

# УПРОЧНЯЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ И ПОКРЫТИЯ

№ 10 (130)  
октябрь  
2015

Издается с января 2005 г.

**Главный редактор**  
д.т.н., проф.  
Ю.В. ПАНФИЛОВ

**Председатель редакционного  
совета**

д.т.н., проф., заслуженный  
деятель науки и техники РФ  
В.Ф. БЕЗЪЯЗЫЧНЫЙ

**Заместитель главного  
редактора**

д.ф.-м.н., проф.  
В.Ю. ФОМИНСКИЙ

**Заместители председателя  
редакционного совета:**

д.т.н., проф.  
В.Ю. БЛЮМЕНШТЕЙН

д.т.н., проф.  
А.В. КИРИЧЕК

д.т.н., проф.  
О.В. ЧУДИНА

**Редакционный совет:**

Ю.П. АНКУДИМОВ, к.т.н., доц.  
А.П. БАБИЧЕВ, д.т.н., проф.

В.П. БАЛКОВ, к.т.н.

В.М. БАШКОВ, к.т.н., доц.

А.И. БЕЛИКОВ, к.т.н., доц.

А.И. БОЛДЫРЕВ, д.т.н., проф.

С.Н. ГРИГОРЬЕВ, д.т.н., проф.

В.А. ЗЕМСКОВ, к.т.н.

С.А. КЛИМЕНКО, д.т.н., проф.

Ю.Р. КОПЫЛОВ, д.т.н., проф.

Н.К. КРИОНИ

В.А. ЛЕБЕДЕВ, к.т.н., проф.

В.В. ЛЮБИМОВ, д.т.н., проф.

Е.Д. МАКАРЕНКО

Б.Я. МОКРИЦКИЙ, д.т.н., проф.

Ф.И. ПАНТЕЛЕЕНКО, д.т.н., проф.

Х.М. РАХИМЯНОВ, д.т.н., проф.

Б.П. САУШКИН, д.т.н., проф.

В.П. СМОЛЕНЦЕВ, д.т.н., проф.

А.М. СМЫСЛОВ, д.т.н., проф.

Г.А. СУХОЧЕВ, д.т.н., проф.

В.П. ТАБАКОВ, д.т.н., проф.

В.А. ШУЛОВ, д.ф.-м.н., проф.

М.Л. ХЕЙФЕЦ, д.т.н., проф.

**Редакция:**

И.Н. МЫМИРИНА

Т.В. ПАРАЙСКАЯ

Журнал распространяется по подписке,  
которую можно оформить в любом  
почтовом отделении (индексы  
по каталогам: "Роспечать" 85159,  
"Пресса России" 39269, "Почта России"  
60252) или в издательстве.  
Тел.: (499) 269-52-98,  
268-47-19.

Факс: (499) 269-48-97.

E-mail: realiz@mashin.ru, utp@mashin.ru

Журнал зарегистрирован  
в Министерстве РФ по делам печати,  
телерадиовещания и средств массовых  
коммуникаций. Свидетельство о  
регистрации  
ПИ № 77-17733 от 09.03.04 г.

## СОДЕРЖАНИЕ



### ОБЩИЕ ВОПРОСЫ УПРОЧНЕНИЯ

- Балдаев Л.Х., Хамицев Б.Г., Гавриленко Т.П., Балдаев С.Л., Ахметгареева А.М., Исмагилова Р.Р.** Абразивная подготовка напыляемой поверхности с помощью детонационной установки .....3
- Кокорева О.Г.** Разработка модели способа обработки тяжело нагруженных поверхностей деталей машин .....8
- Щедрин А.В., Козлов А.Ю., Воронков В.И.** Теоретико-экспериментальное исследование охватывающего поверхностного пластического деформирования в условиях противодействия металлоплакирующих смазочных материалов ..... 11



### МЕХАНИЧЕСКАЯ УПРОЧНЯЮЩАЯ ОБРАБОТКА

- Леванцевич М.А., Максимченко Н.Н.** Улучшение эксплуатационных характеристик деталей поверхностным модифицированием методом плакирования гибким инструментом .....16
- Тихонов А.А., Тихонов Ал.А.** Формирование шероховатости поверхности при гидроабразивной обработке .....21



### ХИМИЧЕСКАЯ, ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКАЯ И ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА

- Боровик Д.И., Пантелеенко Ф.И., Столин А.М.** Получение композиционных электрохимических покрытий на железной основе, упрочненных СВС-частицами с последующей лазерной обработкой .....25
- Веселовский А.А., Ерофеев В.В.** Повышение срока службы деталей из серого чугуна для телескопических и поршневых гидроцилиндров .....29
- Рослякова Л.И., Росляков И.Н.** Моделирование комплекса легирования стали при цементации, влияющей на образование карбидной фазы .....32
- Степанов М.С., Домбровский Ю.М.** Формирование карбидного покрытия при микродуговом молибденировании стали .....34



### ПОЛИМЕРНЫЕ И КОМПОЗИЦИОННЫЕ ПОКРЫТИЯ

- Гончаров С.В., Алексеенко В.Г.** Технология ремонта корпуса дифференциала автоматической коробки перемены передач переднеприводного автомобиля с применением полимерных композиционных материалов .....39
- Михальченков А.М., Лушкина С.А., Михальченкова М.А.** Восстановление деталей почвообрабатывающих машин абразивостойким дисперсионно-упрочненным композитом на основе эпоксидной смолы .....43

Перепечатка, все виды копирования и воспроизведения материалов,  
публикуемых в журнале "Упрочняющие технологии и покрытия", допускаются со  
ссылкой на источник информации и только с разрешения редакции

Журнал входит в Перечень утвержденных ВАК РФ изданий  
для публикации трудов соискателей ученых степеней



УДК 621.793

<sup>1</sup>Л.Х. Балдаев, <sup>1</sup>Б.Г. Хамицев, <sup>2</sup>Т.П. Гавриленко, <sup>2</sup>С.Л. Балдаев, <sup>1</sup>А.М. Ахметгареева, <sup>1</sup>Р.Р. Исмагилова  
(<sup>1</sup> ООО "Технологические системы защитных покрытий", г. Щербинка, <sup>2</sup> ООО НТЦ "Детонация", г. Новосибирск)  
E-mail: neuimin@tspc.ru

## Абразивная подготовка напыляемой поверхности с помощью детонационной установки

Исследована возможность использования детонационного оборудования не только для получения слоя покрытия, но и для абразивной обработки напыляемой поверхности в целях ее активации перед напылением. Предложены различные способы абразивной подготовки поверхности подложки с помощью детонационной установки.

**Ключевые слова:** детонационное напыление, пескоструйная обработка, абразивные частицы, активация поверхности, детонационная волна, микрошлифпорошки.

*Ability of using detonation spray method to simultaneous coating deposition and abrasive activation of substance surface was investigated. Different technologies of abrasive treatment of substance surface by using D-Gun were considered.*

**Keywords:** D-Gun spraying, sandblasting, abrasive particles, surface activation, detonation wave, microcrystalline grinding powders.

### Введение

Качество подготовки поверхности изделия перед нанесением газотермических покрытий играет весьма существенную роль в технологии получения защитного слоя. От эффективности подготовки поверхности, степени ее активации во многом зависит основная характеристика покрытия — прочность сцепления с подложкой. Наиболее распространенным способом подготовки напыляемой поверхности деталей является пескоструйная обработка.

При традиционной обработке деталей в камере пескоструйной установки частицы корунда с помощью струи сжатого воздуха направляются на напыляемую поверхность и активируют ее, создавая требуемый микрорельеф.

Выделение этапа подготовки поверхности в отдельную операцию приводит к появлению большого промежутка времени (до нескольких часов) между моментом получения активированной поверхности при абразивно-струйной очистке и моментом непосредственного напыления покрытия. За это время происходит переход поверхности в равновесное состояние. Кроме того, снижается производительность производственного процесса в целом.

В ряде случаев данный способ подготовки поверхности оказался вообще неприемлемым из-за значительных остаточных напряжений, возникающих при его исполь-

зовании. Под действием этих напряжений происходит сильное коробление деталей небольшой толщины, например тонких пластин, лент фольги и т. п. (рис. 1).

Данная работа посвящена исследованию возможности использования детонационного оборудования не только для получения слоя покрытия, но и для абразивной подготовки напыляемой поверхности.

### Используемое оборудование и материалы

Абразивная подготовка напыляемой поверхности и нанесение покрытий проводились на автоматической детонационной установке "Обь", оснащенной двумя по-

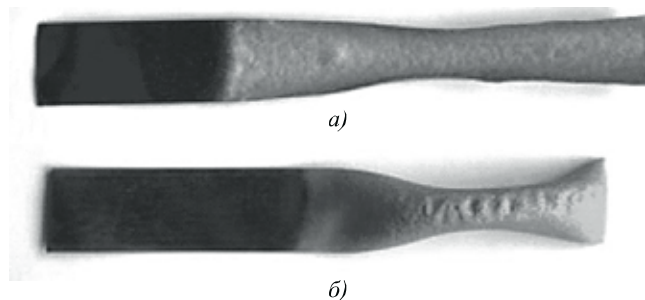


Рис. 1. Коробление ленты фольги после обработки в пескоструйной камере:

а — никромовая фольга; б — медная фольга

рошковыми дозаторами. Конструкция установки позволяет располагать каждый из дозаторов в различных местах по длине ствола, а также обеспечить их попеременную или одновременную работу. Варьируя режимами работы установки путем изменения места ввода порошка в ствол, степени заполнения ствола рабочей взрывчатой смесью газов, грануляции используемого порошка, устанавливалась требуемая температура частиц на выходе из ствола, т. е. контролировалось их агрегатное состояние.

В качестве абразивного материала для активации поверхности подложки использовались корундовые микрошлифпорошки марки 25А с зернистостью F120, F360, F400, F500 и F600 (ТУ 3980-075-00224450—99).

Гранулометрический состав порошков исследовался методом лазерной дифракции в водных дисперсиях на приборе Analysette 22 (Fritsch).

Исследования микрорельефа напыляемой поверхности после абразивной подготовки, а также структуры напыляемого покрытия проводились на оптическом микроскопе Zwick/Roel Zhм. Механические свойства напыленных покрытий оценивались по прочности сцепления с подложкой ( $\sigma_{сц}$ ), определяемой по штифтовой методике, а также измерением твердости по Виккерсу (HV 50).

### Результаты исследований

Средний размер абразивных частиц в обычной пескоструйной установке составляет около 1 мм. При относительно невысоких скоростях этих частиц при встрече с подложкой их кинетической энергии достаточно для возникновения больших остаточных напряжений и появления значительных деформаций обрабатываемых поверхностей.

В работе [1] описывается способ подготовки поверхности детали перед напылением детонационного покрытия, основанный на воздействии на напыляемую поверхность потока абразивных частиц, формируемого с помощью установки детонационного напыления. При этом подготовка поверхности осуществляется частицами порошка, который в дальнейшем используется для напыления покрытия. Однако режимы работы детонационной установки подбираются такие, чтобы температура частиц порошка при выходе из ствола не достигала температуры плавления и они сохраняли необходимую твердость для получения требуемого микрорельефа. После завершения этапа подготовки поверхности производят перенастройку установки на режимы работы, при которых частицы порошка при выходе из ствола нагреваются до температуры плавления, и начинают процесс напыления покрытия.

В связи с тем что размер частиц корунда, применяемого для напыления детонационных покрытий, как правило, не превышает 50 мкм, кинетическая энергия, кото-

рой они обладают в момент встречи с подложкой при режимах абразивной подготовки поверхности, несмотря на высокие скорости значительно меньше энергии частиц в обычной пескоструйной установке. Поэтому степень деформации поверхности подложки, а также остаточные напряжения существенно снижаются, что позволяет проводить обработку деталей малой толщины.

На рис. 2 представлены характерные микрорельефы поверхностей подложки после абразивной подготовки в пескоструйной камере и с помощью детонационной установки. Следует отметить, что для большинства напыляемых материалов при незначительной толщине напыленного слоя (до 0,2 мм) высота микронеровностей не оказывает заметного влияния на прочность сцепления покрытия с подложкой.

Промежуток времени между этапами абразивной подготовки напыляемой поверхности и напыления покрытия в описанном выше способе [1] гораздо короче, чем при традиционной абразивной обработке, но все же вполне достаточен для перехода ее в равновесное состояние и значительного снижения степени активации. Для перехода от этапа подготовки поверхности к этапу нанесения покрытия необходимо остановить работу детонационной установки и перенастроить ее на режим непосредственного напыления, на что в зависимости от конструкции установки может потребоваться до 10 мин.

Для сокращения промежутка времени между этапами подготовки поверхности и нанесения покрытия авторами был предложен способ подготовки поверхности из-

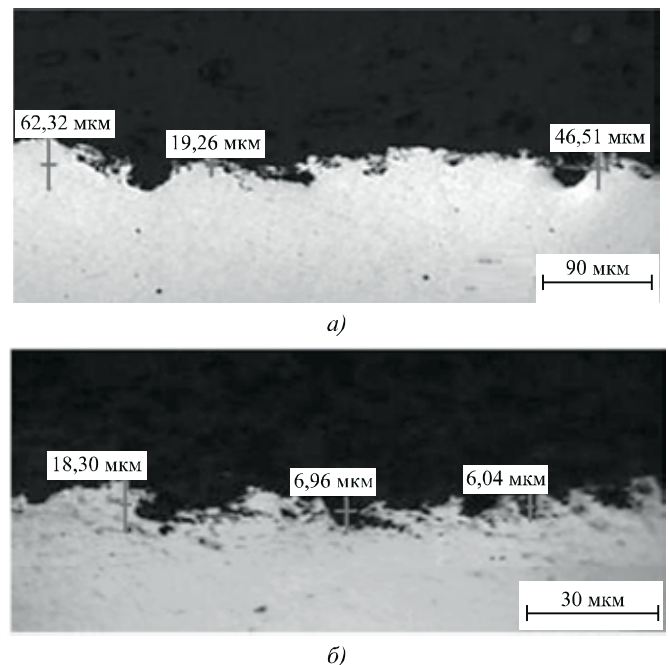


Рис. 2. Характерные микрорельефы поверхности подложки после абразивной подготовки:

*a* — в пескоструйной камере; *б* — с помощью детонационной установки микрошлифпорошком корунда F120

деля перед нанесением покрытия, исключаящий операцию перехода от режима очистки к режиму напыления [2]. Указанная цель достигается тем, что порошок для очистки напыляемой поверхности подается из отдельного дозатора, расположенного на таком расстоянии от среза ствола, чтобы очищающие частицы при встрече с подложкой находились в твердом состоянии и обеспечивали максимальную степень активации. После завершения этапа подготовки поверхности данный дозатор отключается и одновременно, без остановки работы детонационной установки, включается дозатор с порошком для непосредственного напыления слоя покрытия. Таким образом, абразивная подготовка поверхности и напыление покрытия осуществляются на одних и тех же режимах.

В качестве абразивного материала для очистки использовался корунд марки 25А с зернистостью от F120 до F400 в зависимости от допустимой степени коробления детали. Реализация описываемого способа осуществлялась на детонационной установке «Обь», система управления которой позволяет обеспечить выполнение указанных этапов в требуемой последовательности и с заданной продолжительностью.

В целях еще большего сокращения промежутка времени между моментом активации поверхности и моментом начала формирования слоя покрытия был разработан способ детонационного напыления [3] с синхронной абразивной обработкой напыляемой поверхности, в котором абразивные частицы порошка и напыляемые частицы подаются одновременно с помощью двух дозаторов, расположенных на определенном расстоянии друг от друга на стволе установки (рис. 3).

Частицы напыляемого материала и абразивные частицы для активации напыляемой поверхности, вводимые в ствол в различных местах, разгоняются и

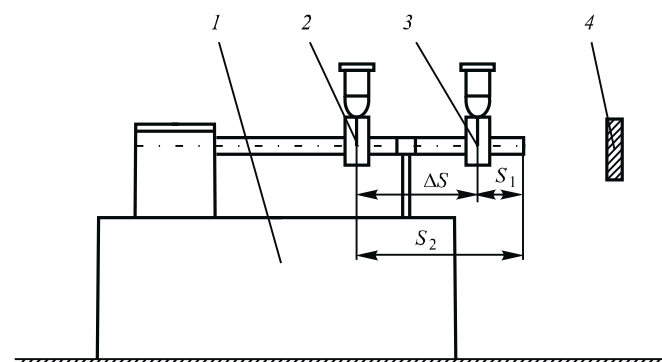


Рис. 3. Схема расположения порошковых дозаторов при напылении с синхронной абразивной подготовкой подложки:

1 — детонационная установка; 2 — дозатор с порошком для напыления покрытия; 3 — дозатор с абразивным материалом для активации поверхности подложки; 4 — подложка;  $S_1$  — глубина загрузки абразивного материала;  $S_2$  — глубина загрузки напыляемого порошка;  $\Delta S$  — расстояние между дозаторами

разогреваются за счет детонационной волны и потока газов, следующего за ней.

Глубины загрузки (расстояние от места ввода в ствол до среза ствола) абразивного материала  $S_1$  и напыляемого порошка  $S_2$ , а также расстояние между дозаторами  $\Delta S$  выбирались таким образом, чтобы абразивные частицы достигали напыляемой поверхности в твердом состоянии, а напыляемые частицы не могли их догнать до момента соударения с подложкой.

Специальное программное обеспечение применяемой детонационной установки «Обь», разработанное на основе методов численного моделирования динамики двухфазного потока [4–6], позволяет определить основные энергетические характеристики частиц различного размера — скорость, температуру, агрегатное состояние как внутри ствола, так и на его срезе. На рис. 4 показана динамика разогрева и разгона абразивных частиц корунда и напыляемых частиц никеля в стволе, а в табл. 1 представлены значения температуры и скорости частиц на выходе из ствола.

Расчеты данных энергетических параметров частиц проводились для варианта работы детонационной установки на следующем режиме:

Состав рабочей взрывчатой смеси	пропан-бутана и кислорода.....	1:4
Длина ствола установки, мм.....		1000
Диаметр ствола, мм.....		22
Степень заполнения ствола взрывчатой смесью, % .....		42
Глубина загрузки абразива, мм .....		200
Глубина загрузки напыляемого материала, мм.....		400

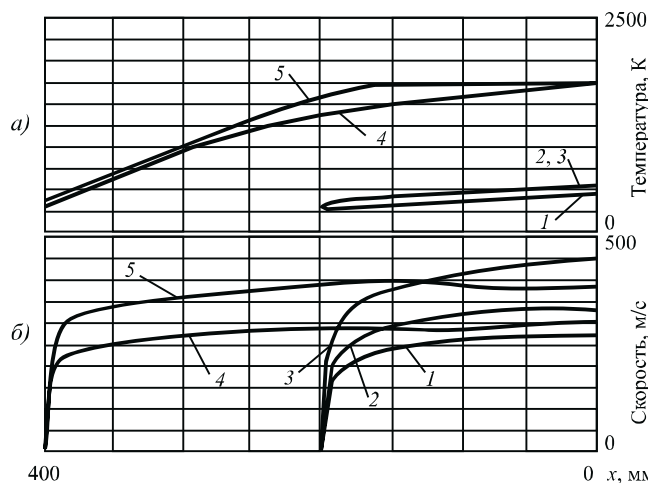


Рис. 4. Изменение температуры (а) и скорости (б) абразивных частиц корунда (F120) и напыляемых частиц никеля в стволе детонационной установки начиная от места ввода (200 и 400 мм от среза ствола) до выхода:

1 — частицы  $Al_2O_3$  (диаметр частиц  $d_q = 120$  мкм); 2 — частицы  $Al_2O_3$  ( $d_q = 80$  мкм); 3 — частицы  $Al_2O_3$  ( $d_q = 40$  мкм); 4 — частицы Ni ( $d_q = 50$  мкм); 5 — частицы Ni ( $d_q = 30$  мкм)



Таблица 1

Расчетные значения температуры и скорости абразивных частиц корунда и напыляемых частиц никеля при выходе из ствола детонационной установки

Характеристика	Материал частиц, мкм				
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (корунд)			Ni	
Диаметр частиц, мкм	120	80	40	50	50
Температура частиц, °С	264	265	203	1455	1455
Скорость частиц, м/с	267	328	446	300	386
Глубина загрузки порошка, мм	200	200	200	400	400

Как видно из графиков, приведенных на рис. 4, и табл. 1, при выбранных месте ввода и размерах абразивных частиц их температура при выходе из ствола не превышает 265 °С, что позволяет частицам находиться в твердом состоянии при встрече с подложкой. При этом их скорость может превышать скорость частиц никеля, формирующих слой покрытия, что обеспечивает возможность достижения абразивными частицами поверхности подложки раньше напыляемых частиц.

Таким образом, с помощью разработанной программы, варьируя параметрами процесса напыления, можно подобрать оптимальные места ввода и размеры абразивных частиц для обеспечения качественной подготовки напыляемой поверхности. В зависимости от допускаемого уровня остаточных напряжений зернистость абразивного материала может измениться от F120 до F600, т. е. от размеров шлифпорошков до размеров микрошлифпорошков.

При активации поверхности подложки с весьма малой толщиной (0,1...0,5 мм), например при нанесении покрытия на фольгу, степень ее коробления настолько велика, что в качестве абразивного материала приходится использовать микрошлифпорошки F500 или

F600. В связи с этим для нанесения керамических покрытий на детали малой толщины был разработан способ абразивной подготовки поверхности изделия при детонационном напылении оксида алюминия [7]. Данный способ заключается в том, что для абразивной подготовки напыляемой поверхности и для напыления покрытия из Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> используется один и тот же порошковый материал, подаваемый из одного дозатора, причем оба процесса осуществляются синхронно. Для реализации данного способа использованы характерные особенности гранулометрического состава корундовых микрошлифпорошков, применяемых для детонационного напыления. Используемый порошковый материал представляет собой мелкие частицы корунда, гранулометрический состав которого определяется техническими условиями на его изготовление и характеризуется кривой распределения частиц по размерам для каждого уровня зернистости. На рис. 5 представлена гистограмма, которая показывает распределение частиц по размерам в микрошлифпорошке Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> с зернистостью F500 (ТУ 3980-075-00224450-99).

Для получения покрытия из данного порошка и одновременной абразивной подготовки поверхности подложки назначены следующие характеристики процесса:

- Состав рабочей взрывчатой смеси газов (Q<sub>C<sub>2</sub>H<sub>2</sub></sub>/Q<sub>O<sub>2</sub></sub>)..... 1,0/2,5
- Расход ацетилен на один цикл (Q<sub>C<sub>2</sub>H<sub>2</sub></sub>), см<sup>3</sup> .....47,0
- Расход кислорода на 1 цикл (Q<sub>O<sub>2</sub></sub>), см<sup>3</sup> ..... 118,2
- Степень заполнения ствола установки рабочей взрывчатой смесью газов, %.....45
- Длина ствола детонационной установки, мм ... 1000
- Глубина загрузки порошка, мм .....200
- Дистанция напыления, мм ..... 110
- Частота стрельбы, выстрел/с..... 4
- Скорость перемещения напыляемой

- поверхности, мм/с .....24
- Толщина единичного слоя, мкм/выстрел ..... 8

Проведение процесса напыления на указанном режиме обеспечивает получение равномерного слоя электроизоляционного покрытия из оксида алюминия толщиной 0,03...0,04 мм. Прочность сцепления покрытия с подложкой из меди составляет 30...45 МПа.

Расчетные значения температуры и скорости частиц различных размеров, содержащихся в порошке корунда с зернистостью F500 при выходе из ствола детонационной установки, представлены в табл. 2.

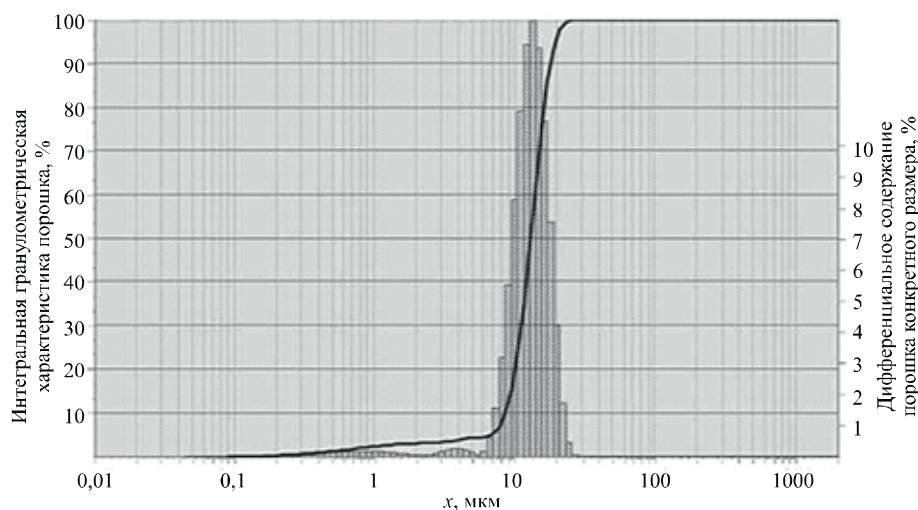


Рис. 5. Распределение частиц по размерам в микрошлифпорошке Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> с зернистостью F500, ТУ 3980-075-00224450-99

Таблица 2

Энергетические характеристики частиц порошка  $Al_2O_3$  с зернистостью F500 на срезе ствола детонационной установки

№ частицы	1	2	3	4	5
Исходный размер частиц, мкм	30,0	20,0	10,0	5,0	2,0
Температура частицы на срезе ствола, °C	1722	2046	2665	2801	1610
Скорость частицы на срезе ствола, м/с	642	764	960	1078	1088

На рис. 6 приведены графики изменения температуры и скорости частиц используемого порошка начиная с момента старта до выхода из ствола установки. Глубина загрузки составляет 200 мм.

Как видно графиков, приведенных на рис. 6, и табл. 2, за время движения в стволе детонационной установки до температуры плавления успевает прогреться лишь определенная часть от общего диапазона частиц — размерами 5...20 мкм.

Самые крупные частицы (более 20 мкм) не прогреваются до температуры, достаточной для формирования покрытия ( $0,9T_{пл}$ ), из-за значительной массы, поэтому, находясь в твердом состоянии и бомбардируя напыляемую поверхность, они создают абразивный эффект.

Частицы размером 5...20 мкм успевают прогреться до температуры плавления и выше (для  $Al_2O_3$   $T_{пл} = 2050$  °C). Именно за счет них в основном происходит формирование напыляемого слоя.

Разгон самых мелких частиц — размером менее 2 мкм — происходит сразу за фронтом детонации, при этом они очень быстро прогреваются и приобретают скорость, равную скорости газа за фронтом детонации.

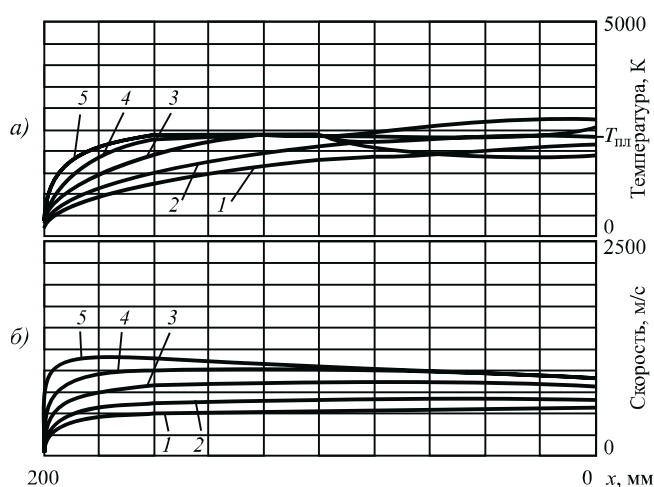


Рис. 6. Динамика разогрева (а) и разгона (б) частиц порошка F500 в стволе детонационной установки:

1 — диаметр частиц  $d_q = 30$  мкм; 2 —  $d_q = 20$  мкм; 3 —  $d_q = 10$  мкм; 4 —  $d_q = 5$  мкм; 5 —  $d_q = 2$  мкм

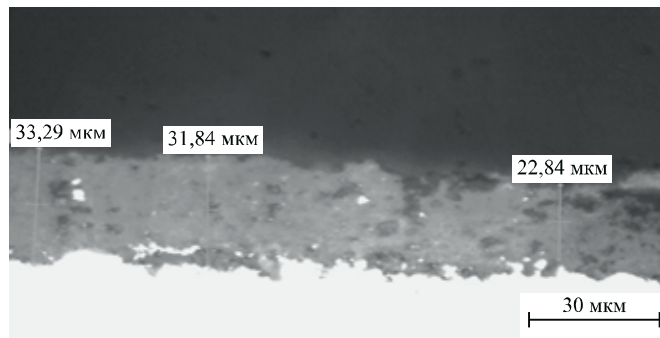


Рис. 7. Характерный вид покрытия из  $Al_2O_3$  при абразивной обработке напыляемой поверхности корундом с синхронным нанесением напыляемого слоя

Когда начинается второй этап разгона и разогрева за счет потока газов за волной разрежения, эти частицы оказываются либо очень близко от среза ствола, либо за его пределами. Поэтому этот поток газов не успевает оказать на них теплового воздействия, и частицы даже успевают охладиться. После выхода из ствола самые мелкие частицы следуют за фронтом затухающей ударной волны и приобретают скорость, равную скорости газа за ней. При встрече с поверхностью подложки затухающая ударная волна отражается, а поток газов за отраженной ударной волной останавливается. При этом мелкие частицы затормаживаются и не достигают напыляемой поверхности. Таким образом, абразивная обработка напыляемой поверхности осуществляется за счет самых крупных частиц порошка.

Следует отметить, что часть частиц, достигших поверхности подложки в твердом состоянии, может увязнуть в формирующемся слое покрытия (рис. 7). При оптимальных режимах напыления прочность сцепления покрытия, полученного из микрошлифпорошка корунда с зернистостью F500, с подложкой из латуни составила 27...47 МПа. Твердость по Виккерсу (50 HV) составляла 12 420...15 000 МПа.

Применение данного способа при нанесении покрытия из  $Al_2O_3$  на ленту из медной фольги дало возможность повысить производительность процесса в целом на 60...90 %. Благодаря одновременному проведению абразивной обработки напыляемой детали и самого процесса напыления частицы напыляемого порошка попадают на практически ювенильную поверхность, что позволяет повысить прочность сцепления покрытия с подложкой на 15...25 %.

### Выводы

Использование детонационной установки для абразивной подготовки напыляемой поверхности является перспективным направлением в развитии технологии детонационного напыления.

Абразивная обработка напыляемой поверхности с помощью детонационных установок позволяет существенно повысить производительность процесса получения покрытия в целом.

Применение детонационной установки в качестве средства для ускорения абразивных частиц позволяет избежать возникновения значительных остаточных напряжений на напыляемой поверхности и ее деформации.

Использование детонационного оборудования для подготовки напыляемой поверхности дает возможность до минимума сократить промежуток времени между моментом ее активации и началом процесса формирования напыляемого слоя, что способствует повышению прочности сцепления покрытия с подложкой.

В зависимости от конкретных задач и условий получения слоя покрытия (напыляемый материал, вид и форма детали, материал подложки и т. д.) абразивная подготовка с помощью детонационного оборудования может проводиться различными способами.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бартнев С.С., Федько Ю.П., Григоров А.И. Детонационные покрытия в машиностроении. Л.: Машиностроение, 1982. 133 с.
2. Заявка № 2013119882/02 (029462) от 30.04.2013.
3. Заявка № 2013133429/02 (050033) от 19.07.2013.
4. Ждан С.А. Моделирование двухфазного потока за детонационной волной // Механика быстропротекающих процессов. Вып. 62. 1983. ИГСО АН СССР. С. 39—48.
5. Ждан С.А. Численное моделирование динамики двухфазного потока в стволе детонационной установки при учете дробления частиц // Вопросы использования детонации в технологических процессах. Новосибирск, 1986. С. 63—70.
6. Гавриленко Т.П., Николаев Ю.А. Анализ детонационно-газового способа нанесения порошковых покрытий // Вопросы использования детонации в технологических процессах. Новосибирск, 1986. С. 3—16.
7. Заявка № 2014132687 от 08.08.2014.

УДК 621.8

О.Г. Кокорева (Муромский институт (филиал) Владимирского государственного университета)  
E-mail: kokoreva\_olga\_2.11@mail.ru

## Разработка модели способа обработки тяжело нагруженных поверхностей деталей машин

*Представлена модель способа обработки тяжело нагруженных поверхностей деталей машин, в которой учитываются характеристики процесса обработки и качества поверхности деталей, а также явления, сопровождающие процесс обработки. Выполнена количественная оценка исследуемых факторов, составлена структурная схема обработки детали.*

**Ключевые слова:** модель способа обработки, тяжело нагруженные поверхности деталей машин, поверхностно-пластическая деформация, физико-химические процессы, условия эксплуатации, технологические ограничения, формообразование.

*The model of a method of processing heavy-duty surfaces of machine parts, which takes into account the characteristics of the treatment process, the surface quality characteristics of parts, as well as the phenomena accompanying the process of treatment. The quantitative estimation of researched factors compiled block diagram of the part.*

**Keywords:** fashion model processing, heavy duty surfaces of machine parts, surface plastic deformation, the physico-chemical processes, operating conditions, technological constraints, shaping.

Применение поверхностного пластического деформирования (ППД) при обработке тяжело нагруженных поверхностей деталей позволяет активизировать физико-химические процессы, определяющие размерное формообразование, упрочнение и финишную обработку, и является одним из важнейших факторов современного производства деталей. От его уровня во многом зависят качество и надежность, себестоимость и долговечность деталей, особенно транспортного назначения [2].

Одной из задач исследования является разработка технологических предпосылок, учитывающих особенности свойств, сочетание геометрических структур функционального назначения деталей и связи их характеристик при обработке тяжело нагруженных поверхностей самой детали.

При выполнении исследований в этом направлении рассматривается обобщающая концептуальная модель способа обработки (СО) ППД поверхности