

## ИССЛЕДОВАНИЯ ОСОБЕННОСТЕЙ НАНЕСЕНИЯ ВАКУУМНЫХ ИОННО-ПЛАЗМЕННЫХ ПОКРЫТИЙ НА ВНУТРЕННИЕ ЦИЛИНДРИЧЕСКИЕ ПОВЕРХНОСТИ ИЗДЕЛИЙ

Михайлов А.Н., Михайлова Е.А., Михайлов Д.А. (*Кафедра ТМ ДонНТУ, Донецк, Украина*)

**Введение.** В настоящее время в машиностроении широко используются различные методы повышения эксплуатационных свойств изделий [1, 2]. Особенно эффективным для решения этих вопросов является применение вакуумных ионно-плазменных покрытий поверхностей изделий. Однако нанесение покрытий на внутренние цилиндрические поверхности изделий является сложным процессом, особенно это проявляется в условиях глубоких отверстий из-за возможности появления теневых зон на поверхностях. Решению этого вопроса посвящен ряд работ [3, 4]. При этом отметим, что, в настоящее время существует проблема, связанная с необходимостью повышения эффективности нанесения покрытий на внутренние цилиндрические поверхности изделий.

Цель данной работы заключается в повышении производительности технологических систем для напыления вакуумных ионно-плазменных покрытий на внутренние цилиндрические поверхности изделий за счет обеспечения рациональной концентрации и структуры рабочих позиций установки. В соответствии с поставленной целью в работе планируется решить следующие задачи: разработать структурно-логические выражения по определению основных параметров производительности в зависимости от структуры технологической системы, исследовать особенности структурных вариантов технологической системы и определить их влияние на параметры производительности, представить зависимости параметров производительности от особенностей процесса нанесения покрытий на внутренние цилиндрические поверхности изделий.

**Результаты и обсуждения.** Можно отметить, что проблема повышения производительности выполняется особенно эффективно за счет широкого применения принципа концентрации рабочих позиций в технологической системе. Однако использование этого принципа должно базироваться на основных особенностях структуры рабочих позиций в вакуумной камере и параллелизме реализации технологических воздействий на предметы обработки. В этом случае общее количество рабочих позиций определяется по следующей формуле:

$$v_i = \prod_{k=1}^p v_{ik}, \quad (1)$$

где  $v_i$  - общее количество рабочих позиций технологической системы;

$v_{ik}$  - количество позиций в подсистемах  $k$  - го класса установки;

$p$  - количество классов подсистем установки.

Количество классов подсистем и количество позиций в подсистемах установки оказывает существенное влияние на общее количество рабочих позиций. Поэтому на базе этих параметров, возможно, вести решение вопросов обеспечения заданной производительности технологической системы.

Для обеспечения принципа параллелизма при нанесении покрытий на внутренние цилиндрические поверхности изделий в вакуумной камере необходимо определенным образом расположить рабочие позиции и реализовать их необходимую кинематику движений [3] в технологической системе. Эти вопросы решаются с помощью обеспечения параллельно действующей структуры рабочих позиций в вакуумной камере.

Принцип концентрации изделий в технологической зоне обеспечивает возможность параллельного нанесения покрытий на внутренние цилиндрические поверхности множества изделий. Следует отметить, что для реализации принципа концентрации,

ПРОГРЕССИВНЫЕ, СПЕЦИАЛЬНЫЕ И НЕТРАДИЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

обеспечения заданной структуры рабочих позиций и выполнения процесса напыления, вакуумных ионно-плазменных покрытий необходимо реализовать необходимую кинематику движения рабочих позиций, подсистем и всего поворотного устройства [3]. Выполнение этих движений необходимо для осуществления равномерности нанесения покрытий на поверхности для всех изделий в процессе и исключения влияния эффекта «теневая зона», так как в вакуумной камере располагается большое количество изделий. А так же это потребно для выполнения стабильности других параметров технологического процесса.

Можно отметить, что состав структуры рабочих позиций оказывает существенное влияние на цикловую производительность технологической системы. Она находится в функциональной зависимости от числа классов подсистем и от количества позиций в каждой подсистеме. Однако при формировании структуры элементов и подсистем поворотного устройства следует учитывать компактность рабочих позиций в технологической зоне. От этого критерия зависит общая производительность всей технологической системы. Поэтому процесс проектирования поворотного устройства следует вести с учетом компактности на базе принципов пространственной ориентации и функциональной ориентации рабочих позиций в вакуумной камере.

Заметим, что на цикловую производительность оказывает существенное влияние длительность полного технологического цикла нанесения покрытий на внутренние цилиндрические поверхности изделий. К примеру, для установок типа Булат (Булат – 3, Булат – 6, ННВ 6.6-И1), длительность полного технологического цикла может достигать от одного до трех часов. Общая длительность полного технологического цикла зависит от двух составляющих, а именно основного и вспомогательного времени технологического воздействия [4]. Эти параметры на практике могут быть различны. Это зависит от особенностей оборудования, параметров его эксплуатации и обслуживания, а также выполнения вакуумной гигиены.

На рис. 1 представлена зависимость цикловой производительности установки от параметров длительности полного технологического цикла нанесения покрытий. Здесь, на рис. 1,а показана зависимость цикловой производительности от основного времени технологического воздействия для структурного варианта, представленного вариантом

структуры  $Str_4 = \bigwedge_{\eta_{i2}=1}^3 \bigwedge_{\eta_{i1}=1}^3 y_i(\eta_{i2}, \eta_{i1})$ , для различных значений вспомогательного времени. На рис. 1,б показана зависимость цикловой производительности от вспомогательного времени технологического воздействия для структурного варианта, представ-

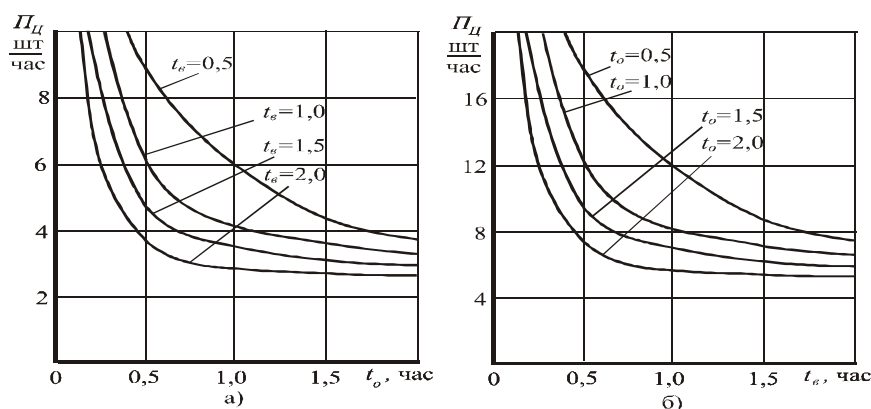


Рис. 1. Зависимость цикловой производительности установки от параметров длительности полного технологического цикла нанесения покрытий: **а** – основного времени, **б** – вспомогательного времени

ленного вариантом структуры  $Str_3 = \bigwedge_{\eta_{i2}=1}^6 \bigwedge_{\eta_{i1}=1}^3 y_i(\eta_{i2}, \eta_{i1})$ , для различных значений осевого времени.

Проведенные экспериментальные исследования позволили определить зависимость скорости напыления нитрид титанового покрытия на внутренние цилиндрические поверхности изделий от некоторых параметров, а именно: в зависимости от тока дуги  $I_D$  для фиксированных значений углов наклона продольных осей изделий; и от угла наклона продольной оси изделия для фиксированных значений тока дуги  $I_D$ . Эти данные были получены на установке Булат – 6 со специально модернизированным поворотным устройством [2]. Они дают возможность определять параметры нанесения покрытий от технологических параметров установки.

Для определения влияния скорости напыления покрытия на внутреннюю цилиндрическую поверхность изделия на цикловую производительность установки проведены специальные исследования. Эти исследования выполнялись при следующих параметрах процесса:  $v_i = 8$ ,  $t_{o1} = 0$  с,  $t_{o2} = 600$  с,  $t_{o4} = 900$  с,  $t_g = 1500$  с. Они позволили определить зависимость цикловой производительности вакуумной ионно-плазменной установки от скорости напыления покрытия на внутренние цилиндрические поверхности изделий для нескольких вариантов толщин покрытий, а также зависимость толщины напыляемого покрытия на цилиндрическую внутреннюю поверхность изделия от угла наклона оси изделия к направлению потока плазмы. Данные исследования выполнены для следующих параметров процесса:  $t_{o1} = 0$  с,  $t_{o2} = 600$  с,  $t_{o4} = 900$  с,  $v_k = 0,3 \cdot 10^{-2}$  мкм,  $t_g = 1500$  с, а также при фиксированных параметрах тока дуги.

**Выводы.** В заключении можно отметить, что выполненные исследования позволили разработать структурно-логические выражения по определению основных параметров производительности в зависимости от структуры технологической системы. А это дает возможность выявлять наиболее рациональные структурные варианты компоновки рабочих позиций в вакуумной камере технологической системы. А также в данной работе исследованы особенности структурных вариантов технологической системы и определено их влияние на параметры производительности. При этом полученные зависимости параметров производительности от особенностей процесса нанесения покрытий на внутренние цилиндрические поверхности изделий позволяют производить направленный поиск структурных вариантов технологической системы для определенных конкретных практических условий нанесения покрытий на различные изделия машиностроения.

**Список литературы:** 1. Нанесение износостойких покрытий на быстрорежущий инструмент / Ю.Н. Внуков, А.А. Марков, Л.В. Лаврова, Н.Ю. Бердышев. – К.: Техника, 1992. – 143 с. 2. Михайлов В.А., Михайлова Е.А. Специальные ионно-плазменные вакуумные покрытия изделий машиностроения // Инженер. Студенческий научно-технический журнал. – Донецк: ДонНТУ, 2004. №5. С. 12 – 16. 3. Михайлова Е.А. Некоторые особенности напыления вакуумных ионно-плазменных покрытий на внутренние цилиндрические поверхности изделий машиностроения // Прогресивні технології і системи машинобудування: Міжнародний зб. наукових праць. – Донецьк: ДонНТУ, 2006. Вип. 31. С. 124-132. 4. Михайлов А.Н., Михайлов В.А., Михайлова Е.А. Основы формообразования и повышения производительности при напылении вакуумных ионно-плазменных покрытий изделий машиностроения // Прогресивні технології і системи машинобудування: Міжнародний зб. наукових праць. – Донецьк: ДонНТУ, 2005. Вип. 29. С. 132-147.