

ТОРАЙҒЫРОВ УНИВЕРСИТЕТІНІҢ
ҒЫЛЫМИ ЖУРНАЛЫ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
ТОРАЙҒЫРОВ УНИВЕРСИТЕТА

**ҚАЗАҚСТАН ҒЫЛЫМЫ
МЕН ТЕХНИКАСЫ**

2001 ЖЫЛДАН БАСТАП ШЫҒАДЫ



**НАУКА И ТЕХНИКА
КАЗАХСТАНА**

ИЗДАЕТСЯ С 2001 ГОДА

ISSN 2788-8770

№ 3 (2023)

ПАВЛОДАР

**НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
ТОРАЙГЫРОВ УНИВЕРСИТЕТ**
выходит 1 раз в квартал

СВИДЕТЕЛЬСТВО

о постановке на переучет периодического печатного издания,
информационного агентства и сетевого издания
№ KZ51VPY00036165

выдано
Министерством информации и общественного развития
Республики Казахстан

Тематическая направленность

Публикация научных исследований по широкому спектру проблем
в области металлургии, машиностроения, транспорта, строительства,
химической и нефтегазовой инженерии, производства продуктов питания

Подписной индекс – 76129

<https://doi.org/10.48081/GZVJ4547>

Импакт-фактор РИНЦ – 0,189

Абишев Кайратолла Кайроллинович – к.т.н., профессор (главный редактор);
Касенов Асылбек Жумабекович – к.т.н., профессор (заместитель главного редактора);
Мусина Жанара Керейовна – к.т.н., профессор (ответственный секретарь);
Шокубаева Зауреш Жанатовна – технический редактор.

Члены редакционной коллегии:

Калиакпаров Алтай Гиндуллинович – д.т.н., профессор (Нур-Султан, Казахстан);
Клецель Марк Яковлевич – д.т.н., профессор (Павлодар, Казахстан);
Шеров Карибек Тагаевич – д.т.н., профессор (Караганда, Казахстан);
Богомоллов Алексей Витальевич – к.т.н., ассоц. профессор (Павлодар, Казахстан);
Кажыбаева Галия Тулеуевна – к.т.н., профессор (Павлодар, Казахстан);

Зарубежные члены редакционной коллегии:

Waigang Sun – профессор (Пекин, Китай);
Gabriele Comodi – PhD, профессор (Анкона, Италия);
Jianhui Zhao – профессор (Харбин, Китай);
Khamid Mahkamov – д.т.н., профессор (Ньюкасл, Великобритания);
Magin Laruerta – д.т.н., профессор (СьюДад Реал, Испания);
Mareks Mezitis – д.т.н., профессор (Рига, Латвия);
Petr Bouchner – PhD, профессор (Прага, Чехия);
Ronny Berndtsson – профессор (Лунд, Швеция);
Барзов Александр Александрович – д.т.н., профессор (Москва, Россия);
Витвицкий Евгений Евгеньевич – д.т.н., профессор (Омск, Россия);
Иванчина Эмилия Дмитриевна – д.т.н., профессор (Томск, Россия);
Лазарев Владислав Евгеньевич – д.т.н., профессор (Челябинск, Россия);
Мягков, Леонид Львович – д.т.н., профессор (Москва, Россия);
Янюшкин Александр Сергеевич – д.т.н., профессор (Чебоксары, Россия);
Ребезов Максим Борисович – д.с/х.н., профессор (Москва, Россия).

За достоверность материалов и рекламы ответственность несут авторы и рекламодатели
Редакция оставляет за собой право на отклонение материалов
При использовании материалов журнала ссылка на журнал «Наука и техника Казахстана» обязательна

© Торайгыров университет

Т. Ю. Никонова¹, *Д. С. Жунуспеков², Ю. Д. Ясаков³

^{1,2}Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова, Республика Казахстан, г. Караганда;

³ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого», Российская Федерация, г. Санкт-Петербург.

*e-mail: zhynyspekov_darkhan@mail.ru

ЭМПИРИКО-МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОБРАБОТКИ ШТОКА ГИДРОЦИЛИНДРА СТРУЙНО-АБРАЗИВНЫМ МЕТОДОМ

В данной статье рассматриваются процессы подготовки поверхности длинномерного штока перед нанесением газотермического покрытия. Рассмотрены механические, химические, термические, коллоидные, а также электромеханические способы подготовки поверхности перед нанесением покрытия. Выбран наиболее эффективный способ это дробеструйная обработка. Выбрано наиболее приемлемое оборудование для проведения дробеструйной обработки. Проведен эксперимент по обработке длинномерных штоков карьерной техники. Шероховатость поверхности ремонтируемого штока зависит от следующих параметров: сила соударения; скорость потока дроби; расстояние от распылителя до обрабатываемой поверхности; длительность обработки одного участка; угол распыления дроби; тип дроби, ее габаритные характеристики и твердость; число проходов. Проведен анализ параметров влияющих на процесс обработки. Выбраны параметры, которые наиболее влияют на процесс дробеструйной обработки. Сила соударения, угол атаки сопла, время обработки – это параметры которые наиболее влияют на процесс дробеструйной обработки. Выведены графические зависимости по результатам эксперимента. Проведено планирование многофакторного эксперимента, по результатам которого получены математические зависимости. По полученным математическим зависимостям можно получить необходимые выходные параметры, задав определенные входные параметры для получения необходимых точностных характеристик.

Ключевые слова: газотермическое покрытие, дробеструйная обработка, эксперимент, шероховатость, глубина проникновения.

Введение

Для получения покрытия с высокими эксплуатационными характеристиками необходимо помимо использования прогрессивного метода нанесения покрытия необходимо провести подготовку поверхностного слоя. Подготовка поверхностного слоя необходима для снятия дефектного слоя покрытия, получение необходимой шероховатости для формирования покрытия. От качества поверхностного слоя зависит само качество покрытия. Наличие на поверхности детали различных загрязнений ухудшают качество покрытия.

Поверхности дефектных штоков гидроцилиндров карьерной техники бывают, загрязнены остатками породы, различными окислами, задирами, масляными плёнками, остатками хромового покрытия которые в значительной мере снижают прочность сцепления наносимого покрытия. Для очистки поверхностного слоя от загрязнений существуют следующие методы, показанные на рисунке 1

Механический метод очистки можно поделить на два больших вида. Это метод очистки со снятием стружки и без снятия стружки. Метод очистки со снятием стружки заключается в механической обработке резанием (токарная, фрезерная, нарезание рваной резьбы и т.п.). Метод очистки без снятия стружки заключается в применении различных методов поверхностно-пластического деформирования (накатка резьбы, пескоструйная и дробеструйная обработки).



Рисунок 1 – Методы очистки

Химический метод заключается в травлении загрязненных поверхностей разбавленными или концентрированными кислотами или их смесями.

Электрохимический метод это метод травления в растворах солей металлов или кислот с применение электричества

Коллоидный метод заключается в обезжиривании поверхности детали применением различных коллоидных систем.

При применении ультразвукового и термического методов очистки применяется обезжиривание поверхностей с помощью ультразвука и термической обработки (например, нагрев поверхности с целью обезжиривания газовой горелкой).

Механический способ со снятием стружки для нашего случая ввиду конструктивных размеров штоков является не подходящим ввиду отсутствия станков для механической обработки крупногабаритных деталей на месте эксплуатации.

Применение химических, ультразвуковых, термических, коллоидных и т.д. методов так же ставит затруднения в их применении из-за конструктивных размеров штоков.

Наиболее эффективным способом механической обработки без снятия стружки, является метод струйно-абразивного очищения или обработка (САО) поверхности. Этот метод помимо очищения поверхности от окалины и т.п. загрязнений дает необходимое упрочнение и шероховатость поверхности, которая необходима для адгезионной прочности покрытия.

Материалы и методы

Струйно-абразивный метод заключается в воздействии на обрабатываемую поверхность абразивного материала, выбрасываемого из сопла установки мощной струей сжатого воздуха. При этом происходит не только удаление различных загрязнений, старой краски, окалины и т.д. Обработанная поверхность получается шероховатой, что является основным условием в обеспечении прочного сцепления напыляемого материала с основной поверхностью (высокая адгезия).

Применяют абразивно-пневматический и абразивно-центробежный способы обработки поверхности перед напылением. В первом случае обработка осуществляется струей сжатого воздуха. Во втором случае выброс абразива происходит посредством специального аппарата – дробемета (или пескомета) под действием центробежных сил.

В зависимости от материала и размера абразива различают пескоструйную и дробеструйную обработку. Главное отличие этих двух методов заключается в размере абразивных частиц: для пескоструйной обработки используются частицы меньшего диаметра. Если раньше для пескоструйных работ применяли кварцевый или силикатный песок, то на сегодняшний день применяют более экологичные материалы – никельшлак и купершлак. Для дробеструйной обработки используется различная по материалу и способу изготовления дробь (чугунная колотая, стальная литая, колотая литая, рубленая стальная, алюминиевая и т.д.).

В случае дробеструйной обработки, помимо образования рельефа с определенной шероховатостью, наблюдается также наклеп обработанной поверхности, повышение коррозионной стойкости и увеличение усталостной прочности.

Упрочнение дробеструйной обработкой требует строгого соблюдения технических условий по твердости абразивного материала, продолжительности очистки, углу наклона сопла и необходимому давлению. Чрезмерное или недостаточное упрочнение детали может быть причиной преждевременного разрушения [1].

На результаты дробеструйной обработки во многом влияет исходная шероховатость поверхности, степень ее загрязнения, а также состав стали и термическая обработка.

Рекомендованная стандартом ГОСТ 9.304-87 шероховатость поверхности должна находиться в диапазоне 6,3 – 16 мкм ($R_z = 25 - 63$ мкм). Однако точные данные возможно получить только экспериментальным путем.

Для механической обработки штока подходит стальная литая дробь S (46-52 HRC), ее применяют для очистки и упрочнения крупногабаритных деталей большой массы.

Шероховатость поверхности ремонтируемого штока зависит от следующих параметров:

- сила соударения;
- скорость потока дробы;
- расстояние от распылителя до обрабатываемой поверхности;
- длительность обработки одного участка;
- угол распыления дробы;
- тип дробы, ее габаритные характеристики и твердость;
- число проходов.

Добиться необходимого значения шероховатости можно путем изменения вышеуказанных параметров.

Для проведения дробеструйной обработки использовалось оборудование EDUCT-O-MATIC (рисунок 2). Преимущество данной установки в том, что у нее имеется фильтр-мешок, который улавливает пыль, т.е. производится беспылевая обработка. Также имеются различные фигурные насадки, которые разряжают поток дробы.



Рисунок 2 – Дробеструйная установка замкнутого цикла EDUCT-O-MATIC

Основные технические характеристики установки представлены в таблице 1.

Таблица 1 Технические характеристики дробеструйной установки «EDUCT-O-MATIC»

Диапазон развиваемого давления, МПа	0,3 – 0,7
Потребление воздуха, м ³ /мин	1,5 – 2,5
Емкость абразивного резервуара, л	2
Диапазон фракций используемого абразива, мм	0,3 – 1,4
Диаметр сопла установки, мм	4,5
Максимальная ширина очищаемой полосы за один проход, мм	32
Принцип действия дробеструйной очистки	эжекторный, беспылевой
Габаритные размеры (длина × ширина × высота), м	0,6 × 0,2 × 0,3

Для проведения эксперимента шток гидроцилиндра был закреплен в трехручачковом патроне ременного привода, также так как шток длинномерный, дополнительно использовались роликовые суппорты. Абразивоструйный аппарат установлен на направляющих и перемещается по ним. Общий вид установки представлен на рисунке 3.

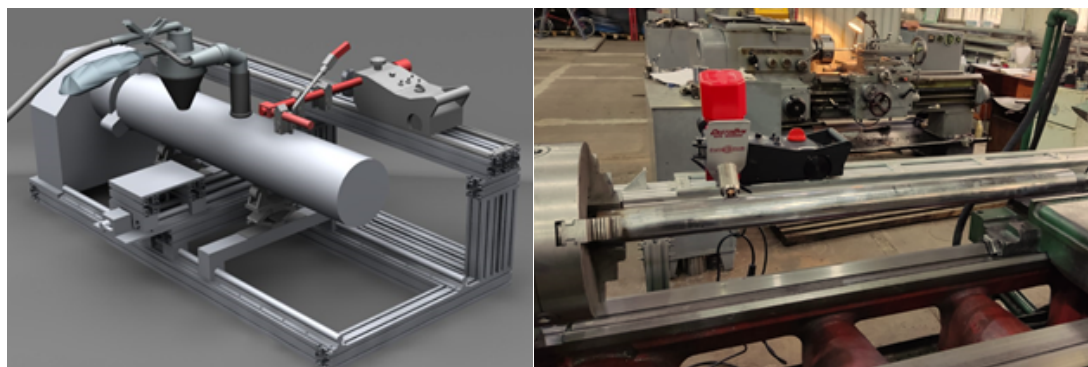


Рисунок 3 – Общий вид установки

Шток имеет следующие размеры: Материал штока – Ст45.

Для проведения эксперимента была выбрана стальная колотая дробь со следующими параметрами: тип дроби – ДСК-0,3 по ГОСТ 11964-81; микротвёрдость – 500 HV; плотность – не менее 7200 кг/м³, допустимое содержание остатка на сите №3 – не менее 65 %.

Постоянные входные параметры при проведении эксперимента следующие:

- расстояние до обрабатываемой поверхности;
- диаметр дробеструйного сопла – 4,5 мм;
- тип абразивных частиц – ДСК – 0,3 по ГОСТ 1964-81;

- частота вращения штока – 63 об/мин.
- А изменяемыми входными параметрами являлись:
 - Сила соударения, F ;
 - время обработки, t ;
 - угол наклона струи, β ;
 - скорость абразивных частиц, ϑ .

Выходными параметрами на этапе дробеструйной очистки будут: глубина проникновения абразива (Y_1), шероховатость поверхности (Y_2).

Оценка влияния изменяемых входных параметров процесса на выходные представлена в таблице 2.

Таблица 2 Оценка влияние входных параметров на выходные

выходные входные	$\Delta h (Y_1)$	$R_a (Y_2)$
$F (X_1)$	+	+
$t (X_2)$	±	+
$\beta (X_3)$	+	±
Примечание: + влияет; ± влияет в большей степени; ∓ влияет в меньшей степени; – не влияет		

Исходя из проведенного эксперимента проведенная оценка (таблица 2) было выявлено, что наибольшее влияния на получаемую шероховатость имеет угол атаки сопла, чем он выше, тем выше шероховатость, два других параметра влияют в меньшей степени. На глубину проникновения влияет наибольшим образом время обработки, т.е. чем больше времени идет обработка, тем выше глубина врезания дробы.

В первой части экспериментальных исследований определялась зависимость шероховатости поверхности R_a и глубины проникновения абразива Δh от силы соударения F , создаваемого пневматической машиной. Сила устанавливалась регулятором компрессора в диапазоне от 0,186 до 14,76 Н и контролировалось с помощью показателей двух динамометров на входе и выходе. Потери удельного давления, наблюдаемого в процессе дробеструйной обработки, объясняются длиной воздушного шланга, а также диаметром используемого абразива.

Измерение шероховатости поверхности штока производилось при помощи портативного измерителя шероховатости TIME TR100 (рисунок 4). Глубина проникновения абразива измерялась глубиномером индикаторным цифровым с игольчатым наконечником ГИЦ-ПТ-10 0,001.

Полученные результаты представлены на рисунке 5 (а, б).

В ходе проведения эксперимента выяснилось, что повышение рабочего давления воздуха, при прочих равных условиях, ведет к линейному возрастанию как шероховатости поверхности R_a , так и глубины врезания абразивных частиц Δh . Лучшие результаты наблюдаются при максимально возможном давлении в 0,6 МПа.



Рисунок 4 – Измерение шероховатости

Во второй части эксперимента варьировалось значение угла наклона струи к обрабатываемой поверхности в диапазоне от 45° до 90° . Изменение угла осуществлялось специальным держателем с возможностью регулировки высоты и точного угла. Графики зависимости шероховатости R_a и глубины врезания частиц Δh для трех угловых значений представлены на рисунке 6.

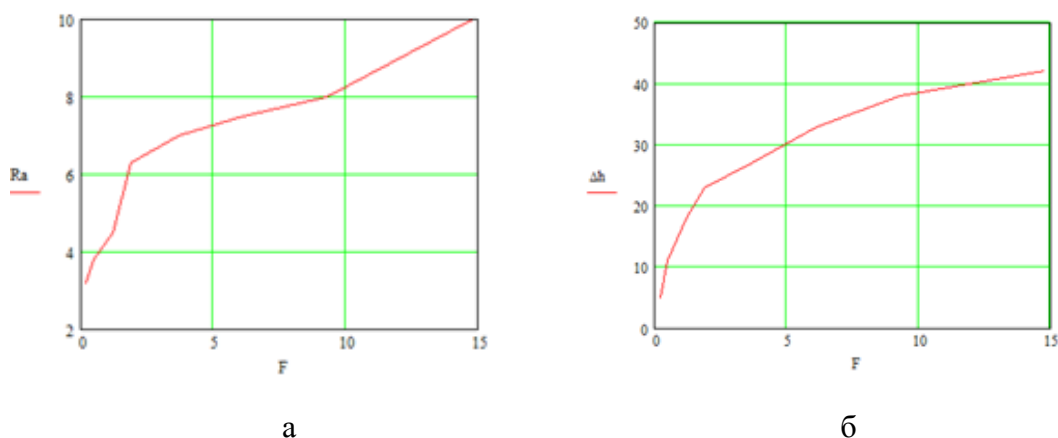


Рисунок 5 – Зависимость шероховатости поверхности R_a (а) и глубины проникновения абразива Δh (б) от силы соударения F

Угол наклона струи к обрабатываемой поверхности для дробеструйной обработки оказало большое влияние как на глубину проникновения абразива Δh , так и на шероховатость R_a . Отклонение угла напыления от перпендикулярного направления по отношению к поверхности штока приводило к расширению площади обработки, однако служило причиной снижения плотности потока дроби. В результате чего при металлографическом анализе покрытия на определенных участках наблюдались резкие скачки пиков неровностей, однако общая шероховатость оказалась несколько ниже, чем при угле в 90° .

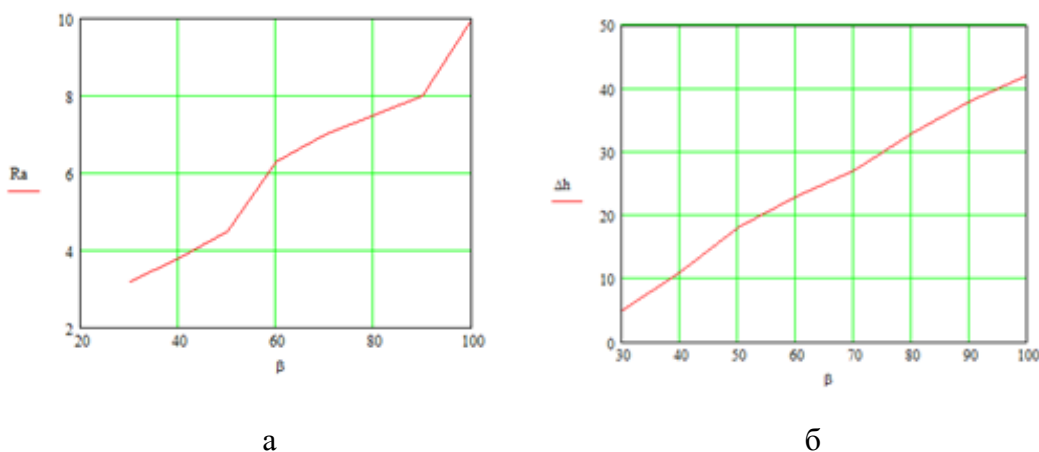


Рисунок 6 – Зависимость шероховатости поверхности R_a (а) и глубины проникновения абразива Δh (б) от угла атаки сопла β

Завершающим этапом исследований являлось определение оптимального времени обработки, необходимого для достижения требуемых значений шероховатости поверхности. Время полной обработки поверхности штока в первом случае составило 3 минуты 30 секунд. Далее происходило увеличение продолжительности обработки отдельного участка с шириной, равной ширине полосы, оставляемой дробеструйным аппаратом за один проход. Графики зависимостей при минимальной и максимальной продолжительности обработки представлены на рисунке 7.

Как видно из графиков, формирование нового микрорельефа происходит в течение первых 3 минут с момента начала дробеструйной очистки, при дальнейшей обработке значения шероховатости поверхности R_a и глубины проникновения абразива Δh меняются незначительно.

Результаты и обсуждение

Планирование эксперимента предусматривает:

- выбор аргументов и целевых функций;
- определение диапазона изменений аргументов в опытах;
- установление числа уравнений аргументов и их конкретных значений в опытах;

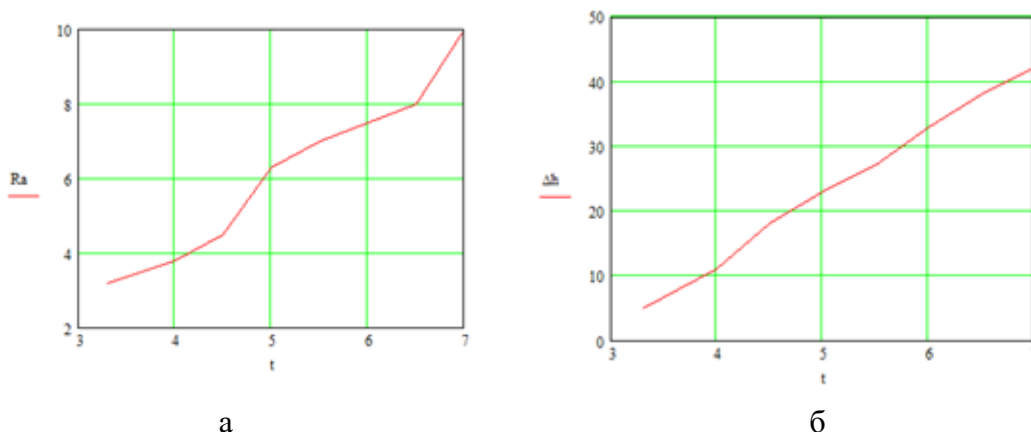


Рисунок 7 – Зависимость шероховатости поверхности R_a (а) и глубины проникновения абразива Δh (б) от времени обработки штока

– становление сочетания значений аргументов в каждом опыте в соответствии с рекомендуемой матрицей планирования эксперимента.

Все эти данные собираются в единую таблицу (таблица 3). В неё же заносятся результаты опытов (целевые функции) и характер заказываемых моделей.

Планирование эксперимента имеет целью получение исходных данных, наиболее адекватно представляющих анализируемый процесс при минимальном числе экспериментов. При этом эффект сокращения числа необходимых экспериментов достигает нескольких порядков. Важнейшим принципом такого планирования является следующее.

Если собрать в одну группу опыты с одним уровнем какого-либо аргумента (в матрицах они собраны в числовые прямоугольники по значениям первого аргумента), то все остальные аргументы в группе будут принимать по одному разу все возможные значения уровней.

При выборе аргументов следует иметь в виду, что часть их может характеризовать исходный продукт, а часть - саму технологию производства. На выходе функции характеризуют качество конечного продукта.

Для планируемых экспериментов исследования качественных характеристик штоков гидроцилиндров после процесса дробеструйного упрочнения получаем следующие параметры на входе и выходе:

Вход: сила соударения F , угол атаки сопла β , время обработки t .

Таблица 3 – Сводная таблица эксперимента

Сила соударения F, Н	Угол атаки сопла β , °	Время обработки t, мин	Шероховатость поверхности Ra, мкм	Глубина проникновения абразива Δh , мкм	x0	x1	x2	x3
0,186	30	3,3	3,2	5	+	-	-	-
0,468	40	4	3,8	11	+	+	-	-
1,2	50	4,5	4,5	18	+	-	+	-
1,88	60	5	6,3	23	+	+	+	-
3,66	70	5,5	7	27	+	-	-	+
6,102	80	6	7,5	33	+	+	-	+
9,3	90	6,5	8	38	+	-	+	+
14,76	100	7	10	42	+	+	+	+

Выход: шероховатость поверхности R_a , глубина проникновения абразива Δh .

Используя математический аппарат программы Microsoft Excel, был проведен регрессионный анализ полученных данных. Анализ, которого показал, что давление воздуха не влияет на получение шероховатости поверхности и глубину проникновения. Исходя из этого, было решено исключить этот показатель и провести анализ с двумя входными параметрами.

Таким образом, полученные зависимости шероховатости и глубины проникновения после процесса дробеструйной обработки от различных факторов, влияющих на процесс обработки в целом, а также уравнения, описывающие эти кривые можно записать в виде математической модели:

$$Ra = 2,42 + 0,02F + 0,14\beta - 1,08t$$

$$\Delta h = 0,33\beta + 4,7t - 0,27F - 20,58$$

Адекватность полученных зависимостей было оценено при помощи коэффициента Фишера, который показал расчетные значения для шероховатости $F=46,2$ и для глубины проникновения $F=747,27$ при табличном значении $F_{табл}=5,409$, что говорит об адекватности полученной модели.

Выводы

1 Проведя анализ методов очищения поверхности перед нанесением покрытия и исходя из конструктивных размеров штока (диаметр 250 мм, длина 1250 мм), наиболее эффективным методом очистки является дробеструйная обработка.

2 На формирование качественного покрытия влияют параметры шероховатости и глубины проникновения абразива, в свою очередь на эти два параметра влияют угол атаки сопла, сила соударения и время обработки.

3 Чем больше сила соударения, угол атаки сопла, а также время обработки, тем выше шероховатость поверхности и глубина проникновения.

4 Таким образом, на основании регрессионного анализа можно сделать вывод о том, математическая модель дает полное представление о процессе дробеструйной обработки.

5 На основании выведенных математических зависимостей можно получить выходные характеристики, задав необходимые данные на входе.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 **Ильющенко, А. Ф.** Процессы формирования газотермических покрытий и их моделирование. / А. Ф. Ильющенко, А. И. Шевцов, В. А. Оковитый, Г. Ф. Громыко. – Минск : Белорус. наука, 2011. – 357 с.

2 **Нураков С. Н., Томашец А. К., Савинкин В. В.** «Влияние износа деталей гидроцилиндра на технико-экономические показатели гидроприводов и экологические показатели дорожных машин», 2009 г.

3 **Нефедьев С. П., Морозов А. Н.** «Плазменно-порошковая наплавка штоков гидроцилиндров белым износостойким чугуном», 2014 г.

4 **Ялович А. П., Белоцерковский М. А., Сосновский А. В.** Глава из монографии, глава 18 «Технология восстановления штоков монтажного оборудования с использованием методов инженерии поверхности» из монографии «Перспективные материалы и технологии», 2019 г.

5 **Радионова Л. В., Самодурова М. Н., Быков В. А., Глебов Л. А., Брык А. В.** Статья «Повышение эксплуатационных свойств поверхности штока гидроцилиндра аддитивными технологиями», 2020 г.

6 **Казанников О. В., Отмахов Д. В.** Статья «Восстановление штоков гидроцилиндров методом ЭИЛ», 2020 г.

7 **Белоцерковский М. А., Дудан А. В., Ялович А. П.** Статья «Восстановление и испытание штоков силовых гидроцилиндров», 2020 г.

8 **Ялович А. П., Белоцерковский М. А., Сосновский А. В., Чой К. Й.** Статья «Повышение износостойкости стальных покрытий, используемых для восстановления штоков», 2018 г.

9 **Бурумкулов Ф. Х., Величко С. А.** Статья «Способ восстановления штоков гидроцилиндров», 2018 г.

10 **Гоман А. М., Ялович А. П.** Статья «Оценка применимости газотермического напыления при восстановлении штоков гидроцилиндров по критерию адгезионной прочности покрытий при эксплуатационных нагрузках», 2018 г.

REFERENCES

1 **Ilyushhenko A. F.** Processy` formirovaniya gazotermicheskix pokry`tij i ih modelirovanie. [Processes of formation of gas-thermal coatings and their modeling] / A. F. Ilyushhenko, A. I. Shevczov, V. A. Okovity`j, G. F. Gromy`ko. – Minsk: Belorus. navuka, 2011. – 357 P.

2 **Nurakov S. N., Tomashecz A. K., Savinkin V. V.** «Vliyanie iznosa detalej gidrocilindra na texniko-e`konomicheskie pokazateli gidroprivodov i e`kologicheskie pokazateli dorozhny`x mashin» [Influence of wear of hydraulic cylinder parts on the technical and economic indicators of hydraulic drives and environmental performance of road machines], 2009.

3 **Nefed'ev S. P., Morozov A. N.** «Plazmenno-poroshkovaya naplavka shtokov gidrocilindrov bely'm iznosostojkim chugunom» [Plasma-powder surfacing of hydraulic cylinder rods with white wear-resistant cast iron], 2014.

4 **Yalovik A. P., Belocerkovskij M. A., Sosnovskij A. V.** Glava iz monografii, glava 18 «Texnologiya vosstanovleniya shtokov montazhnogo oborudovaniya s ispol'zovaniem metodov inzhenerii poverxnosti» [Technology for restoring rods of mounting equipment using surface engineering methods] iz monografii «Perspektivny'e materialy i texnologii» [Promising materials and technologies], 2019.

5 **Radionova L. V., Samodurova M. N., By'kov V. A., Glebov L. A., Bry'k A. V.** Stat'ya «Povy'shenie e'kspluatatsionny'x svoystv poverxnosti shtoka gidrocilindra additivny'mi texnologiyami» [Improving the performance properties of the hydraulic cylinder rod surface by additive technologies], 2020.

6 **Kazannikov O. V., Otmahov D. V.** Stat'ya «Vosstanovlenie shtokov gidrocilindrov metodom E'IL» [Restoration of hydraulic cylinder rods by the ESA method], 2020.

7 **Belocerkovskij M. A., Dudan A. V., Yalovik A. P.** Stat'ya «Vosstanovlenie i ispy'tanie shtokov silovy'x gidrocilindrov» [Restoration and testing of rods of power hydraulic cylinders], 2020.

8 **Yalovik A. P., Belocerkovskij M. A., Sosnovskij A. V., Choj K. J.** Stat'ya «Povy'shenie iznosostojkosti stal'ny'x pokry'tij, ispol'zuemy'x dlya vosstanovleniya shtokov» [Improving the wear resistance of steel coatings used to restore rods], 2018g.

9 **Burumkulov F. X., Velichko S. A.** Stat'ya «Sposob vosstanovleniya shtokov gidrocilindrov» [Method for restoring hydraulic cylinder rods], 2018.

10 **Goman A. M., Yalovik A. P.** Stat'ya «Ocenka primenimosti gazotermicheskogo napy'leniya pri vosstanovlenii shtokov gidrocilindrov po kriteriyu adgezionnoj prochnosti pokry'tij pri e'kspluatatsionny'x nagruzках» [Evaluation of the applicability of thermal spraying in the restoration of hydraulic cylinder rods according to the criterion of adhesion strength of coatings under operational loads], 2018.

Материал поступил в редакцию 20.07.23.

*Т. Ю. Никонова¹, *Д. С. Жунуспеков², Ю. Д. Ясаков³*

^{1,2}Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті,
Қазақстан Республикасы, Қарағанды қ.;

³Ұлы Петрдің Санкт-Петербург политехникалық университеті
Ресей Федерациясы, Санкт-Петербург қ.

Материал 20.07.23 баспаға түсті.

ГИДРАВЛИКАЛЫҚ ЦИЛИНДР СОТАШЫҒЫН АҒЫНДЫ АБРАЗИВТІК ТӘСІЛМЕН ӨҢДЕУДІҢ ЭМПИРИКАЛЫҚ-МАТЕМАТИКАЛЫҚ МОДЕЛІ

Бұл мақалада газотермиялық жабынды қолданар алдында ұзын өлшемдісоташықтың бетін дайындау процестері қарастырылады. Жабынды қолданар алдында бетті дайындаудың механикалық, химиялық, термиялық, коллоидтық және электромеханикалық әдістері қарастырылады. Ең тиімді әдіс таңдалды бұл бытыралы ағынмен өңдеу. Жарылыс үшін ең қолайлы жабдықы таңдалды. Карьерлік техниканың ұзын өлшемді өзектерін өңдеу бойынша эксперимент жүргізілді. Жөнделетін өзек бетінің кедір-бұдырлығы келесі параметрлерге байланысты: соққы күші; бөлшек ағынының жылдамдығы; бүріктіштен өңделетін бетке дейінгі қашықтық; - бір учаскені өңдеу ұзақтығы; бөлшектің бұрқу бұрышы; бөлшек түрі, оның жалпы сипаттамалары мен қаттылығы; оту саны. Өңдеу процесіне әсер ететін параметрлерге талдау жасалды. бытыралы ағынмен өңдеу процесіне ең көп әсер ететін параметрлер таңдалды. Соққы күші, сиптаманың шабуыл бұрышы, өңдеу уақыты- бұл параметрлер бытыралы ағынмен өңдеу процесіне ең көп әсер ететін. Эксперимент нәтижелері бойынша графикалық тәуелділіктер анықталды. Көп факторлы экспериментті жоспарлау жүргізілді, оның нәтижелері бойынша математикалық тәуелділіктер алынды. Алынған математикалық тәуелділіктерге сәйкес қажетті дәлдік сипаттамаларын алу үшін белгілі бір кіріс параметрлерін орнату арқылы қажетті шығыс параметрлерін алуға болады.

Кілтті сөздер: газотермиялық жабын, бытыралы ағынмен өңдеу, эксперимент, кедір-бұдырлық, ену тереңдігі.

T. Yu. Nikonova¹, *D. S. Zhunuspekov², Yu. D. Yassakov³

^{1,2}Abylka Saginov Karaganda Technical University,

Republic of Kazakhstan, Karaganda;

³Peter the Great St.Petersburg

Polytechnic University, Russian Federation, St.Petersburg.

Material received on 20.07.23.

EMPIRICAL-MATHEMATICAL MODEL OF HYDRAULIC CYLINDER ROD PROCESSING BY JET-ABRASIVE METHOD

This article discusses the processes of preparing the surface of a long rod before applying a gas-thermal coating. Mechanical, chemical, thermal, colloidal, as well as electromechanical methods of surface preparation before coating are considered. The most effective method is shot blasting. The most suitable equipment for shot blasting has been selected. An experiment was carried out on the processing of long rods of quarry equipment. The surface roughness of the repaired rod depends on the following parameters: impact force; the fraction flow rate; the distance from the sprayer to the treated surface; - the duration of processing of one section; the angle of spraying of the fraction; the type of fraction, its overall characteristics and

hardness; the number of passes. The analysis of parameters affecting the processing process is carried out. The parameters that most affect the shot blasting process are selected. The impact force, the angle of attack of the nozzle, the processing time are the parameters that most affect the shot blasting process. Graphical dependencies based on the results of the experiment are derived. Planning of a multifactorial experiment was carried out, according to the results of which mathematical dependencies were obtained. According to the obtained mathematical dependencies, it is possible to obtain the necessary output parameters by setting certain input parameters to obtain the necessary accuracy characteristics.

Keywords: gas thermal coating, shot blasting, experiment, roughness, penetration depth.

Теруге 08.09.23 ж. жіберілді. Басуға 29.09.23 ж. қол қойылды.

Электрондық баспа

5,07 Mb RAM

Шартты баспа табағы 17,61 Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.

Компьютерде беттеген: Е. Е. Калихан

Корректор: А. Р. Омарова, Д. А. Кожас

Тапсырыс № 4133

«Toraighyrov University» баспасынан басылып шығарылған

Торайғыров университеті

140008, Павлодар қ., Ломов көш., 64, 137 каб.

«Toraighyrov University» баспасы

Торайғыров университеті

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

67-36-69

e-mail: kereku@tou.edu.kz

nitk.tou.edu.kz