

**УСТРОЙСТВА ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ МУЛЬТИСЛОЙНЫХ ПОЛОСЧАТЫХ ВАКУУМНО-ПЛАЗМЕННЫХ ПОКРЫТИЙ НА ДЕТАЛЯХ РАЗЛИЧНОЙ КОФИГУРАЦИИ**

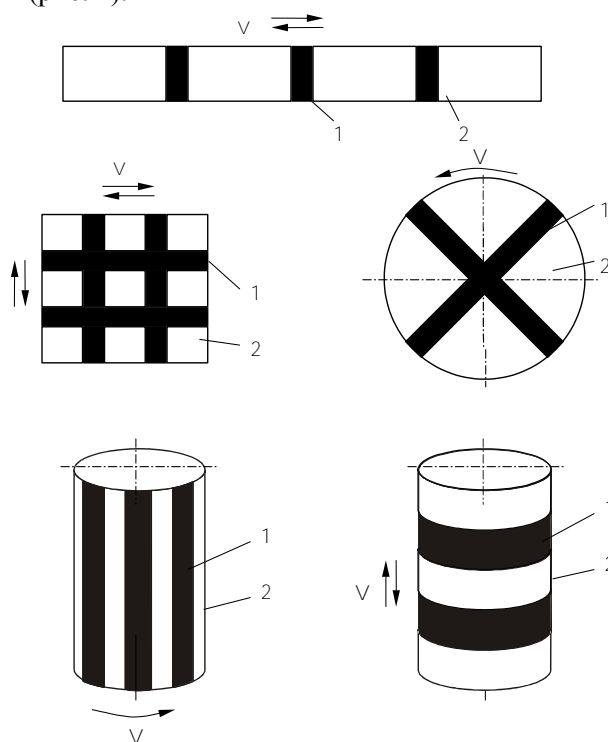
*Белорусский национальный технический университет*

*Минск, Беларусь*

*Рассмотрено формирование мультислойных полосчатых вакуумно-плазменных покрытий. Предположена технология поочередно-послойного их нанесения в вакууме. Описаны конструкции устройств для нанесения мультислойных полосчатых покрытий на детали различной конфигурации.*

Вакуумно-плазменное осаждение покрытий, как процесс поверхностного упрочнения деталей, отличается многообразием и широкими возможностями комплексного использования при создании экономичных, высокоэффективных композиционных материалов, способных работать в жестких условиях эксплуатации механизмов и машин [1]. Одним из перспективных направлений развития данного способа является получение износостойких композиций путем создания мультислойных систем-покрытий, состоящих из большого количества слоев, толщина которых составляет несколько периодов кристаллической решетки. Наряду с мультислойными покрытиями постоянного химического состава из нитрида титана были предложены покрытия переменного состава, в частности, полосчатые покрытия, представляющие собой чередование мультислойных полос (участков) из износостойкого и антифрикционного материалов и сочетающие в себе преимущества мультислойных покрытий постоянного состава и обычных полосчатых покрытий [2]. В качестве антифрикционного материала покрытия может использоваться медь, бронза и некоторые другие пластичные металлы.

Расположение полос из антифрикционного материала зависит от формы детали, типа движения в паре трения (возвратно-поступательное или вращательное) и направления вектора скорости относительного скольжения (рис. 1).



1 – антифрикционный материал; 2 – износостойкий материал

Рис. 1 - Схемы расположения полос из антифрикционного материала в полосчатом покрытии

Для плоских деталей при возвратно-поступательном движении полосы располагают параллельно друг другу в направлении, перпендикулярном вектору скорости относительного скольжения. Для деталей больших габаритов, длина и ширина которых соизмеримы, может использоваться шахматная схема расположения антифрикционных полос. В случае вращательного движения плоской поверхности полосы целесообразно располагать радиально относительно оси вращения детали. Для деталей типа тел вращения при возвратно-поступательном движении в паре трения полосы наносятся в виде колец, а при вращательном движении – в виде полос, перпендикулярных вектору скорости относительного скольжения.

Полосчатые покрытия обеспечивают снижение внутренних напряжений и, как следствие, уменьшение деформации нежестких деталей за счет разделения температурных потоков в покрытии. При этом относительно пластичные полосы из антифрикционного материала выполняют роль температурных барьеров и одновременно являются демпферами, компенсирующими увеличение или уменьшение линейных размеров покрытия при его остывании под влиянием разных коэффициентов термического расширения покрытия и основы, а также изменение объема конденсата вследствие происходящих в нем субструктурных изменений. К преимуществам полосчатых покрытий можно отнести и повышение износостойкости за счет поступления твердой смазки в зону трения.

Формирование полос покрытия осуществляется с помощью накладных масок (или экранов специальных устройств) с прорезями соответствующих размеров. Наряду с функцией формообразования, маски выполняют роль холодильных элементов, обеспечивая дополнительный отвод теплоты от поверхности детали и снижая тем самым интегральную температуру поверхности.

Для формирования мультислойных полосчатых покрытий была разработана технология поочередно-последовательного их нанесения в вакууме [3]. Данная технология заключается в том, что участки из различных материалов получают путем многократного поочередного нанесения слоев материалов при периодическом движении детали между катодами – испарителями из наносимых материалов, работающими в импульсном режиме.

Периодическое движение детали между катодами-испарителями из наносимых материалов, согласованное с импульсным режимом их работы строгой математической зависимостью, позволяет обеспечить необходимую точность процесса нанесения покрытия с участками из различных материалов по предлагаемой технологии при любых схемах движения детали между катодами, а также избежать перегрева и нежелательных структурных превращений материала основы; уменьшить внутренние напряжения в покрытии.

Толщина слоя покрытия, наносимого за один цикл, должна лежать в строго определенных пределах. При этом нижний предел определяется толщиной нескольких атомарных слоев (2-3 и более), позволяющих обеспечить сплошность покрытия. Верхний предел толщины слоя для металлов IV–VI групп таблицы Менделеева и их карбидов, нитридов и карбонитридов равен  $50-60a$ , где  $a$  – период кристаллической решетки. При превышении этой толщины происходит формирование нежелательной для износостойких покрытий столбчатой структуры.

Для реализации такой технологии были сконструированы специальные устройства, обеспечивающие оптимальную кинематику движения деталей в процессе нанесения покрытий.

Устройство для нанесения покрытий на плоские детали (рис. 2) содержит качающийся стол 1 с продольной направляющей 2, шарнирно соединенный с основанием 3. По направляющей 2 перемещается каретка 4 с закрепленной на ней обрабатываемой деталью 5, установленной на подвижном столике 6. Крепление обрабатываемой детали 5 обеспечивается зажимом 7. Движение каретки 4, установленной на подшипниках 8, осуществляется под действием силы тяжести. К столу 1 крепятся подвижная маска 9, приводимая в движение от упора 10, и неподвижная маска 11, выполненные с соответствующим рисунком. Маска 9 в нижнем положении фиксируется замком (на рис. 2 не показан). Позиционирование каретки 4 на рабочих позициях осуществляется с помощью упоров. Прижим обрабатываемой детали 5 к маскам 9 и 11 производится путем перемещения столика 6 при помощи двуплечих рычагов 12, установленных на осях 13. Управление рычагами 12 осуществляется посредством кулачков 14 и 15. Возврат столика 6 в исходное положение происходит под воздействием пружин. Стол 1 приводится в движение посредством угловой тяги 16 и ее кулачкового привода, состоящего из электродвигателя 17 с редуктором 18, обеспечивающими бесступенчатое регулирование частоты вращения в широком диапазоне, двух раздаточных передач 19, кулачков 14 и 15 и противовеса с набором грузов 20, создающего силовое замыкание в кулачковом механизме. Напротив противоположных сторон стола 1 установлены испарители 21.

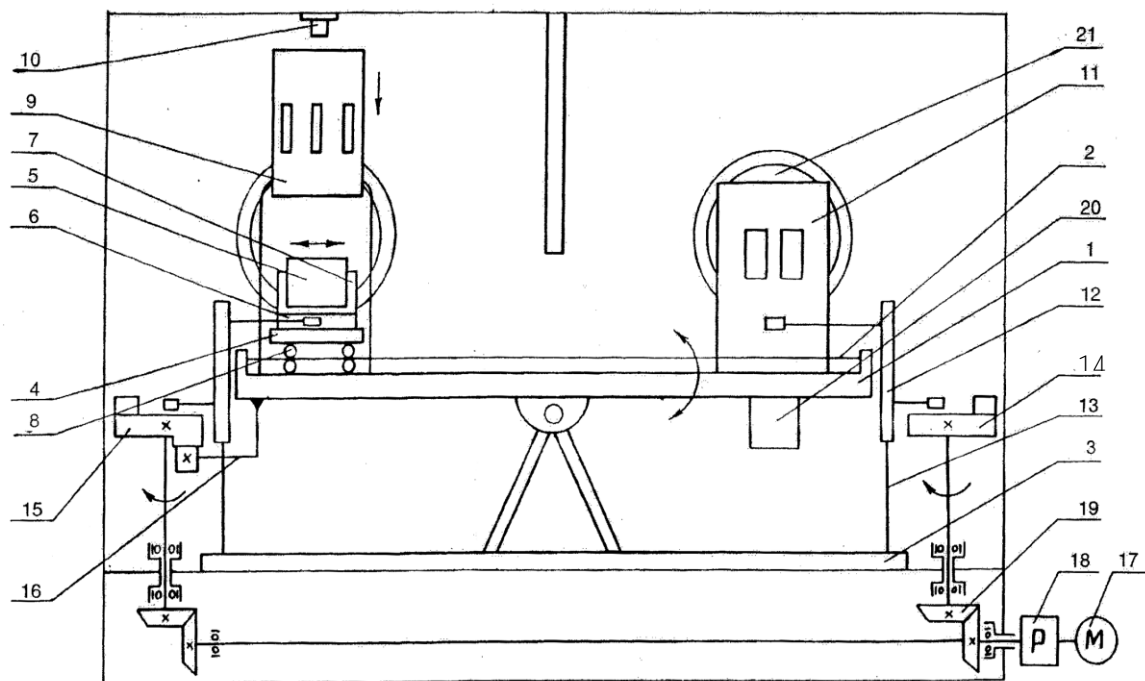


Рис.2 - Схема устройства для нанесения мультислойных полосчатых покрытий на плоские детали

Устройство работает следующим образом. При проведении очистки поверхности детали 5 ускоренными ионами материала катода, нагреве и нанесении подслоя осаждаемого материала на всю упрочняемую поверхность детали, каретка 4 с деталью 5 находится в крайнем левом положении за счет наклона стола 1, располагаясь напротив левого испарителя 21. При этом подвижная маска 9 находится в верхнем положении. После нанесения подслоя включается в работу кулачковый привод движения угловой тяги 16, приводящий во вращение кулачки 14 и 15. При вращении кулачка 14 стол 1 за счет угловой тяги 16 получает качательное движение в вертикальной плоскости. Стол 1 с продольной направляющей 2, каретка 4 с обрабатываемой деталью 5 осуществляют периодическое возвратно-поступательное движение между двумя испарителями 21, с которых производится осаждение участков покрытия. Причем при первом перемещении каретки 4 в крайнее правое положение подвижная маска 9 воздействием упора 10 перемещается в нижнее положение и фиксируется замком. Фиксация обрабатываемой детали 5 относительно маски 11 осуществляется при помощи упора, ограничивающего перемещение каретки 4 по продольной направляющей 2 стола 1, и рычажного механизма прижима обрабатываемой детали 5 к маске 11. При этом кулачок 15 воздействует на плечо рычага 12, который, поворачиваясь относительно оси 13, своим вторым плечом перемещает столик 6 с закрепленной на нем обрабатываемой деталью 5, обеспечивая тем самым плотное прижатие детали к маске. По окончании работы испарителя двуплечий рычаг 12 выходит из контакта с кулачком 15 и отводится от каретки 4, а столик 6 возвращается в исходное положение с помощью пружин.

Второе устройство предназначено для нанесения полосчатых покрытий на цилиндрические детали (рис. 3).

Механизм перемещения пакета дисков 8 состоит из ведущего диска 15 лобового вариатора, установленного на одном валу с ведущей шестерней 13 поворотного держателя, ведомого диска 16 и кулачка 17, обеспечивающего периодическое возвратно-поступательное перемещение вала поворотного держателя 7 с пакетом дисков 8 относительно обрабатываемых деталей 3. Силовое замыкание в кулачковом механизме создается пружиной 18. Время одного оборота вала кулачкового механизма фиксируется датчиком 19. Для электрической изоляции пакета дисков 8 вал поворотного держателя 7 содержит керамическую вставку 20. Напротив противоположных сторон устройства установлены испарители 21.

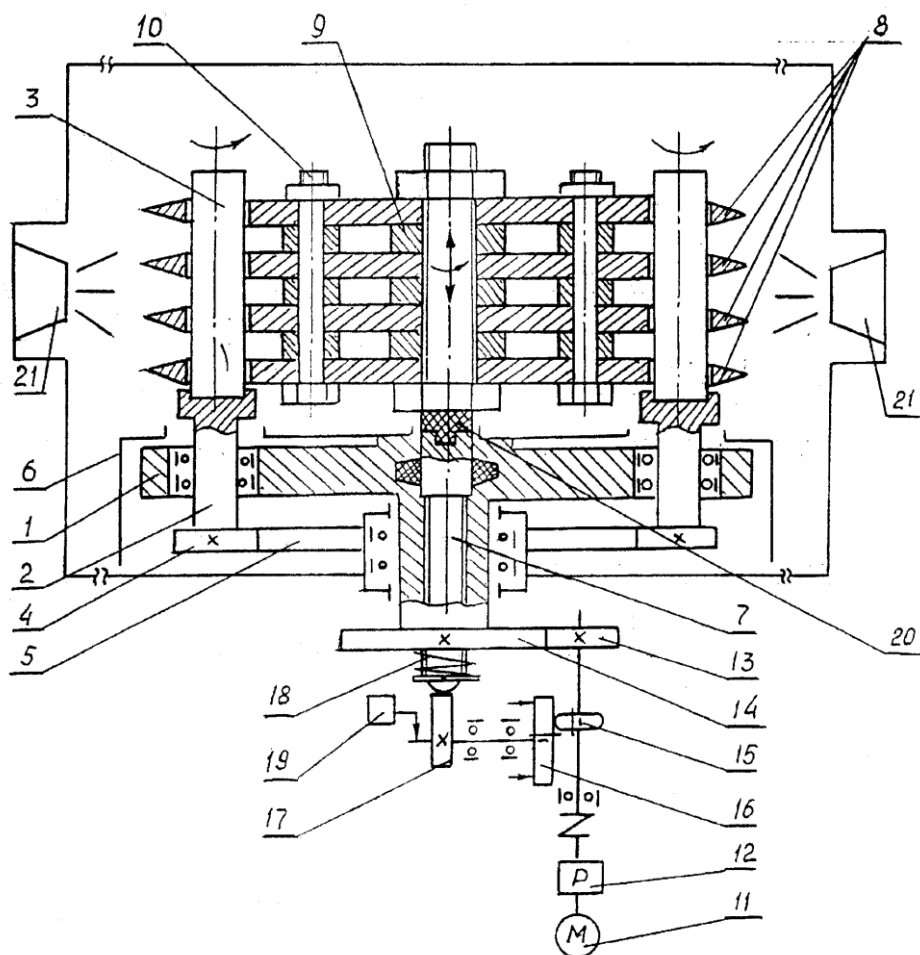


Рис.3 - Схема устройства для нанесения мультислойных полосчатых покрытий на цилиндрические детали

Устройство работает следующим образом. Предварительно перемещением ведущего диска 15 устанавливается необходимое передаточное отношение лобового вариатора, исходя из условия, что один оборот кулачка 17 соответствует одному циклу нанесения полосчатого покрытия, а также выставляется время импульса и паузы каждого испарителя 21. При включении левого испарителя 21 включается привод поворотного держателя устройства. Вращение от электродвигателя 11 через редуктор 12 и шестерни 13 и 14 передается на водило 1. При вращении водила 1 шестерни-сателлиты 4 держателей 2, обкатываясь по неподвижной центральной шестерне 5, обеспечивают вращение обрабатываемых деталей 3 вокруг своей оси с одновременным вращением вокруг оси водила 1. Одновременно через лобовой вариатор вращение получает кулачок 17. После осаждения покрытия первого материала левый испаритель 21 выключается, а кулачок 17 перемещает вал поворотного держателя 7 с пакетом дисков 8 в верхнее положение. В это время происходит откачка вакуумной камеры от остатков реакционного газа и паров металла. Затем в работу включается правый испаритель 21, который обеспечивает осаждение слоя второго материала, после чего этот испаритель выключается, а вал поворотного держателя 7 с пакетом дисков 8 под воздействием кулачка 17 и пружины 18 возвращается в нижнее положение. Этот цикл нанесения слоев двух материалов повторяется такое число раз, которое необходимо для нанесения полосчатого покрытия заданной толщины.

Таким образом, конструкция вышеописанных устройств обеспечивает реализацию технологии формирования мультислойных полосчатых покрытий на деталях различной конфигурации при использовании промышленных установок вакуумно-плазменного нанесения покрытий. При этом обеспечивается согласование движения обрабатываемой детали с режимом работы испарителей, что позволяет полностью автоматизировать процесс нанесения покрытия.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Емельянов В.А., Иванов И.А., Мрочек Ж.А. Вакуумно-плазменные способы формирования защитных и упрочняющих покрытий. – Мн.: Издательство НПО «Интеграл», 1998. – 285 с.
2. Фролов И.С., Мрочек Ж.А., Иващенко С.А. Повышение триботехнических характеристик деталей из немагнитных материалов нанесением композиционных вакуумно-плазменных покрытий // Материалы международной 53-й науч.-техн. конф. проф., преподав., научн. работн. и аспирантов Белорус. госуд. политехн. академии: В 4-х ч. – Мн., 1999. - Ч. 1 - С. 179.
3. Конструирование композиционных вакуумно-плазменных покрытий для особых условий эксплуатации / И.С. Фролов, С.А. Иващенко, Ж.А. Мрочек // Машиностроение. – Мн., 2012. – Вып. 26. – Т.2. - С. 95-100.

УДК 621.793

Шелег В.К.<sup>1)</sup>, Белоцерковский М.А.<sup>2)</sup>, Коновалова Е.Ф.<sup>1)</sup>

### **ВЫБОР РЕЖИМОВ ИГЛОФРЕЗЕРОВАНИЯ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ МАКСИМАЛЬНЫХ ЗНАЧЕНИЙ ШЕРОХОВАТОСТИ ОБРАБАТЫВАЕМОЙ ПОВЕРХНОСТИ**

*1) Белорусский национальный технический университет*

*2) Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси*

*Минск, Беларусь*

*В статье представлены результаты исследований, посвященных определению режимов иглофрезерования, обеспечивающих максимальную величину шероховатости поверхностей сталей, чугунов и латуни ЛС64-2. Предполагается использование иглофрезерования для подготовки поверхности металлов перед газотермическим напылением.*

**Введение.** Технологию иглофрезерования применяют, как правило, для удаления окалины, зачистки сварных и литейных швов, подготовки поверхности под нанесение гальванопокрытий, а также для упрочнения поверхности на глубину до 0,3 мм [1]. Учитывая простоту реализации иглофрезерования, возможность автоматизации, экономические и экологические показатели, было предложено использовать этот метод для подготовки поверхности металлов перед газотермическим напылением.

Предварительная обработка поверхности основы в технологиях газотермического напыления является одним из основных факторов, обеспечивающих высокую прочность сцепления покрытия с основой, т.к. в большинстве случаев соединение напыленного покрытия с материалом детали происходит в результате механического зацепления. Для того, чтобы напыляемые частицы, которые ударяются и деформируются об основу, прочно сцеплялись с напыляемой поверхностью, основа должна иметь определенную шероховатость. Как правило, рекомендуют методы подготовки поверхности, которые обеспечивают величину  $Ra$  не менее 15 – 20 мкм [2]. Таким образом, основной задачей исследований явилось определение режимов иглофрезерования, позволяющих получить максимальные значения шероховатости обрабатываемых металлических поверхностей.

**Материалы, оборудование и методика исследования.** Обрабатываемый материал: конструкционные стали – сталь 45 (ГОСТ 1050-88), 12ХН3А (ГОСТ 4543-71), чугуны СЧ15, СЧ25 (ГОСТ 1412-85), ВЧ50 (ГОСТ 7293-85) и латунь ЛС64-2 (ГОСТ 1020-77). Из указанных материалов были изготовлены призматические образцы (15x20x10 мм). Обработку плоских поверхностей образцов иглофрезерованием выполняли на горизонтально-фрезерном станке 6Н82Г. Для обработки стали и чугуна использовали иглофрезу (рисунок 1) диаметром  $D = 125$  мм, шириной  $B = 20$  мм и плотностью набивки проволоочных элементов 75...85%. Диаметр единичного проволоочного элемента  $d = 0,3$  мм, вылет  $L = 20$  мм. Для обработки латуни применяли иглофрезу диаметром  $D = 105$  мм.

Для оценки шероховатости поверхности после иглофрезерования был использован, действующий в настоящее время комплект международных норм, характеризующих геометрическую структуру обработанной поверхности – ISO 3274:1997 и ISO 4287:1998. Определяемый параметр –  $Ra$  – средняя арифметическая высота профиля (arithemical mean deviation of the assessed profile).