

УДК 621.793

## РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЙ ВОССТАНОВЛЕНИЯ РАБОЧИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ШТОКОВ ГИДРОЦИЛИНДРОВ

**А. П. ЯЛОВИК**

*ОАО «Нефтезаводмонтаж», Беларусь;*

**М. А. БЕЛОЦЕРКОВСКИЙ**

*Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси, Беларусь;*

**Е. Ф. КОНОВАЛОВА**

*Белорусский национальный технический университет, Беларусь*

*Приведены результаты исследований процессов формирования износо- и коррозионностойких покрытий на поверхности изношенных хромированных штоков гидроцилиндров. Показано, что для соблюдения требований документации, указывающей на необходимость наличия на рабочей поверхности только твердого хрома, необходимо использовать технологию гиперзвуковой металлизации, последующее деформационное плакирование медью и гальваническое осаждение хрома на слой меди. При отсутствии подобных требований восстановление штоков осуществляется способом, определенным по методике, основанной на оценке прочности сцепления покрытий с основой штока исходя из условий его эксплуатации.*

Значительное влияние на долговечность гидропривода строительно-дорожных машин оказывает техническое состояние одного из дорогостоящих и наиболее интенсивно изнашивающихся элементов, каким является шток гидроцилиндра. Работая в повышенной запыленности, на масляной поверхности штока гидроцилиндра оседает пыль, капли влаги и частицы грунта. Перемещаясь, шток увлекает их за собой, что приводит к нарушению герметичности манжет, появлению задиров, рисок, тем самым, загрязняя рабочую жидкость гидросистемы и способствуя повышенному изнашиванию сопряженных деталей гидропривода и как следствие интенсивной утечки жидкости.

Методам восстановления штоков посвящено достаточно большое количество исследований, при этом использовались многие методы газотермического напыления, наплавки, электроискрового легирования, гальванического осаждения. Как правило, выбор потребителем технологии восстановления-упрочнения штоков основывается на результатах чужого или собственного опыта и определяется, в основном, эмпирическим путем

с учетом стоимости оборудования (этим объясняется многообразие примеров восстановления штоков различными способами). Однако во многих случаях, исходя из требований конструкторской документации, рабочая поверхность должна быть покрыта твердым хромом, что не представляется возможным при износах штока более 70–100 мкм.

Авторами разработана технология, включающая предварительную механическую обработку рабочей поверхности штока, нанесение стального покрытия методом гиперзвуковой металлизации распылением проволок выполненных из высокохромистой стали с содержанием углерода не менее 0,4%, шлифование покрытия, нанесение на его поверхность деформационным плакированием щетками слой меди, осаждение слоя твердого хрома. При этом, толщину слоя меди, определяют из выражения:

$$S = A + Bd_0^2 - 0,12d_0, \quad (1)$$

где  $S$  – толщина слоя меди, мкм;  $d_0$  – максимальный диаметр поверхностных пор стального покрытия, мкм;  $A = 5...8$  мкм – коэффициент, зависящий от толщины игл щетки;  $B = (3,8...4,2) \cdot 10^{-3}$  мкм – коэффициент, зависящий от скорости полета и размера распыленных частиц проволоки.

Использование процесса гиперзвуковой металлизации позволяет исключить нагрев восстанавливаемой поверхности выше 120 °С и сохранить механические свойства материала штока, достигнутые различными термообработками в процессе его изготовления. Нанесение слоя меди обеспечивает возможность формирования на нем слоя твердого хрома, используя широко применяемые составы для гальванического осаждения. При этом процесс деформационного плакирования щетками медного слоя взамен химического или электрохимического осаждения легко реализуется и не требует специальных емкостей, растворов и значительного расхода электроэнергии.

Выбор проволоки из высокохромистых сталей (содержание хрома более 14%) обусловлен необходимостью обеспечения высокой коррозионной стойкости покрытия, находящегося под слоем хрома. Даже при незначительном локальном нарушении сплошности хрома (трещина, забоина, царапина, отслаивание) в этих местах развиваются интенсивные процессы разрушения, если материал не способен противостоять коррозии. Но при этом требуется наличие высоких механических свойств, поэтому нержавеющие стали аустенитного класса (типа 12X18Н10Т) использовать нельзя. Твердость наносимого газотермического покрытия должна быть не ниже твердости материала штока после поверхностной закалки. Как

правило, штоки гидроцилиндров и несущие стойки шахтных гидрокрепей изготавливают из стальных поковок 30 ХГСА или 40Х, а перед шлифовкой производят поверхностную закалку до HRC 42...44. Исходя из этого, необходимым сочетанием свойств обладают покрытия из высокохромистых сталей мартенситного класса с содержанием углерода не менее 0,4%. К таким сталям относятся, например, стали типа 40Х13, 45Х14Н14В2М, 65Х13, 95Х18.

Авторами были проведены экспериментальные исследования по деформационному плакированию медью стальных газотермических покрытий металлическими щетками, позволившие установить связь между толщиной слоя меди со 100% сплошностью и максимальным размером (диаметром) поверхностных пор стального покрытия. Покрытия наносились распылением проволок диаметром 1,8 мм из стали 40Х13, изменение пористости покрытий обеспечивалось изменением дистанции напыления. Деформационное плакирование медью осуществлялось на экспериментальной установке конструкции ОИМ НАН Беларуси вращающейся металлической щеткой с проволочным ворсом из гофрированной стальной проволоки, диаметр и ширина щетки составляли соответственно 150 и 15 мм, линейная скорость вращения 35,0...37,0 м/с, диаметр и вылет ворса – 0,25 и 35 мм соответственно. Медный донор, изготовленный в виде таблетки, прижимали к стальному ворсу с усилием 40 Н. Толщина плакирующего слоя измерялась с помощью прибора МТЦ – 3. Шероховатость поверхности по параметру Ra не превышала – 0,8...0,9 мкм. Сплошность, поверхностную пористость покрытий и размеры пор определяли на микроскопе «Polyvar» с помощью программного комплекса «Autoscan». При математической обработке получена приведенная выше зависимость (1) между размером пор покрытий и толщиной слоев меди, имеющих 100% сплошность.

В основу предлагаемой методики определения рационального метода восстановления штоков, когда отсутствуют требования документации по необходимости применения только гальванического хромирования, положена методология выбора материала покрытия и режимов нанесения слоя для защиты изделия, заключающаяся в рассмотрении изделия с покрытием, как элемента динамической системы, рассчитываемого на прочностную надежность. Любые напряжения, вызывающие деформацию всего изделия (в данном случае – штока) или отдельных участков, воздействуют на покрытие, адгезионные и когезионные характеристики которого и будут в конечном итоге определять его работоспособность.

Оценка прочностной надежности покрытия была проведена с помощью эквивалентного напряжения  $\sigma_{\text{экв}}$ , зависящего от вида напряженного

состояния и определенного по теории прочности Мора с помощью так называемой «стержневой модели». После ряда преобразований получено выражение (2), позволяющее с достаточно большой степенью точности определить минимально возможную величину адгезии наносимого при восстановлении штока покрытия. Исходя из данных о необходимой адгезии можно выбрать рациональный метод восстановления в каждом конкретном случае.

Величину прочности сцепления  $\sigma_{cy}$  выбирают из условия

$$\sigma_{-1} > \sigma_{cy} \geq \alpha 0,5 \left[ \frac{FA}{d^2} + FB + \sqrt{\left( \frac{FA}{d^2} - FB \right)^2 + 4fFB} \right], \quad (2)$$

где  $\sigma_{-1}$  – предел выносливости материала штока, Н/м<sup>2</sup>;  $\sigma_{cy}$  – прочность сцепления покрытия со штоком, Н/м<sup>2</sup>;  $\alpha$  – коэффициент запаса прочности, равный 1,15 для давлений рабочей жидкости в гидроцилиндрах до 25 МПа и равный 1,20 для более высоких давлений;  $F$  – осевая сила, действующая на шток со стороны исполнительного механизма, Н;  $d$  – диаметр штока, м;  $f$  – коэффициент трения в трибосопряжении «шток – грундбукса гидроцилиндра»;

$$A = \frac{E_n \Delta l_2}{0,1d E_w l_1} + \frac{4}{\pi},$$

где  $E_n$  и  $E_w$  – модули упругости материалов покрытия и штока соответственно, Н/м<sup>2</sup>;  $\Delta$  – диаметральный зазор между штоком и грундбуксой гидроцилиндра, м;  $l_1$  – длина участка штока, расположенного в гидроцилиндре, м;  $l_2$  – длина участка штока, расположенного за пределами гидроцилиндра, м;

$$B = K \frac{(l_2 - l_1) \Delta}{l_1^3 d},$$

где  $K$  – коэффициент, определяющий величину возможного контактного напряжения в центральной зоне контакта.

Используя предложенную методику было определено, что для восстановления штока гидроцилиндра шнекороторного снегоуборочного комплекса ШРК – 2.0 необходимо использовать способ напыления, обеспечивающий величину прочности сцепления  $\sigma_{cy} \geq 29,5$  МПа.

При восстановлении штока гидроцилиндра автовышки типа П-184Н необходимо использовать способ напыления, обеспечивающий величину прочности сцепления  $\sigma_{cy} \geq 36,5$  МПа.