

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА
КОМБИНИРОВАННОЙ ОТДЕЛОЧНОЙ ОБРАБОТКИ СВЕРЛ ИЗ
БЫСТРОРЕЖУЩЕЙ СТАЛИ**

Михайлов А. Н., Маджид А. Х., Михайлова Е. А., Феник Л. Н., Зантур Сахби
(ДонНТУ. г. Донецк. Украина)

In the given work the results of pilot studies to determine the parameters of a rational process of finishing the processing of axial cutting tools with vacuum ion-plasma coatings. For example, the implementation process finishing processing for the spiral drills of high-speed steels are the parameters of quality and productivity of their treatment.

Для изготовления осевых лезвийных инструментов широко используются прогрессивные технологические процессы [1, 2], обеспечивающие заданные параметры их качества. При этом для повышения эффективности работы осевых лезвийных инструментов и увеличения их стойкости на современных машиностроительных заводах используются инструменты с вакуумными ионно-плазменными покрытиями, наносимые методом конденсации и ионной бомбардировки (КИБ) [3, 4, 5].

Вместе с тем, с развитием научно-технического прогресса непрерывно повышаются требования к параметрам качества осевых лезвийных инструментов. При этом существующие технологические процессы не позволяют существенно повышать эксплуатационные свойства осевых лезвийных инструментов. Дальнейшее повышение свойств осевых лезвийных инструментов с вакуумными ионно-плазменными покрытиями возможно выполнять за счет разработки дополнительных технологических процессов отделочной обработки, базирующихся на функционально-ориентированном [6, 7] и системном подходе [8].

Целью данной работы является повышение качества и производительности отделочной обработки осевых лезвийных инструментов с вакуумными ионно-плазменными покрытиями. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи: определить факторы, влияющие на качество проведения каждой операции технологического процесса отделочной обработки; провести анализ технологического потенциала производительности установки для нанесения вакуумных ионно-плазменных покрытий; установить реальные параметры производительности нанесения покрытий на функциональные элементы осевых лезвийных инструментов.

Для повышения качества и производительности отделочной обработки разработан технологический процесс, который состоит из следующих этапов:

- предварительные отделочные операции осевого лезвийного инструмента,
- операции подготовки осевого лезвийного инструмента к нанесению покрытия,
- операции нанесения вакуумного ионно-плазменного покрытия на осевой лезвийный инструмент,
- дополнительные отделочные операции осевого лезвийного инструмента,
- операции контроля качества осевого лезвийного инструмента.

Каждый из этих этапов технологического процесса имеет определенное количество элементарных технологических операций.

Исследование особенностей дополнительной отделочной обработки осевых лезвийных инструментов выполнено на примере реализации технологического процесса для спиральных сверл.

На первом этапе, процесс абразивной обработки (затыловка) задней поверхности сверл выполнялся на полуавтомате заточном для сверл, зенкеров и метчиков модели ЗЕ653.

Проведенные экспериментальные исследования, выполненные с использованием полуавтомата заточного для сверл, зенкеров и метчиков модели ЗЕ653, процесса затыловки задней поверхности спиральных сверл для отверстий различного диаметра показали, что предельные параметры шероховатости задней поверхности сверла могут быть достигнуты $R_a = 0,63 \dots 0,32$ мкм. Эти значения параметров шероховатости получены для сверл из быстрорежущей стали марок Р18 или Р6М5. Применяемый круг шлифовальный типа ПП (ГОСТ 2424-83) из белого электрокорунда 24А, зернистостью 16-П, степени твердости С2, со структурой №7, на керамической связке К5. Частота вращения шлифовального круга $n=3000$ об/мин, частота вращения сверла $n_1 = 32$ об/мин. Обработка выполнялась в автоматическом режиме с выхаживанием. Применяемая смазывающая охлаждающая жидкость – УНИЗОР-М.

Для определения параметров шероховатости передней и задней поверхности сверл были изготовлены специальные приспособления, которые монтируются в зажимном устройстве на станине профилографа-профилометра и позволяют вести регулировку пространственного положения поверхностей сверла относительно траектории движения иглы (наконечника) прибора.

В соответствии с разработанным рациональным технологическим процессом дополнительной отделочной обработки осевых лезвийных инструментов предусмотрена пескоструйная обработка режущих кромок инструмента. Пескоструйная обработка обеспечивает упрочнение и тренировку режущих кромок инструмента за счет поверхностно-пластической деформации. Также обеспечивается скругление режущих кромок инструмента (для быстрорежущей стали до величины $r=10 \dots 15$ мкм, для твердого сплава до величины $r=15 \dots 30$ мкм). Величина радиуса скругления режущих кромок и скорость его образования являются функциями времени обработки, размера и типа абразивного зерна. Указанные параметры подбирают эмпирическим путем в каждом конкретном случае.

После пескоструйной обработки осевого лезвийного инструмента необходимо восстановить и улучшить параметры шероховатости поверхности осевого лезвийного инструмента. В данной работе этот процесс выполнялся полировкой поверхностей инструментов с применением войлочного круга и специальной абразивной пасты. Процесс полировки рабочих поверхностей осевого лезвийного инструмента (сверл) выполнен с использованием станка для полировки осевого лезвийного инструмента. Параметры шероховатости полированных поверхностей составили следующие величины $R_a = 0,08 \dots 0,06$ мкм.

На втором этапе рационального комплексного технологического процесса выполняются операции подготовки осевого лезвийного инструмента к нанесению покрытия. На этом этапе реализуются следующие операции: обезжиривание инструмента с применением ультразвука, промывка инструмента, сушка инструмента.

В качестве источника колебаний применена установка ультразвуковых колебаний УЗГ 3-4 и магнитострикционные преобразователи ПМС 2,5-18, смонтированные на специальных ваннах. Обезжиривание выполнялось путем погружения инструментов в раствор при температуре 50-60 °С. Состав раствора: тринатрийфосфат технический – 30-40 г/л; сода кальцинированная техническая 20-30 г/л; поверхностно активное вещество ОП-7 или ОП-10 – 3,5 г/л. Дополнительно здесь может применяться бензин «Галоша» (БР-1) ГОСТ 443-76 с последующей промывкой в спирте этиловом ректификационном. Время обезжиривания 3-7 мин.

На третьем этапе комплексного технологического процесса дополнительной отделочной обработки осевых лезвийных инструментов выполняются операции нанесения вакуумного ионно-плазменного покрытия. На этом этапе предусмотрено выполнение следующих операций:

- азотирование инструмента в тлеющем разряде (выдержка - 30 мин, атмосфера - азотирующая разряженная до 135 ... 665 Па, рабочее напряжение - 350 ... 550 В);
- ионная бомбардировка и прогрев инструмента 5 ... 10 мин;
- металлизация функциональных элементов инструмента 3 ... 5 мин;
- нанесение многослойного композиционного нитрид-титанового покрытия (15-20 слоев);
- охлаждение инструмента.

Нанесение покрытий производили на установке ННВ 6.6-И1 для вакуумного ионно-плазменного напыления покрытий на осевой лезвийный инструмент. Данная установка позволяет реализовать полный комплекс всех операций третьего этапа комплексного технологического процесса отделочной обработки осевых лезвийных инструментов. Установка имеет поворотный стол с планетарным движением осевых лезвийных инструментов.

Проблема повышения производительности решается 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.

Для обеспечения принципа параллелизма при нанесении покрытий в вакуумной камере необходимо определенным образом расположить рабочие позиции и реализовать их необходимую кинематику движений 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 поверхности нескольких изделий.

Следует отметить, что для реализации принципа концентрации, 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. 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 может располагаться большое количество изделий. А так же это необходимо 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 следует заметить, что при формировании структуры элементов и подсистем поворотного устройства следует учитывать компактность рабочих позиций в технологической зоне. От этого параметра 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. 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.

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

$$Str_4 = \bigwedge_{\eta_{i2}=1}^3 \bigwedge_{\eta_{i1}=1}^3 y_i(\eta_{i2}, \eta_{i1})$$

структуры, для различных значений вспомогательного времени. На рис. 1,б показана зависимость цикловой производительности от вспомогательного времени технологического воздействия для структурного варианта, представленного

$$Str_3 = \bigwedge_{\eta_{i2}=1}^6 \bigwedge_{\eta_{i1}=1}^3 y_i(\eta_{i2}, \eta_{i1})$$

вариантом структуры, для различных значений основного времени.

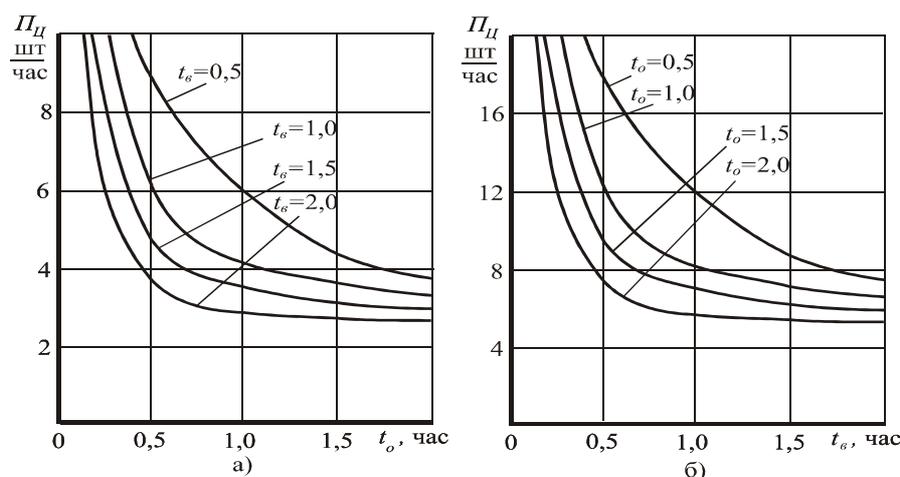


Рис. 1. Зависимость цикловой производительности установки от параметров длительности полного технологического цикла нанесения покрытий: а – основного времени технологического воздействия, б – вспомогательного времени

Следуя основным положениям теории производительности, установлено, что анализ технологического потенциала производительности вакуумной ионно-плазменной технологической установки следует осуществлять по коэффициенту производительности:

$$\eta_i = \frac{P_{ц}}{P_o}, \quad (2)$$

где η_i - коэффициент производительности вакуумной ионно-плазменной установки;
 Π_o - технологическая производительность вакуумной ионно-плазменной установки.

Здесь технологическая производительность вакуумной ионно-плазменной установки определяется по следующей формуле

$$\Pi_o = \frac{\prod_{k=1}^p v_{ik}}{t_o} \quad (3)$$

Подставляя формулу (3) в (2), получим следующее выражение:

$$\eta_i = \frac{t_o}{t_o + t_e} = \frac{1}{\varepsilon_i} \quad (4)$$

ε_i - коэффициент, характеризующий степень использования полного технологического цикла нанесения покрытия на изделия в вакуумной ионно-плазменной установке.

Прделав соответствующие преобразования в выражении (2) и используя формулы (3) и (4), уравнение для определения цикловой производительности вакуумной ионно-плазменной установки можно представить следующим образом

$$\Pi_{ц} = \frac{\prod_{k=1}^p v_{ik}}{t_o} \eta_i = \frac{\prod_{k=1}^p v_{ik}}{t_o \varepsilon_i}$$

На рис. 2 представлены результаты экспериментальных исследования по определению зависимости скорости напыления нитрид титанового покрытия на поверхности осевых лезвийных инструментов от некоторых параметров, а именно: на рис. 2,а в зависимости от тока дуги I_d для фиксированных значений углов наклона продольных осей изделий ω ; а на рис. 2,б – от угла наклона продольной оси изделия ω для фиксированных значений тока дуги I_d . Эти данные были получены на установке Булат – 6 со специально модернизированным поворотным устройством. Они дают возможность определять параметры нанесения покрытий от технологических параметров установки.

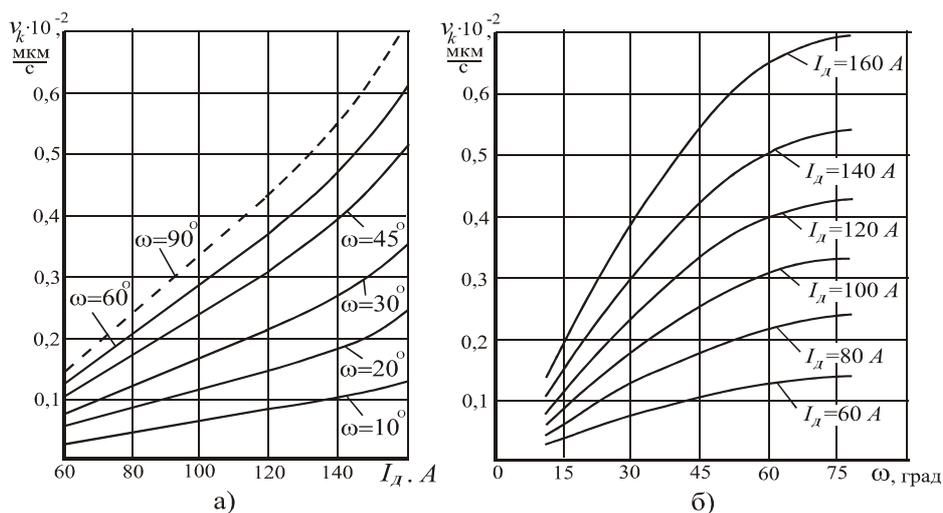


Рис. 2. Зависимость скорости напыления покрытия на поверхности осевых лезвийных инструментов от некоторых параметров:

а – от тока дуги I_d для фиксированных значений углов наклона продольных осей изделий ω , б – от угла наклона продольной оси изделия ω для фиксированных значений тока дуги I_d

Для определения влияния скорости напыления покрытия на поверхности осевых лезвийных инструментов на цикловую производительность установки проведены 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.

На рис. 3 представлена зависимость цикловой производительности вакуумной ионно-плазменной установки от скорости напыления покрытия на поверхности осевых лезвийных инструментов. Эти данные приведены для нескольких вариантов толщин покрытий.

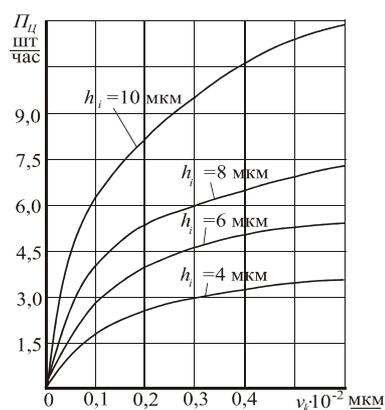


Рис. 3. Зависимость цикловой производительности вакуумной ионно-плазменной установки от скорости напыления покрытия на поверхности осевых лезвийных инструментов

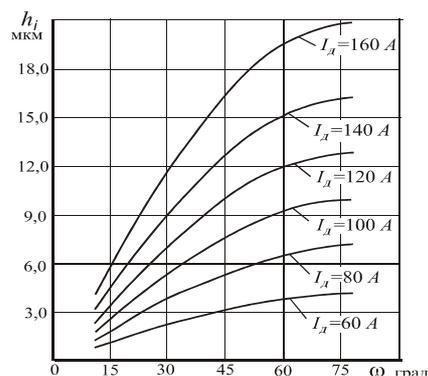


Рис. 4. Зависимость толщины напыляемого покрытия на поверхности осевых лезвийных инструментов от угла наклона оси изделия к направлению потока плазмы

На рис. 4 приведена зависимость толщины напыляемого покрытия на поверхности осевых лезвийных инструментов от угла наклона оси изделия к направлению потока плазмы. Данные исследования приведены 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.

На четвертом этапе комплексного технологического процесса дополнительной отделочной обработки осевых лезвийных инструментов могут выполняться следующие операции:

- доводка передней поверхности инструмента для обеспечения остроты кромки,
- гляцевание функциональных элементов инструмента (передняя и задняя поверхность инструмента),
- магнитоимпульсная обработка осевого лезвийного инструмента.

Эти дополнительные операции необходимы для окончательного обеспечения заданной совокупности параметров осевых лезвийных инструментов. А именно доводка передней поверхности инструмента необходима для обеспечения необходимой остроты режущих кромок. Гляцевание функциональных элементов инструментов выполняется специальными кругами из органических волокон с применением мирошлифпорошков. Магнитоимпульсная обработка обеспечивает снижение влияния возникающих внутренних концентраторов напряжения из-за особенностей термических воздействий на инструмент.

На пятом этапе рационального комплексного технологического процесса дополнительной отделочной обработки осевых лезвийных инструментов выполняются следующие операции:

- анализ внешнего вида и параметров точности осевых лезвийных инструментов;
- определение параметров шероховатости поверхности функциональных элементов инструментов;
- определение параметров микротвердости поверхностного слоя функциональных элементов инструментов;
- определение стойкости инструментов.

Можно отметить, что в настоящее время проведены исследования по реализации рационального комплексного технологического процесса дополнительной отделочной обработки осевых лезвийных инструментов. Выполнена реализация полного множества операций для спиральных сверл, изготовленных на Украине, и концевых фрез, изготовленных в Румынии.

В заключение можно отметить, что в данной работе выполнен анализ особенностей рационального технологического процесса дополнительной отделочной обработки осевых лезвийных инструментов. Установлены зависимости и связь параметров технологического процесса по выполняемым операциям, рассмотрены особенности структурных вариантов технологической системы и определено их влияние на параметры производительности нанесения покрытий. Исследованы особенности формирования шероховатости рабочих поверхностей инструмента по операциям технологического процесса и установлена зависимость формирования геометрии режущего клина по операциям технологического процесса.

Список литературы: 1. Справочник инструментальщика / И.А. Ординарцев, Г.В. Филиппов, А.Н. Шевченко и др. – Л.: Машиностроение, 1987. – 846 с. 2. Боровский Г.В., Григорьев С.Н., Маслов А.Р. Справочник инструментальщика / Под общей ред. А.Р. Маслова. – М.: Машиностроение, 2005. – 464 с. 3. Внуков Ю.Н. Нанесение износостойких покрытий на быстрорежущий инструмент. – Киев, Тэхника, 1992. – 143 с. 4. Верещака А.С. Работоспособность режущего инструмента с износостойкими покрытиями. М.: Машиностроение: 1993, 336 с. 5. Панфилов Ю.В., Беликов А.И., Иванчиков И.В. Тонкопленочные покрытия на инструменте: анализ современного состояния и тенденции развития. Электронные, ионные и плазменные технологии. Приложение. Справочник. Инженерный журнал № 1, 2000, 12-16. 6. Михайлов А.Н. Основы синтеза функционально-ориентированных технологий машиностроения. - Донецк: Технополис, 2008. – 346 с. 7. Михайлов А.Н., Михайлов В.А., Михайлова Е.А. Методика и основные принципы синтеза функционально-ориентированных вакуумных ионно-плазменных покрытий изделий машиностроения. // Упрочняющие технологии и покрытия. – М.: Машиностроение. №7. 2005. С. 3 – 9. 8. Хубка В. Теория технических систем: Пер. с нем. - М.: Мир, 1987. - 208 с.

Надійшла до редколегії 13.05.2009 р.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА КОМБИНИРОВАННОЙ ОТДЕЛОЧНОЙ ОБРАБОТКИ СВЕРЛ ИЗ БЫСТРОРЕЖУЩЕЙ СТАЛИ

Михайлов А. Н., Маджид А. Х., Михайлова Е. А., Феник Л. Н., Зантур Сахби

У даній роботі розглядалася можливість підвищення якості і продуктивності обробної обробки осьових лезвийних інструментів з вакуумними іонно-плазмовими покриттями.

комбинированная отделочная обработка, сверло, покрытие, качество