

*Н.К. Резниченко, д.т.н., проф.*

*И.Я. Мовшович, д.т.н., проф.*

*Украинская инженерно-педагогическая академия, г. Харьков*

*Е.А. Фролов, д.т.н., проф.*

*Полтавский национальный технический университет имени Юрия Кондратюка*

## **ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ИЗГОТОВЛЕНИЕ БАЗОВЫХ ДЕТАЛЕЙ МАШИН С ДЕТОНАЦИОННО-ГАЗОВЫМ НАНЕСЕНИЕМ УПРОЧНЯЮЩИХ ПОКРЫТИЙ**

*В статье изложены требования, предъявляемые к проектированию и изготовлению деталей машин с детонационно-газовым покрытием, приведены используемые порошковые материалы и технология детонационно-газового уплотнения, механическая обработка, контроль качества и приемка упрочненных деталей.*

*В результате на поверхности упрочненных деталей образуется слой покрытия, обладающий новыми свойствами, отличными от свойств материала деталей.*

**Ключевые слова:** *упрочняющее покрытие, порошковые материалы, технология механической обработки, механический и пылевой износ.*

### **Введение.**

Детонационно-газовые покрытия успешно применяются в машиностроении, авиационной промышленности.

Детонационно-газовое упрочнение деталей предназначено для повышения их служебно-эксплуатационных характеристик путем высокоскоростного импульсного напыления на их рабочие поверхности порошковых материалов преимущественно в расплавленном состоянии.

### **Обзор последних источников исследований и публикаций.**

Основу номенклатуры деталей составляют детали авиационных газотурбинных двигателей, двигатели внутреннего сгорания и детали фонтанной аппаратуры для нефтедобычи, работающие в условиях повышенных температур, агрессивных сред и интенсивного механического и пылевого износа [1].

Состояние исследований вопросов нанесения упрочняющих покрытий на детали машин.

Методы детонационно-газового напыления являются наиболее перспективным направлением как с точки зрения обеспечения качества покрытий (повышения стойкости инструмента и деталей машин), так и технико-экономических показателей их получения.

Обзор литературных источников показал, что, несмотря на преимущества наносимых покрытий, внедрение детонационно-газового метода осуществляется очень медленно. Причиной тому является:

- высокий уровень шума (от 120 до 146 дБ), что требует строительства отдельных боксов;
- отсутствие единых технологических рекомендаций по выбору режимов напыления различных порошковых материалов.

### **Постановка задачи.**

Поиск новых путей интенсификации процесса покрытий на сложнопрофильные поверхности требует совершенствования технологии детонационно-газового метода напыления, что и является актуальной задачей.

### **Основное содержание работы.**

При проектировании конструкции деталей с детонационным покрытием следует учитывать:

- Покрытие можно наносить только на наружные открытые поверхности.
  - Форма поверхности должна позволять производить на неё напыление под углом  $90^{\circ} \pm 15^{\circ}$ .
  - Зазоры, отверстия, карманы и другие труднодоступные места детонационно-газовому упрочнению не подлежат.
  - Толщина теплозащитного керамического покрытия должна быть в пределах 1-1,5 мм.
  - Толщина термостойкого эрозийноустойчивого металло- керамического покрытия должна быть в пределах 0,5 - 0,8 мм.
  - Толщина износостойкого металлического покрытия должна быть в пределах 0,1 - 0,3 мм.
  - Толщина антифрикционного приработочного металлического покрытия должна быть в пределах 0,03 - 0,05 мм.
  - Для повышения прочности сцепления покрытия с основой напыление проводят по подслою, толщина которого составляет 0,05 - 0,1 мм.
  - Детали под детонационно-газовое упрочнение могут быть изготовлены из стали, чугуна, алюминиевых сплавов и других металлов и должны иметь твердость поверхности не более 40-45 НК.С.
  - Термообработка деталей после детонационно-газового упрочнения не допускается.
  - Шероховатость поверхности под упрочнение может быть любой, отклонения от геометрии поверхности (в случае последующей механической обработки покрытия) не должны превышать 10% от толщины покрытия [2,3].
  - Кромки упрочняемой поверхности должны иметь округления радиусом не менее 1 мм, допускается применение фасок размером  $18^{\circ}$  -  $45^{\circ}$ .
- Подготовка деталей под упрочнение.
- Детали должны быть окончательно механически обработаны кроме мест, подлежащих упрочнению. В этих местах должен быть удалён слой металла, равный толщине упрочняющего покрытия.
  - Подготовка поверхности, хранение и транспортирование подготовленных под упрочнение деталей проводится в помещении при температуре не ниже  $18^{\circ}\text{C}$  и относительной влажности не выше 75%. При этом допускается наличие в окружающей среде веществ, способствующих коррозии упрочняемых поверхностей.
  - Поверхности, подлежащие упрочнению, подвергаются струйно-абразивной обработке в специальной камере при давлении сжатого воздуха 4-6 кгс/см<sup>2</sup>, расстояние от среза сопла воздушного пистолета до обрабатываемой поверхности 40-70 мм, угол наклона потока 60 -  $90^{\circ}$ .
  - Поверхности деталей, не подлежащие упрочнению, защищаются от воздействия струйно-абразивной обработки (а также последующего напыления) специальными экранами.
  - После струйно-абразивной обработки деталь обдувается с воздухом для удаления частиц абразива.
  - Качество подготовки поверхности детали под упрочнение контролируется внешним осмотром с применением лупы 4-кратного увеличения, шероховатость поверхности должна быть Rz 80-100 по ГОСТ 2789.
- Порошковые материалы, используемые для нанесения покрытий.
- Перечень порошковых материалов, используемых для детонационно-газового напыления, и их назначение приведены в приложении Б к ТУ.

- Порошковые материалы должны подвергаться входному контролю по сертификатам на соответствие техническим условиям (ГОСТам) по гранулометрическому и химическому составам.

- При отсутствии сертификата проводятся определение гранулометрического и химического составов по ГОСТам 18318, 12344, 12352, 12356.

- Порошковые материалы перед использованием просушиваются при температуре для металлических и металлокерамических покрытий — 120-150°C, для керамических покрытий - 250-300°C в течение не менее 1,5 часов на противнях из нержавеющей стали и периодически перемешиваются. Толщина слоя насыпки порошка при этом должна быть не более 15 мм.

- Приготовление механических смесей порошков производится в специальном барабане, для смешивания использовать смесительные тела (ерши, шары и т.п.).

Материалы для струйно-абразивной обработки.

Для струйно-абразивной обработки применяется сухой, незагрязненный маслом, ржавчиной и другими веществами острогранный абразивный материал - шлифзерно зернистостью от 20П до 32П по ГОСТ 3847.

Газы.

- В качестве рабочих газов применяются: ацетилен технический по ГОСТ 5457, кислород газообразный по ГОСТ 5583, азот газообразный по ГОСТ 9293 и сжатый воздух по ГОСТ 9.010.

- Сжатый воздух, используемый для струйно-абразивной обработки, должен быть очищен от масла, влаги и быть не ниже 7-9 классов загрязненности по ГОСТ 17433.

- Методы измерения загрязнённости сжатого воздуха по ГОСТ 24484.

Детонационно-газовое упрочнение.

- Длительность перерыва между струйно-абразивной обработкой и напылением упрочняющего покрытия не должна превышать 6-8 часов.

- Перед напылением поверхность детали должна быть сухой и чистой и соответствовать первой степени обезжиривания по ГОСТ 9.402.

- Упрочняемая деталь с помощью специальной оснастки закрепляется на манипуляторе, обеспечивающем необходимую свободу перемещения относительно ствола детонационной установки, таким образом, чтобы исключить препятствия на пути потока напыляемых частиц.

- Поверхности детали, не подлежащие напылению, должны быть защищены металлическими экранами.

- Дистанция напыления в зависимости от типа напыляемого порошкового материала и режима напыления колеблется от 35 до 200 мм.

- Подслой и основное покрытие напыляются с одной установки послойно, при этом необходимая толщина покрытия достигается путем циклического напыления единичных пятен покрытия со смещением одного пятна относительно другого на шаг, не превышающий половину диаметра ствола установки — до 10 мм.

- Параметры технологического режима детонационно-газового напыления определяются технологическим процессом, разрабатываемым на каждую конкретную деталь.

- Припуск под шлифование покрытия должен быть не менее 0,1 на сторону.

- Для охлаждения напыляемого покрытия следует применять обдув струёй сжатого воздуха.

- Допускается в процессе напыления покрытия делать кратко-временные (до 10 минут) паузы между нанесением отдельных слоев с целью охлаждения внешнего осмотра и измерения толщины напыляемого покрытия [3].

Механическая обработка деталей с покрытием.

- После детонационно-газового упрочнения детали с покрытиями при необходимости следует подвергать механической обработке с целью обеспечения необходимых раз-

меров и шероховатости упрочнённых поверхностей в соответствии с требованиями конструкторской документации.

- Механической обработке подвергаются износостойкие покрытия, работающие на трение в контакте с рабочими поверхностями сопряженных деталей. Теплозащитные покрытия, как правило, мехобработке не подлежат.

- Механическая обработка детонационно-газовых покрытий осуществляется методом шлифования.

- Для шлифования следует применять абразивные материалы; электрокорунд белый и нормальный, электрокорунд легированный хромом и титаном (марок 91А и 92А), карбид кремния зелёный (карборунд), а также алмаз.

- Ввиду высокой твёрдости покрытий следует применять шлифовальные круги с керамическими связками средней мягкости (СМ1, СМ2) и мягкие. Алмазные круги, как правило, на металлической связке.

- Поперечная подача при шлифовании должна быть в пределах 0,01—0,04мм/дв.ход.

- Следует применять интенсивное охлаждение 0,3%-ным водным раствором кальцинированной соды.

- Другие параметры режима шлифования должны подбираться для каждой конкретной детали.

Контроль качества и приемка упрочненных деталей.

- Контроль качества упрочнённых деталей выполняется в соответствии с требованиями ГОСТ 27953 и ГОСТ 9.304.

- Внешний вид напылённой и прошлифованной детали контролируется с применением лупы 4-кратного увеличения ГОСТ 25706. Покрытие должно быть равномерным, без трещин, раковин, сколов, отслоений (вздутий). Цветовые оттенки не нормируются.

- Шероховатость поверхности покрытия должна соответствовать требованиям конструкторской документации и контролироваться путём визуального сравнения с образцами шероховатости по ГОСТ 2789 [4].

- Обмеры упрочнённой детали следует производить универсальными измерительными средствами. Контроль толщины напылённого покрытия осуществлять путём определения размеров детали до и после напыления и последующей мехобработки.

- Контроль качества покрытия по показателям, определяемым при разрушающих методах контроля, а именно: прочность сцепления покрытия с основой и его твёрдость, следует проводить на образцах-свидетелях.

- Должно быть изготовлено по три образца-свидетеля на партию однотипных деталей, упрочняемых за смену (одним и тем же покрытием).

- Образцы-свидетели должны быть изготовлены из того же материала, пройти ту же термообработку и иметь такую же твёрдость, что и упрочняемые детали. Детонационно-газовое упрочнение и последующая мехобработка покрытия на образцах-свидетелях должны быть выполнены по той же технологии, что и упрочняемые детали.

- Образцы-свидетели представляют собой штифтовые образцы с углом конусности 30°.

Покрытие толщиной не менее 0,3 мм напыляется на торец конусного штифта, вставленного и закреплённого во втулку, затем штифт отрывается от покрытия на разрывной испытательной машине Р-05 ГОСТ 7855, при этом измеряется усилие отрыва. Прочность сцепления покрытия с основой (адгезия) определяется как отношение усилия отрыва к площади торца

штифта [5].

- Для определения твёрдости покрытий использовать втулки со штифтовых образцов, прошедших адгезионные испытания.

- Твёрдость покрытия определяется по методу Виккерса в соответствии с ГОСТ 2999. Испытательная нагрузка - 5 кгс.

- При необходимости проведения исследования микроструктуры покрытия, рентгеноструктурного и микрорентгеноспектрального анализов, а также других исследований следует использовать те же образцы.

В случае выявления некачественного покрытия оно должно быть удалено механическим способом (например, сошлифовано) и нанесено повторно.

#### **Выводы.**

Метод детонационно-газового нанесения покрытий является наиболее перспективным как сточки зрения обеспечения качества покрытий, так и технико-экономических показателей их получения; а именно:

- прочность сцепления покрытия с изделием достигает от 180 до 360 МПа, что на порядок выше, чем у покрытий, наносимых другими методами;

- толщина наносимого слоя лежит в пределах 0,2-0,6 мм;

- температура деталей при напылении зависит от ее размеров и не превышает 530 К, что соответствует низкому отпуску;

- возможность плавного и устойчивого регулирования параметров

процесса в широком диапазоне позволяет для каждого материала установить наиболее оптимальные режимы напыления.

#### *Литература*

1. Мовшович И.Я., Резниченко Н.К., Горелик Б.В. Нанесение упрочняющих покрытий: монография.- Харьков: Украинская инженерно-педагогическая академия, 2012,- 171 с.

2. Богуслав В.А., Долматов А.И., Мовшович И.Я., др. Повышение ресурса модулей двигателей технологическими методами.- Запорожье: ОАО «Мотор Сич», 2003, - 253.

3. Верецака А.С., Третьяков И.П. Режущий инструмент с износостойкими покрытиями.- М.: Машиностроение, 1986,- 192с.

4. Этингант А.А. Исследование влияния технологических параметров способов конденсации вещества в вакууме с ионной бомбардировкой на работоспособность режущих инструментов: Дис. канд. техн. наук.- М.: 1981,- 190с.

5. Жолткевич Н.Д., Мовшович И.Я., Кобзев А.С., Горбулин В.П., др. Обратимая технологическая оснастка для ГПС.- Киев: «Техника», 1992,- 215с.

© М.К. Резніченко, І.Я. Мовшович, Є.А. Фролов

УДК 621. 7.793:621.65.073

*М.К. Резніченко, д.т.н., проф.*

*І.Я. Мовшович, д.т.н., проф.*

*Українська інженерно-педагогічна академія, м. Харків*

*Є.А. Фролов, д.т.н., проф.*

*Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка*

### **ПРОЕКТУВАННЯ ТА ВИГОТОВЛЕННЯ БАЗОВИХ ДЕТАЛЕЙ МАШИН З ДЕТОНАЦІЙНО-ГАЗОВИМ НАНЕСЕННЯМ ЗМІЦНЮЮЧИХ ПОКРИТТІВ.**

У статті викладені вимоги, пропонувані до проектування і виготовлення деталей машин з детонаційно-газовим покриттям, наведені використовувані порошкові матеріали і технологія детонаційно-газового ущільнення, механічна обробка, контроль якості і приймання зміцнених деталей.

В результаті на поверхні зміцнених деталей утворюється шар покриття, що володіє новими властивостями, відмінними від властивостей матеріалу деталей.

**Ключові слова:** зміцнюючі покриття, порошкові матеріали, технологія механічної обробки, механічний і пиловий знос.

UDC 621. 7.793:621.65.073

*M.K. Reznichenko, Doctor of Science, Professor.*

*I.Y. Movshovich, Doctor of Science, Professor.*

*Ukrainian engineering pedagogics academy, Kharkov*

*E.A. Frolov, Doctor of Science, Professor.*

Poltava national technical Yuri Kondratyuk university

## **DESIGN AND MANUFACTURE OF BASIC MACHINE PARTS WITH DETONATION-GAS DEPOSITION OF HARDENING COATINGS**

*The article outlines the requirements for the design and manufacture of machine parts with detonation gas-coated. The used powder materials and technology detonation-gas seals, machining, quality control and acceptance of hardened parts are listed.*

*As a result, on the surface of hardening details of the coating layer is formed possessing new properties different from the properties of the workpiece material.*

**Keywords:** *hardening coating, powder materials, technology of machining, mechanical abrasion and dust*