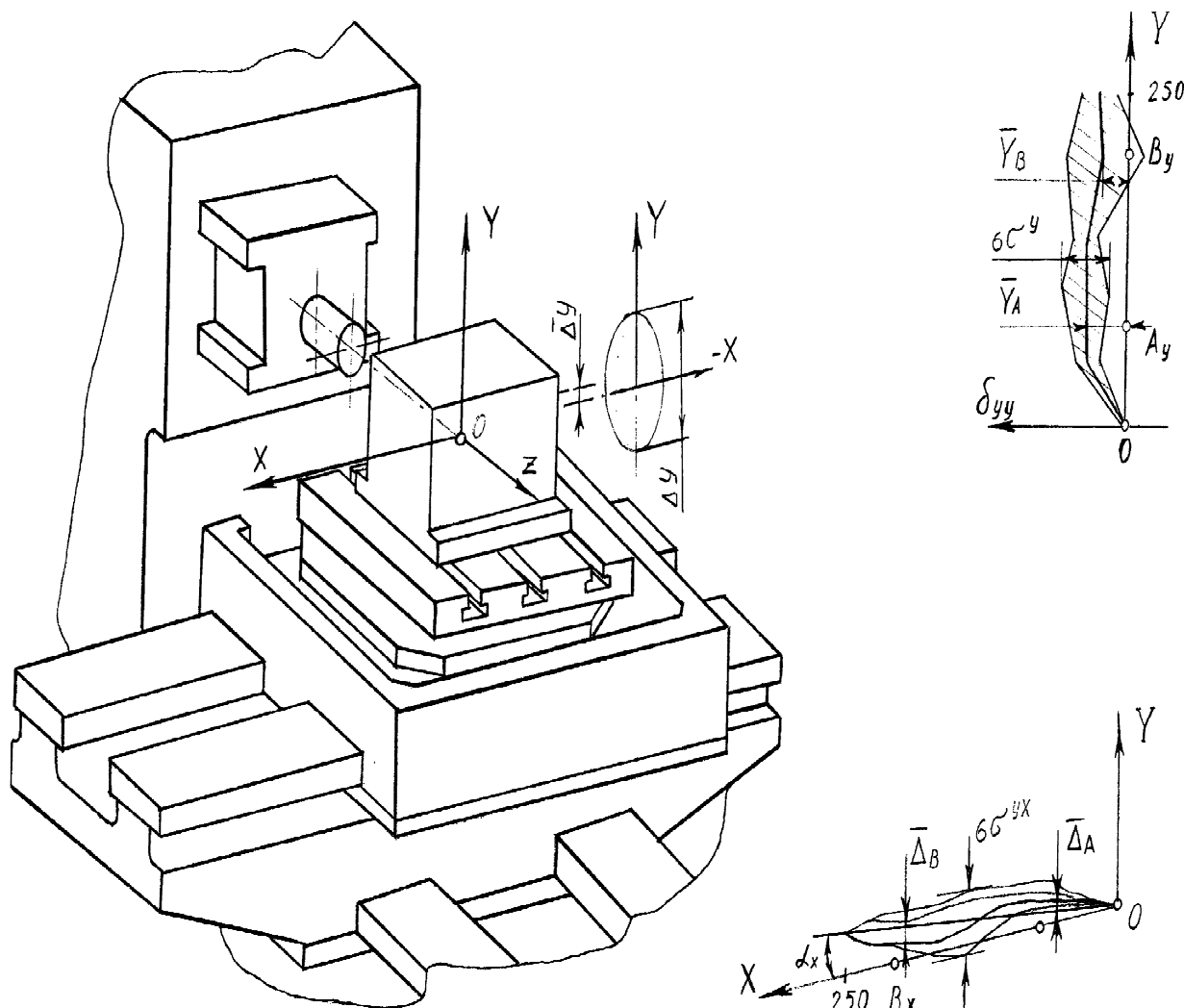


Рисунок 1 – Схема формирования баланса погрешности выходного параметра стола станка МС12-250.

Таблица 2 – Значение проекции выходного параметра ΔY многоцелевого станка МС12-250.

Перемещение рабочего органа	Y_A	Y_B	X_A	X_B	Z_1	Z_2	$\bar{\Delta Y}$	6σ
	мм				мкм			
Максимальное	0	250	0	250	0	220	37,8	9,24
Часто повторяющаяся	45	155	75	200	50	150	15,25	11,34

За межналадочный период сформированное в начальный момент эксплуатации поле геометрических погрешностей будет менять свое пространственное положение за счет тепловых деформаций ползуна и колонны. Они приводят к дополнительному смещению центра поля, сформированного

погрешностями, а так же изменению составляющих погрешности ΔY .

Таким образом, сформирован баланс погрешности по рассматриваемой проекции выходного параметра ΔY многоцелевого станка МС12-250, который учитывает величины коор-

динатных перемещений, а так же рассеивание составляющих погрешностей.

Прогнозирование смещения выходного параметра ΔY позволит учитывать конструктивные особенности МС в процессе эксплуатации для достижения требуемой точности при получении межосевых расстояний и линейных размеров в корпусных деталях.

УДК 681.7

Грондзка-Далке М., Сазонов М.И., Цыганов Д.Л., Якушевич С.

ИЗУЧЕНИЕ ТРИБОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ АЛМАЗОПОДОБНЫХ ПЛЕНОК

Алмазные и алмазоподобные пленки (АПП), получаемые плазменными методами осаждения из газовой фазы или в вакууме, привлекает ученых уже около четверти века. Постоянно растущий интерес к этим пленкам и расширение исследований объясняется уникальностью их свойств: высоким удельным электрическим сопротивлением, оптической прозрачностью в видимом и ИК – диапазонах электромагнитного излучения, низким коэффициентом трения, высокой стойкостью в агрессивных химических средах и биосовместимостью.

В основе получения алмазных и алмазоподобных пленок используются различные методы: нагрев нити, плазмы высокочастотного разряда (ВЧ), ионно-лучевых источников, магнетронов и т.д. Следует отметить, что всем известным методам присущи как достоинства, так и недостатки. Наиболее перспективным, на наш взгляд, является метод получения АПП способом химического осаждения из газовой фазы с применением до и или сверхзвуковой плазменной струи (CVD метод).

Брестским государственным техническим университетом совместно со Сморгонским заводом оптического станкостроения была разработана и создана вакуумно-плазменная установка (ВПУ-2), предназначенная для получения алмазоподобных пленок. Установка типа ВПУ-2 позволяет в широких диапазонах изменять параметры ее работы, что в конечном итоге влияет на качество и скорость роста алмазоподобных пленок. Схема установки ВПУ-2, используемой для осаждения алмазоподобных пленок, приведена на рис. 1.

Нанесение тонких износостойких алмазоподобных покрытий производится способом химического осаждения из газовой фазы с применением высокотемпературной плазменной струи.

Осаждение пленок проводилось при мощности плазмотрона, равной 5-20 кВт, расходах аргона 3-6 л/мин, метана 0,3-2 л/мин, водорода 0,4-1,2 л/мин, расстояниях от плазмотрона до подложки 40-120 мм и давлении газа в реакторе 150-280 Па. В качестве основного метода исследования структуры покрытий нами был выбран метод комбинационного рассеяния света (КРС). Спектры КРС регистрировались при комнатной температуре с помощью спектрометра модели 1403 фир-

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Проников А. С. Программный метод испытания металло-режущих станков. – М.: Машиностроение, 1985.
2. Горбунов В. П., Григорьев В. Ф. Оценка технологической надежности многоцелевого станка по параметру точности координатных перемещений // Вестник БГТУ – Машиностроение, автоматизация, ЭВМ. -№4, 2000 – с.8-11.

мы Srex. Регистрация спектров осуществлялась по схеме обратного рассеяния, спектральная полуширина щелей спектрометра составляла 2-3 см⁻¹. Возбуждение производилось излучением Ar*-лазера с длиной волны 488 нм и 514,5 нм. Мощность излучения на образце составляла 0,3-0,4 Вт, а диаметр возбуждающего пучка составлял ~ 20 мм. Характерный спектр КРС углеродных пленок, выращенных при различных температурах подложки и времени напыления, показан на рис. 2.

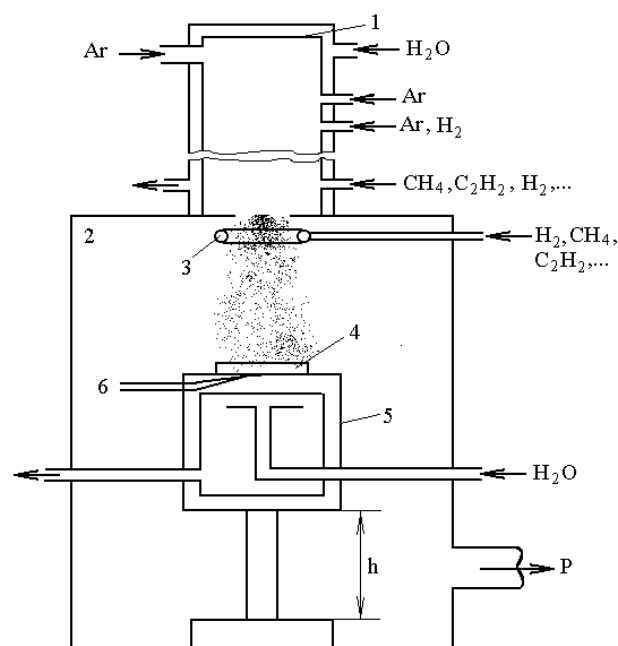


Рисунок 1 – Схема установки ВПУ-2

1 – плазмотрон с межэлектродной вставкой, 2 – химический реактор, 3 – кольцо для подачи газов в реактор, 4 – подложка, 5 – водоохлаждаемый подложкодержатель, 6 – термопара, P – к откачному посту.

Грондзка-Далке М. Преподаватель Белостокского технического университета.

Якушевич С. Директор предприятия по производству технологического оснащения Белостокского технического университета.

Польша, г. Белосток, ул. Вейска, 45с.

Сазонов Михаил Иванович. Д.т.н., профессор, каф. сопротивления материалов и теоретической механики Брестского государственного технического университета.

Цыганов Д.Л. Аспирант каф. сопротивления материалов и теоретической механики Брестского государственного технического университета.

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