(19) Евразийское патентное ведомство

(11) 037491 (13) B1

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ

(45) Дата публикации и выдачи патента
2021.04.02

(21) Номер заявки
201800212

(22) Дата подачи заявки
2018.02.28

(51) Int. Cl. ***B23P 6/00*** (2006.01)
C23C 4/04 (2006.01)
C23C 24/04 (2006.01)

(54) СПОСОБ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ШТОКА ГИДРОЦИЛИНДРА

(43) **2019.08.30**
(96) **2018EA/0012 (BY) 2018.02.28**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:
ГОСУДАРСТВЕННОЕ НАУЧНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ "ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ МАШИНОСТРОЕНИЯ НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК БЕЛАРУСИ" (BY)

(72) Изобретатель:
Белоцерковский Марат Артёмович, Гоман Аркадий Михайлович, Яловик Александр Петрович, Сосновский Алексей Валерьевич (BY)

(56) RU-C2-2476300
Молодык Н.В. и др. Восстановление деталей машин. М., "Машиностроение", 1989, с. 26-54, 427-431
RU-C2-2419084
US-A-4486938

(57) Изобретение относится к ремонтному производству, в частности к способам восстановления изношенных штоков гидроцилиндров. Предложен способ восстановления штока гидроцилиндра нанесением износостойкого покрытия и последующей механической обработкой. Согласно изобретению предварительно определяют необходимую величину прочности сцепления покрытия со штоком исходя из величины осевой силы, действующей на шток со стороны исполнительного механизма, геометрических параметров и механических свойств штока, а затем выбирают технологические параметры газотермического напыления, обеспечивающие полученную необходимую величину прочности сцепления износостойкого покрытия, в соответствии с которой осуществляют нанесение покрытия газотермическим напылением на шток гидроцилиндра, причем для определения необходимой величины прочности сцепления износостойкого покрытия используют следующее выражение:

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

где σ_{-1} - предел выносливости материала штока, Н/м^2; $\sigma_{сц}$ - прочность сцепления покрытия со штоком, Н/м^2; α - 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"; $A = \frac{E_n \Delta l_2}{0{,}1 d E_ш l_1} + \frac{4}{\pi}$, где $E_п$ и $E_ш$ - модули упругости материалов покрытия и штока соответственно, Н/м^2; Δ - 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.

037491 B1

037491 B1

Изобретение относится к ремонтному производству, в частности к способам восстановления изношенных штоков гидроцилиндров. Изобретение может быть использовано при реставрации практически всех гидроцилиндров дорожно-строительной, коммунальной, лесозаготовительной, горнодобывающей и другой техники, поскольку износ штоков обусловливает более трети всех отказов систем объемного гидропривода вне зависимости от рабочего цикла, скоростей и усилий, которые развивают рабочие органы.

Известен способ восстановления штока гидроцилиндра, включающий подготовку поверхности, нанесение износостойкого покрытия электролитическим осаждением хрома и последующую механическую обработку [1]. Недостатками известного способа являются малая толщина наносимого слоя (не более 50 мкм) и его низкие значения прочности сцепления с основой, которые не превышают 15 МПа при измерении нормально приложенной силой.

Известен способ восстановления штока гидроцилиндра, включающий удаление дефектного поверхностного слоя штока, подготовку поверхности, нанесение износостойкого покрытия наплавкой порошковыми проволоками под флюсом и последующую механическую обработку [2]. Недостатком известного способа является высокая температура нагрева поверхностного слоя штока, обусловливающая значительные термические деформации и рост усталостных трещин, приводящих к разрушению штока после непродолжительного периода их эксплуатации.

Известен способ восстановления штоков гидроцилиндров, включающий подготовку поверхности, нанесение износостойкого покрытия методом холодного газодинамического напыления металлических порошков и последующую механическую обработку [3, 4]. Данный метод не перегревает поверхность штоков, однако его существенным недостатков является невозможность формирования покрытий из порошков сталей и тугоплавких материалов, что отрицательно сказывается на износостойкости наносимых покрытий.

Известен способ восстановления штока гидроцилиндра [5], включающий выбор технологического приема нанесения покрытия, обеспечивающего максимальные значения прочности сцепления покрытия с основой штока, и последующую механическую обработку. При этом выбрана технология высокоскоростного газопламенного напыления порошков, позволяющая разогнать напыляемые частицы композиционной шихты, содержащей высокотвердый карбид вольфрама, до скоростей более 800 м/с, что обеспечивает адгезию металлокерамических покрытий до 73 МПа и пористость менее 3%. Аналогичным образом выполняют восстановление штоков с изношенным слоем хрома в способах [6, 7]. Однако с развитием техники газотермического напыления постоянно возрастают достигаемые значения прочности сцепления покрытий, при этом себестоимость процессов непрерывно увеличивается. Так, на сегодняшний день себестоимость нанесения одного килограмма покрытия (без стоимости материала покрытия) по способу высокоскоростного газопламенного напыления [5] составляет более 70 долларов США. С учетом стоимости наносимого материала (110-130 долларов за 1 кг) реализация способа оправдана только для штоков стоимостью более 300 долларов.

Наиболее близким по технической сущности заявляемому способу является способ восстановления штока гидроцилиндра [8] нанесением износостойкого покрытия плазменным напылением, выбранным путем технико-экономического сравнения показателей способов восстановления-упрочнения, и последующей механической обработкой.

Недостатками известного способа являются: сложность реализации процесса плазменного напыления, заключающаяся в необходимости подключения плазмотрона к источнику воды для охлаждения сопла; высокая стоимость порошковых материалов для плазменного напыления; относительно невысокие значения прочности сцепления на отрыв износостойких покрытий (не более 40 МПа).

Основным недостатком всех известных технологий восстановления штоков гидроцилиндров газотермическим методом является невозможность оценки области их применения исходя из нагрузок, действующих на шток. Очевидно, что для тяжело нагруженных штоков требуется технология напыления, обеспечивающая значительные величины прочности сцепления, а для штоков с небольшими нагрузками - меньшие значения прочности сцепления. Поскольку затраты на восстановление могут отличаться в несколько раз, следует выбирать технологические приемы газотермического напыления исходя из показателей прочностной надежности наносимых покрытий.

Задачей изобретения является снижение энергозатрат и упрощение реализации способа путем определения наиболее рационального диапазона использования любого метода формирования покрытий в практике восстановления штоков.

Для решения поставленной задачи в способе восстановления штока гидроцилиндра нанесением износостойкого покрытия и последующей механической обработкой согласно изобретению предварительно определяют необходимую величину прочности сцепления покрытия со штоком исходя из величины осевой силы, действующей на шток со стороны исполнительного механизма, геометрических параметров и механических свойств штока, а затем выбирают технологические параметры газотермического напыления, обеспечивающие полученную необходимую величину прочности сцепления износостойкого покрытия, в соответствии с которой осуществляют нанесение покрытия газотермическим напылением на шток гидроцилиндра, причем для определения необходимой величины прочности сцепления износостойкого покрытия используют следующее выражение:

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

где σ_{-1} - предел выносливости материала штока, Н/м^2;

$\sigma_{сц}$ - прочность сцепления покрытия со штоком, Н/м^2;

α - 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";

$A = \frac{E_n \Delta l_2}{0{,}1 d E_ш l_1} + \frac{4}{\pi}$, где $E_п$ и $E_ш$ - модули упругости материалов покрытия и штока соответственно, Н/м^2;

Δ - 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.

В основу заявляемого способа 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.

Значения коэффициента запаса прочности α были выбраны с учетом результатов работ, посвященных экспериментальному исследованию работоспособности восстановленных штоков [9-11]. Значения коэффициента K определяют величину возможного контактного напряжения в центральной зоне контакта [12].

Оценка прочностной надежности покрытия была выполнена с использованием величины эквивалентного напряжения $\sigma_{экв}$, зависящего от вида напряженного состояния и определенного по теории прочности Мора с помощью т.н. "стержневой модели" [13]. После ряда преобразований известных выражений получено выражение (1), позволяющее с достаточно большой степенью точности определить минимально возможную величину адгезии наносимого при восстановлении штока покрытия. Максимально возможная величина адгезии не может превышать величину предела выносливости материала штока (σ_{-1}), поскольку этот показатель ограничивает работоспособность всего штока.

Снижение энергозатрат при реализации предлагаемого способа, по сравнению с прототипом, обусловлено использованием не только того энергоемкого метода газотермического напыления, который обеспечит максимально возможную прочность сцепления покрытий с основой, но и метода, выбранного с учетом динамических параметров гидроцилиндра, реализация которого требует значительно меньших затрат. Так, для большинства известных дорожно-строительных, подъемно-транспортных, коммунальных, мелиоративных и сельскохозяйственных машин, гидроцилиндры которых работают в диапазоне давлений рабочей жидкости 16-32 МПа, прочность сцепления на отрыв [14, 15], определенная по заявляемому способу, может не превышать 45 МПа, что достигается относительно дешевыми методами, такими как, например, активированная электродуговая металлизация.

Для оценки возможности использования различных методов газотермического напыления при восстановлении штоков были аналитическим путем определены максимальные напряжения, возникающие в поверхностном слое штоков, и полученные величины сравнивали с адгезией покрытий, нанесенных с использованием различного оборудования. При этом учитывались самые неблагоприятные условия работы штоков.

Пример 1. Восстанавливали 2 штока гидроцилиндра шнекороторного снегоуборочного комплекса ШРК-2.0. Материал штока - сталь 40Х, диаметр штока 40 мм, давление рабочей жидкости в гидроцилиндре - около 22 МПа. Первый шток восстанавливали по способу-прототипу с помощью установки плазменного напыления МТ-Р-1000, работающей на смеси аргона (100 л/мин), азота (50 л/мин), водорода (20 л/мин). Материал покрытия - смесь порошков карбида хрома и нержавеющей стали. Прочность сцепления с основой, определенная на образцах-свидетелях отрывом штифта нормально приложенной нагрузкой, составила 42-45 МПа. Затраты только на напыление без механической обработки составили 52 долл. США.

Восстановление второго штока по заявляемому способу осуществлялось в следующей последовательности. Определялись механические характеристики штока и покрытия, используя стандартные методики [16]: $E_п$ - $1 \cdot 10^{11}$ Н/м; $E_ш$ - $2{,}15 \cdot 10^{11}$ Н/м; Δ - $50 \cdot 10^{6}$ м; l_1 - 0,075 м; l_2 - 0,8 м; K - 1,4305; f - 0,08; F - 10^5 Н. Для стали 40Х, из которой изготовлен шток, предел выносливости σ_{-1} составляет 230 МПа.

После чего определили минимально возможную величину прочности сцепления, которая из уравнения (1) составляет 29,5 МПа. Согласно условию (1) величина прочности сцепления покрытия со штоком должна быть в пределах $230>\sigma_{сц}\geq 29{,}5$ МПа. Выбирали технологический прием, позволяющий обеспечить данную величину прочности сцепления при рациональном соотношении цены и качества - была использована технология традиционной электродуговой металлизации [17], реализованная на модернизированном металлизаторе ЭМ-14 производства ООО "Барнаульский аппаратурно-механический завод". В качестве наносимого материала использовали проволоку из стали мартенситного класса 40Х13. Прочность сцепления с основой составила 31,5-33,5 МПа. Затраты на полное восстановление штока, включающее шлифование и полирование покрытия, составили около 17 долл. США, что более, чем в 3 раза ниже, чем по способу-прототипу.

Оба штока находились в условиях подконтрольной эксплуатации, которая показала, что за период ноябрь 2016 г. - март 2017 г. нанесенные покрытия не претерпели видимых изменений, утечек рабочих жидкостей из гидроцилиндров не наблюдалось.

Пример 2. Восстанавливали два штока гидроцилиндра автовышки типа П-184Н. Материал штока - сталь 40Х , диаметр штока 52 мм, давление рабочей жидкости в гидроцилиндре - около 30 МПа. Первый шток восстанавливали по способу-прототипу с помощью установки плазменного напыления МТ-Р-1000. Материал покрытия - смесь порошков карбида хрома и нержавеющей стали. Прочность сцепления с основой, определенная на образцах-свидетелях отрывом штифта нормально приложенной нагрузкой, составила 42-45 МПа. Затраты только на напыление без механической обработки составили около 56 долл. США.

Восстановление второго штока по заявляемому способу было осуществлено в следующей последовательности. Определялись механические характеристики штока и покрытия, используя стандартные методики [16]: $E_п$ - 1, $15\cdot10^{11}$ Н/м; $E_ш$ - $2{,}15\cdot10^{11}$ Н/м; Δ - $60\cdot10^{6}$м; l_1 - 0,08 м; l_2 - 0,95 м; K - 1,4305; f - 0,08; F - $1{,}6\cdot10^{5}$ Н. Для стали 40Х, из которой изготовлен шток, предел выносливости σ_{-1} составляет 230 МПа. После чего определили минимально возможную величину прочности сцепления, которая из уравнения (1) составляет 36,5 МПа. Согласно условию (1) величина прочности сцепления покрытия со штоком должна быть в пределах $230>\sigma_{сц}\geq 36{,}5$ МПа. Выбирали технологический прием, позволяющий обеспечить данную величину прочности сцепления при рациональном соотношении цены и качества - была использована технология гиперзвуковой металлизации [18, 19], реализованная на установке АДМ-10, изготовленной в ОИМ НАЛ Беларуси. Наносимый материал - проволока из стали 95Х18. Прочность сцепления с основой составила 46,5 - 53,0 МПа. Затраты на полное восстановление штока, включающее шлифование и полирование покрытия, составили около 29 долл. США.

Подконтрольная эксплуатация показала, что в течение 11 месяцев поверхность покрытий не изменилась, утечек рабочих жидкостей из гидроцилиндров не наблюдалось.

Таким образом, предложенный способ восстановления штоков гидроцилиндров существенно отличается от известного, позволяет значительно снизить материальные затраты и упростить реализацию, определить аналитическим путем наиболее оптимальный метод восстановления штока любого типа гидроцилиндра.

Источники информации

1. Корчмарь А.Г. Разработка технологии восстановления и упрочнения электролитическими покрытиями длинномерных валов сельскохозяйственных машин на примере штоков гидроцилиндров. - автореферат канд. дисс. Кишинев, МолдСХА, 1991. - 23 с.

2. Голякевич А.А., Орлов Л.Н., Студент М.М, Похмурская Г.В., Червинская Н.Г. Влияние фазового состава и термической обработки наплавленных слоев штоков гидроцилиндров на их локальную коррозию // Вопросы материаловедения, 2015, № 1(81), с. 133-142.

3. Клюев О.Ф., Каширин А.И., Шкодкин А.В. Технология нанесения металлических покрытий. Часть 1. Процесс формирования покрытия // Сварщик, №4, 2003, с.25-27.

4. Технология ДИМЕТ для ремонта штоков гидроцилиндров. - Электронный ресурс // http://www.dymet-rus.ru/article/remont_statiy/shtokov.htm. Дата доступа 12.10.2017 г.

5. Ремонт штоков гидравлического привода. - Электронный ресурс // http://solutions.plackart.com/details/27/. Дата доступа 12.10. 2017 г.

6. Verstak A.: Baranovski V.: Activated Combustion HVAF Coatings for Protection against Wear and High Temperature Corrosion. Proceedings of the International Thermal Spray Conference 2003, Orlando, FL, USA, ASM International, Materials Park, Ohio, USA, 2003, p. 535-541.

7. Bolelli G, Giovanardi R, Lusvarghi L, Manfredini T. Corrosion resistance of HVOF-sprayed coatings for hard chrome replacement. Corrosion Science, 48(11), 2006.-P. 3375-3397.

8. Савинкин В.В. Повышение долговечности восстановленных деталей элементов гидропривода строительно-дорожных машин : автореферат диссертации ... к.т.н. : 05.05.04. Омск, 2010.-22 с.

9. Жетесова Г.С, Жаркевич О.М. Характерные повреждения элементов гидростоек механизированных крепей и способы их восстановления // Вестник КазНТУ. 2012, №1, с. 84-87.

10. Гринчар Н.Г. Методы и средства повышения эксплуатационной надежности гидроприводов до-

рожных и строительных машин - дисс. докт. техн. наук. - М.: ГОУВПО Московский государственный университет путей сообщения, 2007, 312 с.

11. Величко С.А., Чумаков П.В. Восстановление штоков гидроцилиндров комбинированным методом // Сельский механизатор. - 2011, №7, с. 36-37.

12. Усов П.П. Определение зоны контакта и контактных напряжений при внутреннем соприкосновении цилиндрических тел // Машиноведение. - 1981, №6, с.75-81.

13. Коловский М.Э. Динамика машин. - Л.: Машиностроение, 1989, 283 с.

14. А.с. СССР № 1809370. Образец для определения прочности сцепления покрытия с подложкой // Тимашев С.А., Фоминых В.В., Фоминых Е.В., Филимонов Б.В. Опубл. 15.04.1993 г.

15. Патент РФ №2419084. Способ определения прочности сцепления покрытия с подложкой и устройство для его осуществления // Ненашев М.В., Ибатуллин И.Д., Тюрнина ТА., Балашов Е.С., Якунин К.П., Кобякина О.А. Опубл. 20.01.2011 г., бюл. №2.

16. Механические свойства металлов и сплавов и методы их определения: методические указания. // Сост. Т.Ю. Малеткина. - Томск: Изд-во Том. гос. ун-та, 2015, 57с.

17. Бороненков В.Н., Коробов Ю.С. Основы дуговой металлизации . - Екатеринбург : Изд-во Урал, ун-та : Университетское изд-во, 2012. 258 с.

18. Евразийский патент № 024778. Способ гиперзвуковой металлизации и устройство для его осуществления // Белоцерковский М.А., Дюжев А.А., Прядко А.С., Черепко А.Е., Скворцов В.А., Сосновский А.В. Опубл. 31.10. 2016 г.

19. Белоцерковский М.А., Плющевский И.Н., Сосновский А.В. Гиперзвуковая металлизация - эффективная ресурсосберегающая технология // Экономический бюллетень. - 2017, №4, с. 40-44.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

Способ восстановления штока гидроцилиндра путем нанесения износостойкого покрытия газотермическим напылением и последующей механической обработкой, отличающийся тем, что предварительно определяют необходимую величину прочности сцепления покрытия со штоком исходя из величины осевой силы, действующей на шток со стороны исполнительного механизма, геометрических параметров и механических свойств штока, а затем выбирают технологические параметры газотермического напыления, обеспечивающие полученную необходимую величину прочности сцепления износостойкого покрытия, в соответствии с которой осуществляют нанесение покрытия газотермическим напылением на шток гидроцилиндра, причем для определения необходимой величины прочности сцепления износостойкого покрытия используют следующее выражение:

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

где σ_{-1} - предел выносливости материала штока, Н/м^2;

$\sigma_{сц}$ - прочность сцепления покрытия со штоком, Н/м^2;

α - 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";

$A = \frac{E_п \Delta l_2}{0{,}1 d E_ш l_1} + \frac{4}{\pi}$,где $E_п$ и $E_ш$ - модули упругости материалов покрытия и штока соответственно, Н/м^2;

Δ - 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.