

*New tendencies and results of the work of the department "Technologies of coatings of RUP "Technopark BNTU "Metolit" in the field of creation of rational technologies of wear-resistant coverings are examined. The complex approach to decision of arising scientific, technological, construction and organizational processes is shown. The concrete examples of the realized and introduced developments are given.*

Г. Г. ГОРАНСКИЙ, Э. Н. ТОЛСТЯК, В. В. САРАНЦЕВ, УП «Технопарк БНТУ «Метолит»

УДК 621.81.004.67

## РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЙ И ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ ПОВЕРХНОСТИ В УП «ТЕХНОПАРК БНТУ «МЕТОЛИТ»

### Введение

Бурное развитие важнейших отраслей современной промышленности невозможно без использования и разработки новых ресурсосберегающих технологий. Важная роль при этом принадлежит технологиям, позволяющим придать особые свойства поверхностным слоям, а также восстанавливать детали, работающие в различных условиях эксплуатации, с целью повышения их эксплуатационной стойкости, надежности, снижения эксплуатационных затрат. Как известно, одной из операций при нанесении покрытий является подготовка поверхности. В настоящее время используются следующие наиболее известные методы подготовки поверхностей деталей перед нанесением покрытий или покраской: струйно-абразивная; механическая; электроискровая обработка; химическая.

Для активации и придания нужной шероховатости поверхности деталей перед напылением или покраской их наиболее часто подвергают струйно-абразивной обработке. В зависимости от источника энергии, сообщаемого движению зернам абразива, различают абразивно-пневматический и абразивно-центробежный способы очистки поверхности. Кроме того, в промышленности применяют комбинированные методы очистки, например абразивно-пневможидкостный, абразивно-пневоцентробежный и др. Наиболее широко распространены абразивно-пневматический и абразивно-центробежный, известные как дробеструйный и дробеметный способы очистки.

### Цель

Основная цель струйно-абразивной обработки (САО) состоит в очистке поверхности основы от адсорбированных загрязнений и оксидных пленок. Кроме того, в результате САО формируется рельеф с определенной шероховатостью, а также

имеет место упрочнение поверхностного слоя металла.

Упрочнение металлов в процессе пластической деформации (наклеп) является следствием увеличения плотности дислокаций, количества двумерных и других дефектов, что сопровождается изменением как физико-механических свойств, так и общей химической активности металлической поверхности. Указанные причины позволяют изменением степени предварительной пластической деформации и условий деформирования поверхности основы влиять на величину диффузионной зоны, площади взаимодействия и другие характеристики покрытий в результате предварительного дробеструйного наклепа поверхности основы. Однако при напылении могут быть реализованы условия, в которых влияние наклепа поверхности на прочность сцепления покрытий с основой не обнаруживается.

### Методы исследования степени очистки САО

Экспериментальные исследования влияния предварительного активирования основы на величину переходной зоны проводили на образцах стали 45. Этот выбор был обусловлен тем обстоятельством, что именно среднеуглеродистые стали наиболее часто используются в качестве оснований при нанесении покрытий, так как при достаточном уровне механических свойств и разумной стоимости обладают хорошей технологичностью. Предварительная деформация образцов осуществлялась дробеструйной обработкой. Образцы из стали 45 толщиной 20 мм шлифовались. Наклеп устранялся дегазационным отжигом при 200°C в течение 2 ч. В дальнейшем после обезжиривания в этиловом спирте осуществлялась САО. В качестве абразивного материала была использована чугунная колотая дробь ДЧК (ГОСТ 11964-81) трех основных фракций: 1,0; 0,85 и 0,5 мм.

САО осуществляли на установке напорного типа. Режим САО: дистанция от сопла пистолета до обрабатываемой поверхности – 300 мм, угол атаки абразива – 60°, давление воздуха в системе – 6,5 кгс/см<sup>2</sup>. Таким образом, контролируемые и изменяемыми параметрами были размер частиц абразива и время САО.

Степень упрочнения поверхностного слоя металла  $N$  после САО оценивалась как:

$$N = \Delta H_{\mu} / H_{\mu 0} = (H_{\mu} - H_{\mu 0}) / H_{\mu 0},$$

где  $H_{\mu 0}$  и  $H_{\mu}$  – соответственно микротвердость поверхностного слоя материала до и после САО.

Все полученные экспериментальные величины подвергали статистической обработке. Оценки и доверительные интервалы полученных результатов по ГОСТ 11004 4 определяли следующим образом:

Выборочное среднее:

$$\bar{x} = \sum_{i=1}^n x_i / n;$$

выборочная дисперсия:

$$\bar{S} = (1/(n-1) \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2)^{1/2};$$

относительная погрешность измерения:

$$\varepsilon = (\bar{S} / \bar{x}) \cdot 100\%;$$

доверительный интервал:

$$\bar{x} - t_{\alpha, n} \bar{S} / n^{1/2} < \bar{x} < \bar{x} + t_{\alpha, n} \bar{S} / n^{1/2},$$

где  $x_{i-1}$  – результат  $i$ -го измерения;  $t_{\alpha, n}$  – коэффициент Стьюдента (принимался равным 0);  $n$  – число измерений.

### Результаты приведенных экспериментов и об- суждение

Эффективность САО для всех используемых типов дроби наступает уже через 20–30 с. Дальнейший рост  $N$  по мере увеличения длительности процесса уже незначителен.

Наибольший наклеп при выбранных параметрах обработки был получен дробью с размером частиц 1,0 и составил 0,8. Высота неровностей при измерении шероховатости также обладает наибольшим значением у дроби с размером частиц 1 мм (табл. 1).

Таблица 1. Зависимости степени упрочнения и значения шероховатости от размера фракций абразива

Размер фракции абразива ДЧК, мм	Значение степени упрочнения $N$	Значение шероховатости, мкм
1,0	0,8	23–25
0,85	0,6	18–20
0,5	0,4	10–12

Полученные результаты свидетельствуют об эффективности предварительной пластической деформации, что можно объяснить тем, что она служит фактором накопления свободной энергии поверхностного слоя подложки. Вместе с тем исследования влияния степени наклепа на глубину переходной зоны нанесенного покрытия (рис. 1) показали, что существует оптimum величины степени пластической деформации. Дальнейшее увеличение этого параметра сопровождается интенсификацией разрушения основы, в результате чего уменьшается накопленная ею энергия.

Однако при выборе установки, режимов, материала абразива скорость и качество очистки зависят от состояния очищаемой поверхности и требуемой степени очистки. По необходимой производительности (м<sup>2</sup>/ч) обработки подбираются давление, производительность компрессора и диаметр сопла (табл. 2).

Также важно учитывать:

- Диаметр проходного отверстия сопла. В процессе работы сопла его внутренний диаметр будет увеличиваться за счет износа. В этом случае возрастет потребность абразивоструйного аппарата в сжатом воздухе.

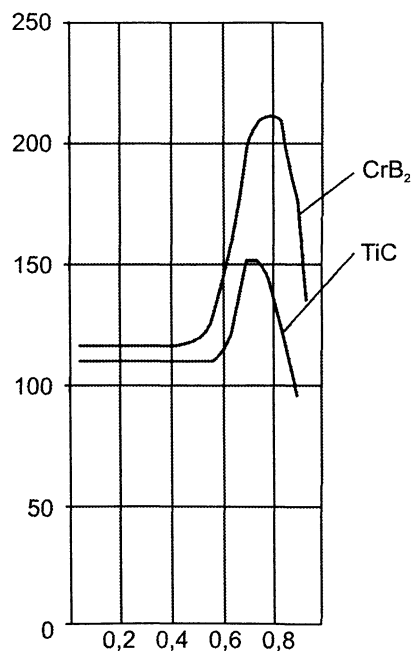


Рис. 1. Влияние степени предварительной пластической деформации стали 45 на глубину переходной зоны при нанесении покрытий TiC, CrB<sub>2</sub> экзотермореакционным электро- искровым упрочнением [1]

Таблица 2. Подбор оптимальных режимов работы САО

Расход воздуха, абразива, производительность для степени очистки Sa 2 1/2									
диаметр абразивного шланга, мм	диаметр воздушной линии, мм	диаметр сопла, мм	давление воздуха, бар						основные показатели
			3,5	4,9	5,6	6,3	7,0	8,0	
19 (3/4")	25 (1")	6,5	130	160	180	200	225	250	Расход абразива, кг/ч Производительность, м <sup>2</sup> /ч Расход воздуха, м <sup>3</sup> /мин
			1	3	6,5	8,0	9,5	12	
			1,3	1,7	1,9	2,1	2,3	2,6	
25 (1")	32 (1 1/4")	8,0	260	270	300	330	380	420	Расход абразива, кг/ч Производительность, м <sup>2</sup> /ч Расход воздуха, м <sup>3</sup> /мин
			3	6	9	12	15	17	
			2,1	2,9	3,2	3,6	3,9	4,4	
32 (1 1/4")	38 (1 1/2")	9,5	380	400	430	470	520	600	Расход абразива, кг/ч Производительность, м <sup>2</sup> /ч Расход воздуха, м <sup>3</sup> /мин
			5	8	12	17	19	22	
			3,0	4,0	4,5	4,9	5,5	6,2	
32 (1 1/4")	50 (2")	11,0	400	470	590	650	710	930	Расход абразива, кг/ч Производительность, м <sup>2</sup> /ч Расход воздуха, м <sup>3</sup> /мин
			8	10	15	18	20	24	
			4,1	5,5	6,1	6,7	7,1	8,2	
32 (1 1/4")	50 (2")	12,5	450	580	760	840	920	1200	Расход абразива, кг/ч Производительность, м <sup>2</sup> /ч Расход воздуха, м <sup>3</sup> /мин
			10	12	16	19	24	30	
			5,4	7,1	7,9	8,7	9,5	10,6	

- Увеличение диаметра сопла на 1,5 мм влечет за собой увеличение подачи сжатого воздуха при постоянном давлении на 60%. При отсутствии возможности повысить подачу воздуха эффективность обработки поверхности резко снижается. В таких случаях изношенное сопло необходимо заменить соплом меньшего диаметра.

- Чем длиннее воздушный шланг, тем больше потери давления.

- Воздушная магистраль из правильно подобранных стальных труб сводит потери к минимуму.

#### Выбор необходимой установки для проведения САО

Наряду с собственными разработками установок для САО и технологий очистки деталей различной сложности и назначения УП «Технопарк БНТУ «Метолит» активно сотрудничает в этих областях с ОДО «Тена» и ведущими зарубежными фирмами: SAPI (Германия), Airblast (Нидерланды), C.M. SURFACE TREATMENT S.p.A (Италия) и др.

Принцип действия струйного аппарата основан на преобразовании энергии сжатого воздуха в кинетическую энергию потока абразивных частиц. Для этого применяются аппараты двух систем: нагнетательной и всасывающей (инжекционной).

Струйные аппараты нагнетательного типа делятся на аппараты периодического и непрерывного действия. Аппараты периодического действия имеют рабочую камеру, в которую засыпается определенная порция абразива. После израсходования абразива аппарат перезаряжают, для чего снижают давление в рабочей камере до атмосферного и засыпают новую порцию абразива.

Использование аппаратов непрерывного действия или двухкамерных позволяет избежать необходимости остановок технологического процесса очистки для наполнения камеры абразивом.

#### Передвижные дробеструйные установки открытого типа

Пневматические дробеструйные установки открытого типа для сухой дробеструйной обработки применяются для очистки, предварительной обработки и отделки поверхности различных металлических и неметаллических изделий, в дробеструйных камерах с обратным перемещением абразивного средства, а также при дробеструйной обработке на открытом пространстве при монтажных работах.

Конструкция пневматических дробеструйных установок позволяет применять большинство из обычно предлагаемых типов и размеров абразивных средств, т.е. металлические (колотая сталь, колотый чугун, стальной гранулят – дробь) и неметаллические (шлак, корунд и т.п.). Тип и размер абразивного средства зависят от основного материала обрабатываемых деталей, от их исходной поверхности и требуемой финальной поверхности.

Персонал, обслуживающий дробеструйные установки открытого типа, применяя защитные вспомогательные средства для дробеструйной обработки, пользуясь пневматическим дистанционным защитным управлением, находящимся в конце дробеструйного шланга, управляет процессом дробеструйной обработки и применяет для этого систему включить–выключить.

Пневматические дробеструйные установки открытого типа подразделяются как по исполнению, так и по типу (рис. 2):

а) установка струйно-абразивной очистки инжекционного типа М-УСАО-ИТ50;

б) дробеструйная мобильная напорная установка Mammut™ SAPI (с различным объемом бункера);

в) дробеструйная мобильная напорная установка для непрерывной работы двухблочковая.

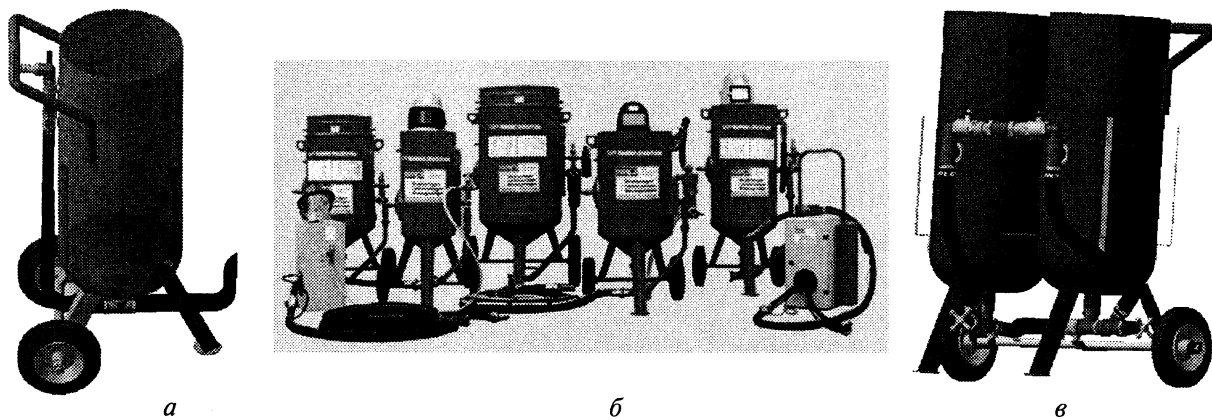


Рис. 2 Передвижные дробеструйные установки открытого типа

**Передвижные беспыльные дробеструйные установки с возвратом дробы**

Для беспыльной очистки используется мобильное комбинированное оборудование (рис. 3), сочетающее струйно-абразивный аппарат; пылеулавливающий фильтр; сепаратор и циклон для абразива. В зоне обработки происходит отсос пыли и частиц абразива специальной насадкой (рис. 3, а), в которой расположено сопло. Пыль и частицы старой краски накапливаются в специальной емкости для дальнейшей утилизации. Для работы в углах, на кромках и прочих не плоскостных

элементах применяется ряд специализированных насадок. В процессе работы почти не происходит пылевыведения и потери абразива. Поэтому становится рентабельным использование твердых абразивов типа карбид бора, что значительно увеличивает производительность процесса очистки.

Установка, показанная на рис. 3, а, применяется для очистки сварных швов, валов, крупногабаритных изделий, емкостей, цистерн, бункеров, корпусов машин и т.п.

Выбор установки для беспыльной дробеструйной очистки зависит от задач очистки, требуемой производительности, цены установки.

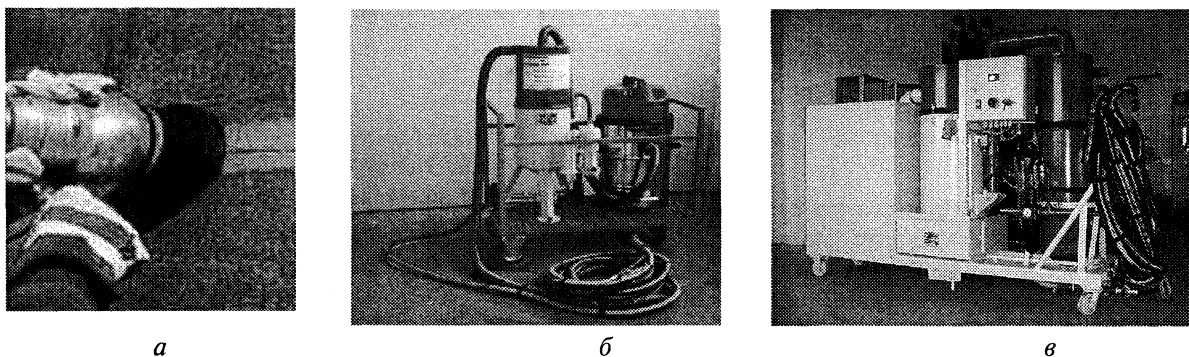


Рис. 3. Передвижные беспыльные дробеструйные установки с возвратом дробы

**Кабины и обитаемые камеры для САО**

Чаще всего очистка деталей производится в закрытой кабине, куда помещается деталь. Габариты кабины ограничивают максимальные размеры очищаемых деталей. Выбор типа кабины зависит от задач очистки. Для высокопроизводительной очистки тяжелых деталей рекомендуется применять кабины напорного типа (рис. 4, а).

Обитаемые камеры (рис. 4, б) позволяют очищать крупногабаритные изделия: крупногабаритные металлоконструкции (рис. 4, в), опоры, технику, плавсредства, железнодорожные вагоны и т.п.

В зависимости от потребностей Заказчика камеры оснащаются системой сбора и регенерации струйного материала с ковшовым элеватором,

сепаратором материала, бункером-накопителем и напорной струйной установкой SAPI типа Mammut; транспортно-рельсовой тележкой, системами автоматического сбора и подачи абразива — скребковым транспортером, промышленными фильтрами и системами вентиляции.

Для быстрой организации работ по струйной очистке особенно удобны контейнеры SAPI (на базе 20-футовых морских контейнеров), которые приспособлены как для мобильного, так и стационарного использования. Контейнеры для САО могут оснащаться различными напорными установками, системами сбора материала, автоматическими и полуавтоматическими устройствами подачи заготовок и фильтро-вентиляционными установками и располагаться как внутри, так и снаружи контейнера.

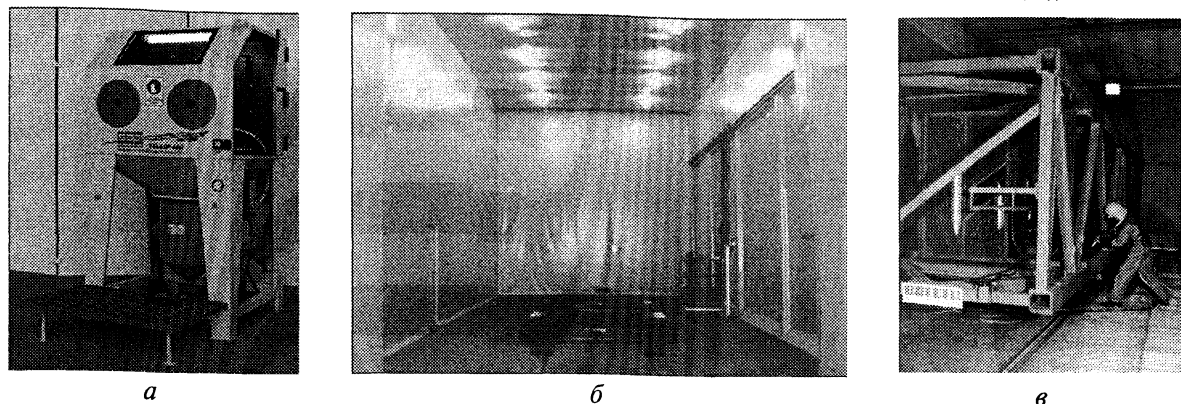


Рис. 4. Кабины и обитаемые камеры

### Дробеметные установки

Дробеметные установки применяются для очистки от ржавчины, окалины, снятия облоя, очистки (зачистки) литья, поверхностной обработки рессор (труб) и механических элементов для увеличения усталостной долговечности и т.п. Они обладают большей производительностью очистки за счет большего расхода струйного материала, скорость дробы составляет при этом 70–80 м/с. Разгоняется дробь центробежной силой вращающегося лопастного колеса (турбины, дробемета).

Работа на оборудовании проста и не требует специального обучения, в общем работа оператора ограничена загрузкой и разгрузкой. Фактически

дробеметная установка представляет собой технику, экономящую энергию, время, труд.

В дробеметной установке с вращающимся столом (рис. 5, а) детали располагаются на вращающемся столе и равномерно обрабатываются широкоугольным потоком дробы, который образуется в результате вращения одной или более турбин. Для САО прокатной продукции, такой, как металлические листы, прокат различного профиля, трубы, а также плоских металлоконструкций применяются дробеметные установки с рольганговым конвейером. На рис. 5, б показана дробеметная установка с подвеской, а на рис. 5, в – дробеметные установки с непрерывной обработкой на транспортере.

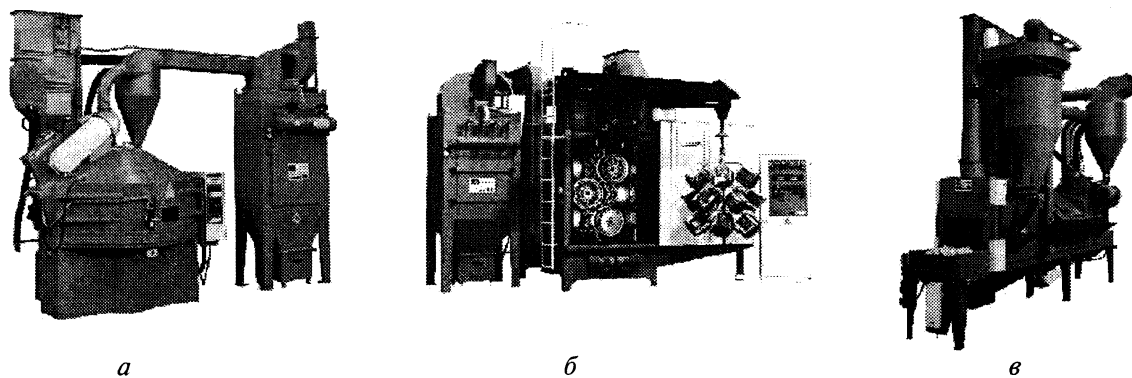


Рис. 5. Дробеметные установки

### Выводы

САО позволяет не только эффективно очищать поверхности деталей перед нанесением покрытий или покраской, но также и подготовить поверхность – активировать, что также дает возможность повысить плотность и адгезионные свойства покрытия.

В процессе дробеметной обработки создаются многочисленные напряжения сжатия (наклеп), увеличивающие жизнестойкость деталей, работающих при циклических нагрузках и в условиях агрессивности внешней среды. Естественно, что подобная обработка позволяет устранить напряжения растяжения, возникающие, например, после операции шлифования, а также в результате деформации детали при термообработке.

Упрочнение дробеструйным наклепом позволяет увеличить срок службы сварных швов на 310%, коленчатых валов двигателей – на 900, спиральных пружин – на 137, рессор – на 500, зубчатых колес – на 1400% [2].

### Литература

1. Реут О.П., Коваль В.А., Саранцев В.В. Оптимизация технологии восстановления поверхностей трения износостойкими карбидными покрытиями методом экзотермореакционного электроискрового упрочнения // Вестн. Полочского гос. ун-та, В, прикладные науки (Технология и оборудование для восстановления и упрочнения деталей), 2005. № 6. С. 67–72.

2. Поляк М.С. Технология упрочнения (технологические методы упрочнения): Справ. В 2-х т. Т. 2. М.: Л.В.М. СКРИПТ, 1995.