

подачи на зуб S_z (0,05...0,75 мм/зуб), радиуса задней поверхности ножа r (6...18 мм), скорости резания V (2,5...8,0 м/с), глубины резания t (0,125...0,500 мм), угла наклона режущей кромки $\lambda = -30^\circ, -35^\circ, -40^\circ$. Установлены приближенные к оптимальным значения режимов резания и геометрии инструмента для получения минимальных значений Ra .

Теоретические расчеты Ra , результаты моделирования шероховатости и экспериментальные результаты отличаются не более 5 %.

На основании структурного математического моделирования чистовой обработки плоских поверхностей разработан ряд торцовых фрез, оснащенных СТМ. Результаты работы внедрены на ОАО "Беверс" (г. Бердичев) и ОАО "Верстатуниверсалмаш" (г. Житомир).

Список литературы: 1. Инструменты из сверхтвердых материалов / Под ред. Н.В. Новикова. – Киев: ИСМ НАНУ, 2001. – 528 с. 2. Рабочие процессы высоких технологий в машиностроении под ред. проф. Грабченко А.И. Харьков ХГПУ, 1999. – 554 с. 3. Розенберг А.М., Розенберг О.А. Силы и мощность при обработке металлов торцовыми фрезами из СТМ// Сверхтвердые материалы. – 1988. – № 1. – С. 47–50.

Сдано в редакцию 21.04.05

Рекомендовано д.т.н., проф. Михайлов А.Н.

К ВОПРОСУ НАНЕСЕНИЯ ВАКУУМНЫХ ИОННО-ПЛАЗМЕННЫХ ПОКРЫТИЙ НА ВНУТРЕННИЕ ПОВЕРХНОСТИ ИЗДЕЛИЙ МАШИНОСТРОЕНИЯ

Михайлова Е.А., Михайлов В.А. (ДонНТУ, г. Донецк, Украина)

In this work the questions of drawing of special covers on internal surfaces of items of mechanical engineering are indicated. The conditions are defined and the features of drawing of covers on internal cylindrical surfaces of items are probed. The classification of kinematic structure of movements of an item is presented at drawing cover from condition of raise of performance of process. The diagrammatic layout of the device for drawing cover is designed.

В настоящее время для повышения качества изделий машиностроения широко используются различные виды покрытий [1, 2, 3]. Покрытия позволяют существенно повысить технико-экономические показатели изделий при их эксплуатации [2]. Для нанесения покрытий используются различные методы и способы производства покрытий. При этом применяется множество видов, типов и вариантов покрытий. Наиболее перспективными являются вакуумные ионно-плазменные покрытия [1, 2]. Они позволяют значительно повысить качество изделий машиностроения и процесс эксплуатации машин. При этом данный метод позволяет вести управление процессом нанесения покрытий, что дает возможность расширения его технологических возможностей. Вместе с тем, существует большая проблема нанесения покрытий на внутренние цилиндрические поверхности изделий машиностроения при одновременном повышении производительности процесса [4, 5, 6]. Поэтому исследование этих вопросов является актуальной проблемой, имеющей важное народнохозяйственное значение.

Целью данной работы является повышение качества, эффективности и расширение технологических возможностей нанесения покрытий на внутренние поверхности изделий за счет разработки заданной кинематической структуры движения изделий и специального устройства для его реализации. На основании поставленной цели определены следующие задачи: разработать основы синтеза кинематической структуры движений изделия при нанесении покрытия, выполнить классификацию структурных вариантов движения изделия, исследовать особенности нанесения покрытия на внутреннюю поверхность изделия, предложить принципиальную схему устройства для нанесения покрытия.

Решению этих задач посвящена данная работа. Здесь, на основании выполненных исследований разработаны основы нанесения вакуумных ионно-плазменных покрытий на внутренние поверхности изделий. При этом установлено, что нанесение данных покрытий на внутренние поверхности изделий должно выполняться на основании следующих условий:

- для обеспечения возможности нанесения покрытия на внутреннюю поверхность изделия, поверхность изделия должна располагаться под наклоном к направлению действия потока плазмы с углом ω ;

- для обеспечения полного покрытия всей внутренней поверхности изделия, необходимо обеспечить определенную кинематическую структуру движений изделия;

- для повышения эффективности и качества нанесения покрытия на изделия в ограниченной зоне действия плазмы, необходимо установить множество изделий и обеспечить заданную кинематику их движения.

В процессе нанесения вакуумного ионно-плазменного покрытия на внутреннюю поверхность изделия, она должна располагаться под наклоном к направлению действия потока плазмы с углом ω . Это обусловлено тем, что при нанесении покрытия поток плазмы должен попадать на внутреннюю поверхность под определенным углом ($\omega > 0$), при этом имплантироваться в поверхностный слой и на поверхность изделия. Проведенные исследования показывают, что минимальный угол между направлением действия потока плазмы и расположением поверхности должен составлять $\omega_{min} = 2,0^\circ \dots 2,5^\circ$, в зависимости от длины внутренней поверхности изделия. Для внутренних поверхностей изделий имеются ограничения на максимальные значения угла наклона поверхностей. Это обусловлено тем, что при значительном наклоне изделия может возникать "теневая" зона при нанесении покрытия, которая образовывается от наклона противоположной стороны поверхности. Максимальный угол наклона поверхности к направлению действия потока плазмы, для внутренней цилиндрической поверхности изделия, определяется по формуле (рис. 1):

$$\omega_{max} = \arctg \frac{d_o}{l},$$

где ω_{max} - максимальный угол наклона поверхности к направлению действия потока плазмы;

d_o - диаметр внутренней поверхности изделия;

l - длина внутренней поверхности изделия.

При установке изделий, для нанесения покрытия на его внутреннюю поверхность следует учитывать, что могут возникать завихрения потоков плазмы от противоположной стороны поверхности. При этом на дальней стороне поверхности покрытие может наноситься не равномерной толщины. А также может возникать ситуация когда угол наклона изделия будет превышать максимальное значение. Поэтому в этих случа-

ях необходимо обеспечивать гарантированное попадание потока плазмы на дальнюю сторону внутренней поверхности изделия. Это можно обеспечить из условия незначительного уменьшения максимального угла наклона поверхности к направлению действия потока плазмы на величину угла $\omega_o = 0,5^\circ \dots 1,0^\circ$, значение которого определяется в зависимости от длины внутренней поверхности изделия.

В связи с этим, для обеспечения рациональных значений угла наклона изделия к направлению действия потока плазмы, оно должно располагаться в следующих пределах

$$(2,0^\circ \dots 2,5^\circ) > \omega > \text{arctg} \frac{d_o}{l} - \omega_o.$$

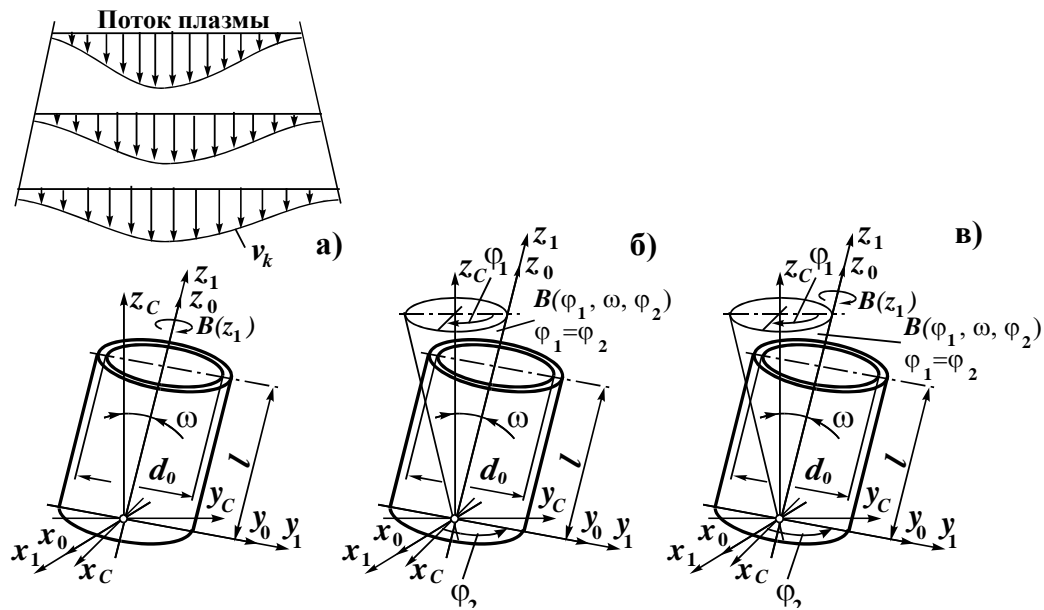


Рис. 1. Кинематическая структура 0-го класса движений изделия при нанесении покрытия на внутреннюю цилиндрическую поверхность в условиях наклона его оси под углом ω : **а** - при наличии вращения $B(z_1)$ вокруг продольной оси; **б** - при наличии прецессионного качания $B(\varphi_1, \omega, \varphi_2)$ при $\varphi_1 = \varphi_2$; **в** - при наличии вращения $B(z_1)$ вокруг продольной оси и прецессионного качания $B(\varphi_1, \omega, \varphi_2)$ при $\varphi_1 = \varphi_2$

Для обеспечения полного покрытия всей внутренней поверхности изделия необходимо обеспечить определенную кинематическую структуру движений изделия. Здесь возможны три основных варианта кинематической структуры движений наклоненного изделия. На рис 1 показана кинематическая структура 0-го класса движений изделия, при нанесении покрытия на внутреннюю цилиндрическую поверхность, в условиях наклона его оси под углом ω . Здесь система координат x_c, y_c, z_c является неподвижной. Можно отметить, что под кинематической структурой 0-го класса движений подразумевается структура движений изделия, связанного с системой координат x_o, y_o, z_o , которые реализуются только относительно системы координат x_1, y_1, z_1 , располагающейся внутри изделия. Заметим, что относительно одной оси системы координат x_1, y_1, z_1 возможно обеспечение трех вариантов структур движений 0-го класса. В числе кото-

рых, на рис. 1,а представлена кинематическая структура - при наличии только одного элементарного вращения $B(z_1)$ вокруг продольной оси z_1 системы координат x_1, y_1, z_1 .

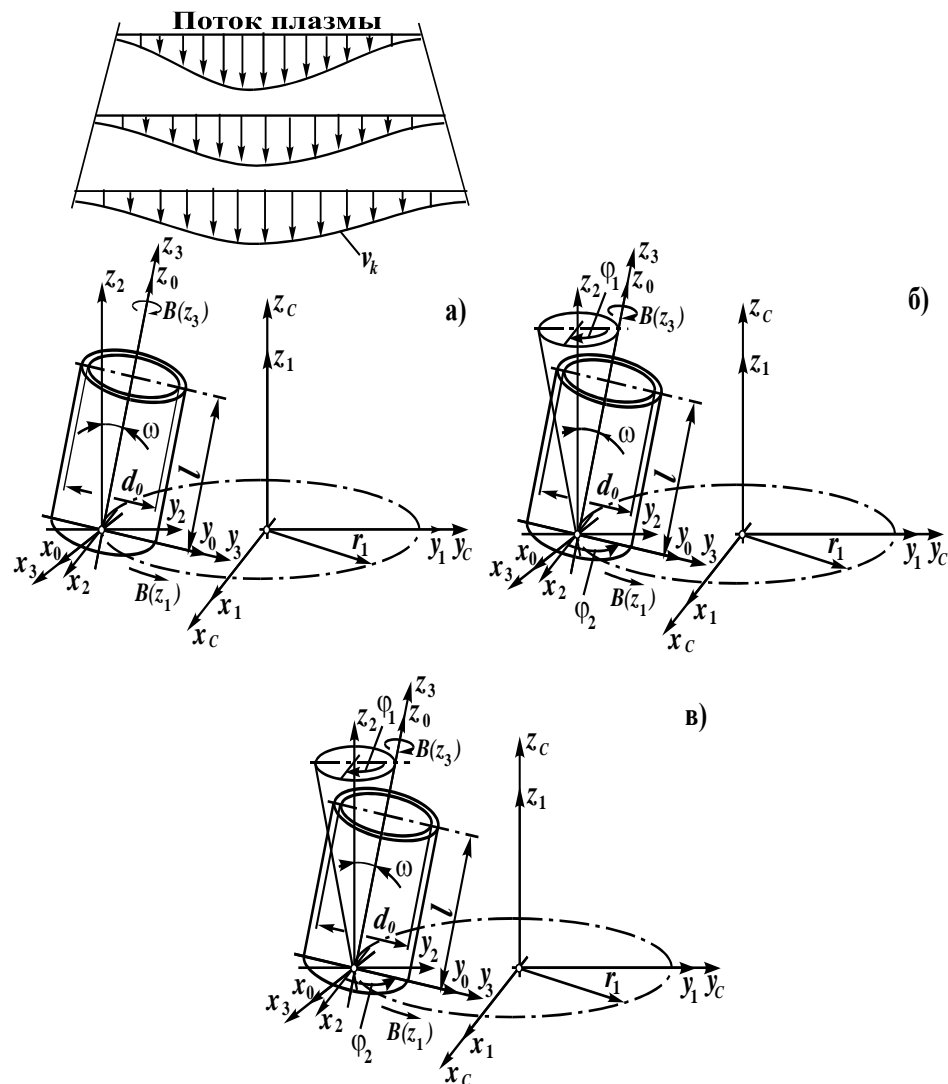


Рис. 2. Кинематическая структура 1-го класса движений изделия при нанесении покрытия на внутреннюю цилиндрическую поверхность в условиях наклона его оси под углом ω и обеспечения вращения $B(z_1)$: **а** - при наличии вращения $B(z_3)$ вокруг продольной оси; **б** - при наличии прецессионного качания $B(\varphi_1, \omega, \varphi_2)$ при $\varphi_1 = \varphi_2$; **в** - при наличии вращения $B(z_3)$ вокруг продольной оси и прецессионного качания $B(\varphi_1, \omega, \varphi_2)$ при $\varphi_1 = \varphi_2$

Возможны и другие варианты структуры кинематики 0-го класса. На рис 1,б показана структура при наличии прецессионного качания $B(\varphi_1, \omega, \varphi_2)$, в условиях когда $\varphi_1 = \varphi_2 = \varphi$. Здесь, содержатся три вращения относительно системы координат x_1, y_1, z_1 , которые координируется тремя углами Эйлера φ_1, ω и φ_2 , при $\varphi_1 = \varphi_2 = \varphi$. Уравнения относительных движений системы координат x_1, y_1, z_1 , относительно системы координат x_0, y_0, z_0 , при прецессионном качании, будут следующие:

$$\left. \begin{aligned} x_1 &= x_0 \left(1 - 2 \cos^2 \varphi \sin^2 \frac{\omega}{2} \right) - y_0 \sin 2 \varphi \sin^2 \frac{\omega}{2} + z_0 \cos \varphi \sin \omega, \\ y_1 &= -x_0 \sin 2 \varphi \sin^2 \frac{\omega}{2} + y_0 \left(1 - 2 \sin^2 \varphi \sin^2 \frac{\omega}{2} \right) + z_0 \sin \varphi \sin \omega, \\ z_1 &= -x_0 \cos \varphi \sin \omega - y_0 \sin \varphi \sin \omega + z_0 \cos \omega. \end{aligned} \right\}$$

Еще один вариант кинематической структуры движений изделия представлен на рис. 1,в. В этой схеме выполняется нанесение покрытия на изделие при наличии группы движений, а именно: вращения $B(z_1)$ вокруг продольной оси и прецессионного качания $B(\varphi_1, \omega, \varphi_2)$, в условиях когда $\varphi_1 = \varphi_2$. Следует отметить что, последовательно располагая три представленные схемы относительно трех осей координат можно получить девять возможных вариантов кинематической структуры 0-го класса движений изделия при нанесении покрытия на внутренние цилиндрические поверхности. При этом в каждом случае потоки плазмы должны ориентироваться по соответствующим осям системы координат относительно внутренней цилиндрической поверхности изделия. Представленные кинематические структуры движений изделия обеспечивают возможность равномерного нанесения покрытия на всю внутреннюю поверхность изделия.

Для повышения эффективности и качества нанесения покрытия на внутренние поверхности изделий в ограниченной зоне действия плазмы, необходимо установить множество изделий и обеспечить заданную сложную кинематику их движения. Для выполнения этого, требуется создание специальных устройств, которые обеспечивали выполнение приведенных требований. Установка множества изделий в вакуумной камере обеспечивает повышение производительности за счет реализации принципа концентрации рабочих позиций. А сложная кинематика движений изделий дает возможность всем изделиям последовательно проходить все особые зоны потока плазмы, имеющего во первых, ограниченные геометрические размеры, а во вторых - не одинаковые параметры интенсивности в различных зонах. Цикловая производительность нанесения покрытия на внутренние поверхности изделий будет определяться следующей зависимостью:

$$P_{Ц} = \frac{\prod_{k=1}^p u_k}{t_o + t_e},$$

где $P_{Ц}$ - цикловая производительность вакуумной ионно-плазменной установки;

u_k - количество рабочих позиций k -го класса на планшайбе установки (u_1 - количество изделий установленных на каждом рабочем столе планшайбы);

p - число кинематических подсистем движений устройства планшайбы;

t_o - основное время технологического воздействия на изделие;

t_e - вспомогательное время.

На рис. 2 представлена кинематическая структура 1-го класса движений изделия при нанесении покрытия на внутреннюю цилиндрическую поверхность в условиях наклона его оси под углом ω и обеспечении вращения $B(z_1)$. В этой кинематической схеме добавлено одно дополнительное движение $B(z_1)$. Здесь показано: на рис. 2,а - при наличии вращения $B(z_3)$ вокруг продольной оси; на рис. 2,б - при наличии

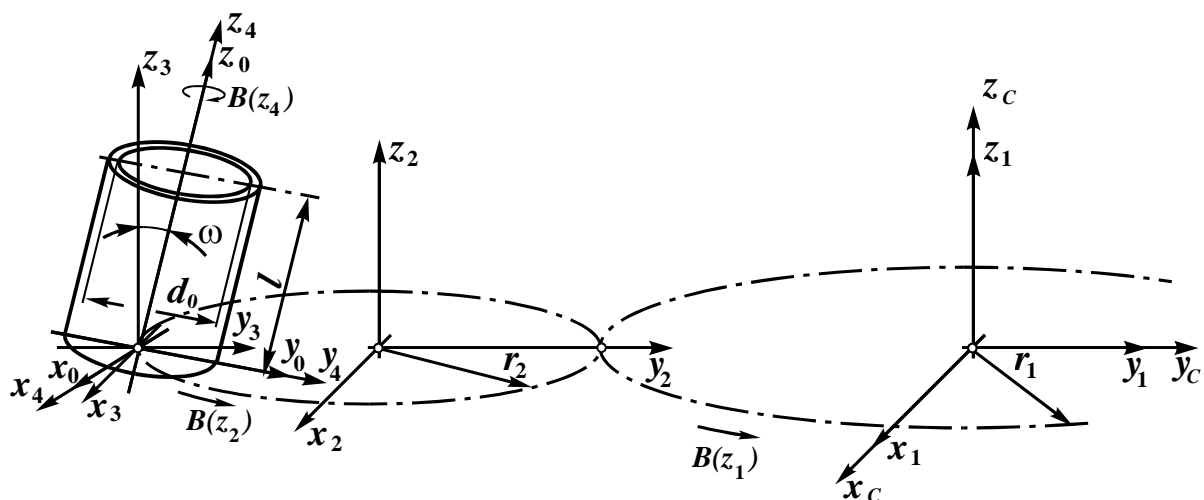


Рис. 3. Кинематическая структура 2-го класса движений изделия при нанесении покрытия на внутреннюю цилиндрическую поверхность в условиях наклона его оси под углом ω и обеспечения вращений $B(z_1)$, $B(z_2)$, $B(z_3)$ вокруг осей трех систем координат

прецессионного качания $B(\varphi_1, \omega, \varphi_2)$ при $\varphi_1 = \varphi_2$; на рис.2,в - при наличии вращения $B(z_3)$ вокруг продольной оси и прецессионного качания $B(\varphi_1, \omega, \varphi_2)$ при $\varphi_1 = \varphi_2$. На основании представленной схемы можно выполнить уже 27 возможных вариантов кинематических схем движений изделий для кинематической структуры 1-го класса.

Следует отметить, что возможны и другие более сложные варианты кинематической структуры движений изделий. На рис. 3 показан один из возможных вариантов

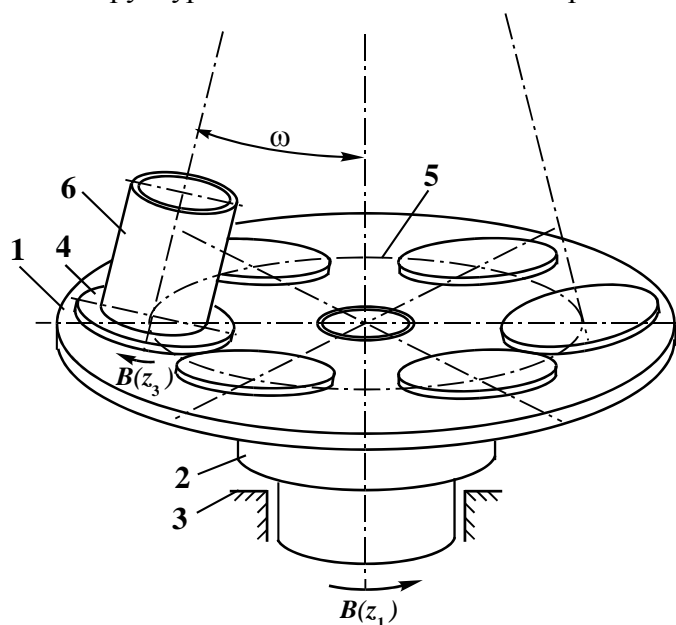


Рис. 4. Принципиальная схема устройства для нанесения покрытий на внутренние цилиндрические поверхности изделий

кинематической структуры 2-го класса движений изделия при нанесении покрытия на внутреннюю цилиндрическую поверхность в условиях наклона его оси под углом ω и обеспечения вращений $B(z_1)$, $B(z_2)$, $B(z_3)$ вокруг осей трех систем координат. В этом случае, количество возможных схем кинематической структуры 2-го класса движений изделия может составлять уже 81 вариант. И так далее, увеличивая количество движений кинематической схемы, количество возможных вариантов кинематической структуры движения изделий возрастает. При этом проектировщик, генерируя возможные варианты движений изделий, может найти оптимальную схему движений для конкретного изделия.

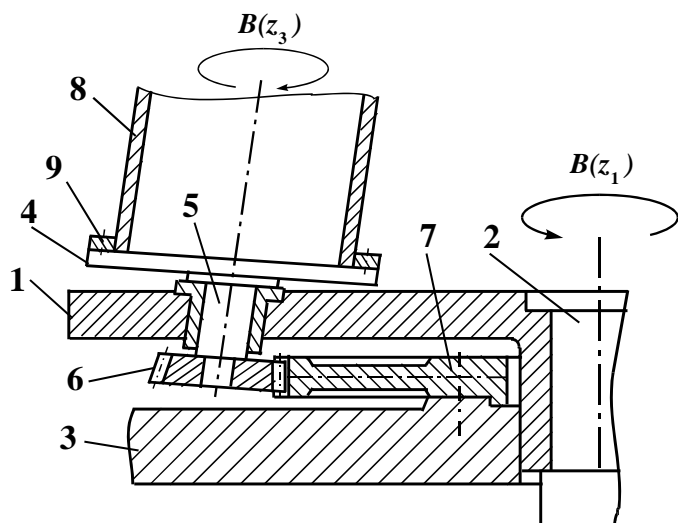


Рис. 5. Продольное сечение устройства для нанесения покрытий на внутренние цилиндрические поверхности изделий

ленное на рабочем столе, при этом при нанесении покрытия на всех рабочих столах устанавливаются изделия.

На рис. 5 приведено продольное сечение устройства для нанесения покрытий на внутренние поверхности изделий, представленного на рис. 4. На этой схеме показанные позиции обозначают следующее: 1 - планшайба устройства, 2 - центральный вал планшайбы, 3 - основание (вакуумная камера); 4 рабочий стол, 5 - вал рабочего стола, 6 - коническое зубчатая шестерня, 7 - центральное зубчатое колесо (закреплено на основании), 8 - изделие, 9 - крепление изделия.

При нанесении покрытия на изделие 8 (от верхнего источника плазмы), обеспечивается вращательное движение $B(z_1)$ планшайбы 1 устройства, которая установлена на центральном валу 2, относительно вакуумной камеры 3. Посредством зубчатой шестерни 6, смонтированной на валу 5, и центрального зубчатого колеса 7, закрепленного на основании 3, осуществляется вращательное движение $B(z_3)$ рабочего стола 4, установленного под углом ω к направлению действия потока плазмы от верхнего катода. Для закрепления изделий 8 на рабочем столе 4 применяется специальное устройство 9, предотвращающее его перемещения в процессе вращений. В процессе нанесения покрытия все изделия последовательно проходят все изделия установленные в вакуумной камере все особые зоны потока плазмы. Это дает возможность выполнить равномерное нанесение покрытия на все зоны поверхности изделия, что существенно повышает качество и производительность нанесения покрытий на внутренние поверхности.

Таким образом, в представленной статье выполнены исследования по разработке основных условий нанесения вакуумных ионно-плазменных покрытий на внутренние поверхности изделий. При этом установлено, что - для обеспечения возможности нанесения покрытия на внутреннюю поверхность изделия, поверхность изделия должна располагаться под наклоном к направлению действия потока плазмы с углом ω ; Проведенные исследования позволили установить допустимые значения угла наклона изделия при нанесении покрытия и дать основные рекомендации по производству покрытий.

На рис. 4 показана принципиальная схема устройства для нанесения покрытий на внутренние поверхности изделий, реализующего принципиальную кинематическую схему 1-го класса движений (рис. 2,а). Позиции обозначают следующее: 1 - планшайба устройства, 2 - центральный вал планшайбы, 3 - основание (вакуумная камера); 4 рабочий стол, 5 - основная окружность планшайбы, 6 - изделие. Здесь показано: ω - угол наклона изделия или рабочего стола, $B(z_1)$ - направление вращения планшайбы, $B(z_3)$ - направление вращения рабочего стола. На данном устройстве условно показано только одно изделие, установлен-

В работе также показано, что для обеспечения полного покрытия всей внутренней поверхности изделия, необходимо обеспечить определенную кинематическую структуру движений изделия. На основании этого в данной работе разработана обоснованная классификация возможных вариантов структуры кинематических схем движения изделия при нанесении покрытия. При этом показано, что для повышения эффективности и качества нанесения покрытия на изделия в ограниченной зоне действия плазмы, необходимо комплексно использовать принцип концентрации изделий и обеспечивать сложную кинематику их транспортного движения.

Список литературы: 1. Нанесение износостойких покрытий на быстрорежущий инструмент / Ю.Н. Внуков, А.А. Марков, Л.В. Лаврова, Н.Ю. Бердышев. – К.: Тэхніка, 1992. – 143 с. 2. Пузряков А.Ф. Теоретические основы технологии плазменного напыления: Учебное пособие по курсу "Технология конструкций из металлокомпозитов" - М.: МГТУ им. Н.Э Баумана, 2003. - 360 с. 3. Зенкін М.А. Технологічні основи забезпечення якості поверхневого зміцнення відповідальних деталей машин. Дис. ... д.т.н. - Харків: НТУ "ХП", 2005. - 40 с. 4. Михайлов А.Н., Михайлов В.А., Михайлова Е.А. Основы формообразования и повышения производительности при напылении вакуумных ионно-плазменных покрытий изделий машиностроения. // Прогрессивные технологии и системы машиностроения: Международный сб. научных трудов. - Донецк: ДонНТУ, 2005. Вып. 29. С. 132 – 146. 5. Михайлов А.Н., Михайлов В.А., Михайлова Е.А. Ионно-плазменные вакуумные покрытия – основа широкого повышения качества изделий машиностроения // Прогрессивные технологии и системы машиностроения: Международный сб. научных трудов. - Донецк: ДонНТУ, 2004. Вып. 28. С. 108 – 115. 6. Михайлов А.Н., Михайлов В.А., Михайлова Е.А. Основы синтеза функционально-ориентированных вакуумных ионно-плазменных покрытий изделий машиностроения // Известия ТРТУ – ДонНТУ. –Донецк: ДонНТУ, 2005, №5. С. 95-102.

Сдано в редакцию 28.04.05
Рекомендовано д.т.н., проф. Малышко И.А.

РАЗРАБОТКА НОВОГО ВИДА ЧЕРВЯЧНЫХ ЗУБОРЕЗНЫХ ИНСТРУМЕНТОВ И ОЦЕНКА ЕГО ВОЗМОЖНОСТЕЙ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ВЫСОКОТОЧНЫХ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС

Настасенко В.А (*ХНТУ, г. Херсон, Украина*)

The paper presented suggests technical and economic substantiation of the preference of spring-plate hob cutters equipped with non-undercutting hard alloy plates on the basis of the concept of improving worm tooth cutting tools suggested by the author earlier and the experience gained.

Связь проблемы с основными научными направлениями. Работа относится к области машиностроения, в частности – к производству высокоточных червячных зуборезных инструментов для обработки зубчатых колес. В ее основу положен анализ конструкций многозаходных червячных фрез и червячных шеверов пружинно-пластинчатого и реечного типов, оснащенных неперетачиваемыми режущими и режуще деформирующими пластинами из твердого сплава и сверхтвердых