

УДК 621.9.047.7.785.5

Е.А. ФРОЛОВ<sup>1</sup>, А.Л. КОМАРОВА<sup>2</sup>, Л.Г. МАРТЫНЕНКО<sup>3</sup><sup>1</sup> *Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского „ХАИ”, Украина*<sup>2</sup> *Украинская государственная академия железнодорожного транспорта, Украина*<sup>3</sup> *Харьковский торгово-экономический институт**Киевского национального торгово-экономического университета, Украина*

## УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ПАРОТЕРМИЧЕСКОГО ОКСИДИРОВАНИЯ

Разработан технологический процесс, который позволяет наносить оксидные покрытия на различные изделия из железоуглеродистых сплавов в среде перегретого пара с наложением электрического поля. Определены оптимальные параметры технологического процесса.

**технологический процесс, оксидные покрытия, паротермическое оксидирование, электрическое поле, триботехнические свойства, среда перегретого пара**

### Введение

В настоящее время для улучшения триботехнических свойств изделий аэрокосмической отрасли и транспортного машиностроения широкое применение в производстве нашло паротермическое оксидирование. Это объясняется тем, что среда чистого перегретого пара обладает рядом преимуществ: безвредность; невысокая стоимость; доступность и низкое парциальное давление кислорода.

Паротермическое оксидирование применяется для повышения износостойкости пар трения, повышения стойкости режущего инструмента, сопротивляемости коррозии, получения электроизоляционных покрытий и др. [1].

Основными параметрами технологического процесса паротермического оксидирования является температура процесса и его продолжительность.

Практика обработки деталей в среде пара показывает, что на структуру покрытий помимо температуры, длительности процесса, существенное влияние оказывают условия нагрева и охлаждения. В этой связи выбору параметров технологического процесса паротермического оксидирования и установлению оптимального соотношения между харак-

тером структуры и уровнем свойств уделяется серьезное внимание. Неправильное проведение обработки может служить причиной получения некачественного покрытия.

### Формулирование проблемы

**Анализ последних исследований и достижений.** Анализ работ, посвященных исследованию термической обработки изделий в атмосфере перегретого водного пара, показывает, что износостойкость оксидных пленок улучшается, когда они содержат небольшое количества гематита, обладают способностью впитывать смазку и имеют толщину порядка 5 – 10 мкм [2]. Пленки, обладающие такими свойствами, получают парооксидированием при температуре близкой 600 °С. Следовательно, парооксидирование позволяет получать защитные покрытия с высокими триботехническими свойствами на изделиях, которые подвергаются термической обработке: закалке и высокому отпуску. Сформировать защитную пленку, обладающую высокой износостойкостью, на изделиях, которые подвергаются среднему и низкому отпуску, при помощи паротермического оксидирования не представляется возможным.

Как показывает анализ механизма окисления железоуглеродистых сплавов, это обусловлено тем, что при температурах среднего и низкого отпуска при паротермическом оксидировании образуются пленки толщиной менее 1 мкм.

С физической точки зрения, при низких температурах атомы насыщающей среды и металла, на котором образуется оксидный слой, обладают низким уровнем тепловой энергии.

$$W = \frac{3}{2}kT, \quad (1)$$

где  $k$  – постоянная Больцмана;  $T$  – температура.

При низких энергиях атомов физико-химические процессы, происходящие на границе металл-насыщающая среда и обеспечивающие образование оксидного слоя, замедляются. Образование востита невозможно при тепловой энергии соответствующей температуре ниже 575 °С.

Анализ существующих методов нанесения оксидных пленок показывает, что необходим поиск средств для интенсификации процесса паротермического оксидирования.

Повысить энергию атомов и молекул насыщающей среды и оксида без повышения температуры обрабатываемого изделия возможно, например, при помощи электромагнитного поля.

При паротермическом оксидировании обработка изделий происходит в перегретом паре под избыточным атмосферным давлением. При таких давлениях перевод перегретого пара в состояние плазмы при помощи электрического поля является невыполнимой технической задачей.

Следовательно, используемые в известных методах способы интенсификации процесса поверхностной обработки изделий с помощью электрического поля при парооксидировании неприменимы.

Анализ известных методов поверхностной обработки изделий при помощи электрического поля показывает, что электрическое поле неоднозначно влияет на формирование оксидных пленок. В одних случаях электрическое поле интенсифицирует обра-

зование оксидных пленок, в других – замедляет, и даже может разрушить поверхность покрытия [5]. Этот факт указывает на то, что для различных насыщающих сред, их физического состояния, геометрии поверхности изделия существуют свои оптимальные параметры электрического поля, обеспечивающие интенсификацию процесса образования покрытия.

Чтобы определить оптимальные параметры процесса обработки изделий из железоуглеродистых сплавов при паротермического оксидирования с наложением электрического поля, необходимо исследовать влияние электрического поля на формирование оксидной пленки в широком диапазоне напряженностей [3].

Для решения поставленных задач необходима разработка технологического процесса паротермического оксидирования с наложением электрического поля.

**Постановка задачи.** Целью данной работы является разработка технологического процесса нанесения покрытий на железоуглеродистые сплавы в среде перегретого пара с наложением электрического поля и определение его оптимальных параметров.

## Решение проблемы

**Выбор оптимальных параметров.** Процесс нанесения покрытий на поверхность железоуглеродистых сплавов при паротермическом оксидировании зависит от температуры, времени обработки, напряженности электрического поля и полярности потенциала поданного на изделие.

Результаты проведенных исследований позволяют выбрать оптимальные значения этих параметров.

Выбор температурного режима обработки образцов определяется большим количеством исходных требований: необходимым фазовым составом оксидного покрытия, температурой термической обработки изделия, необходимой толщиной защитного покрытия, временем обработки изделия. Если изделие подвергалось ТО: закалке и среднетемпературному отпуску, то с применением электрического

поля при температуре 450 °С и одному часу обработки, толщина защитной пленки будет 5 мкм.

Выбор оптимального напряжения обусловлен целым рядом факторов:

а) пробивным значением напряженности электрического поля в насыщающей среде;

б) условием существенного влияния электрического поля на физико-химические процессы, происходящие при формировании покрытия;

в) необходимой скоростью покрытия.

Проведенные исследования показывают, что электрическое поле начинает оказывать существенное влияние на физико-химические процессы, происходящие при формировании покрытий, при значении напряженности электрического поля больше, чем  $10^6$  В/м.

Следовательно, значение напряженности электрического поля, равное  $2 \cdot 10^6$  В/м удовлетворяет всем необходимым условиям и является оптимальным.

Ограничившись толщиной покрытия в 5 мкм (при этой толщине защитного покрытия слои гематита и магнетита будут практически такими же, как и в защитном покрытии, полученном при 600 °С без электрического поля), находим время обработки изделия равным 60 мин.

**Разработка технологического процесса.** Технологический процесс должен включать:

- подготовку изделия;
- обработку и проверку качества покрытия.

При подготовке изделия к обработке его необходимо измерить с целью выявления коробления и равномерности нанесения поверхностного слоя в процессе обработки.

Электро-химико-термическая обработка изделия включает следующие операции:

- \* прогрев печи;
- \* загрузка изделия и герметизация реторты;
- \* подача напряжения на изделие;
- \* продувка реторты;
- \* выход установки на рабочий режим;

\* обработка изделия перегретым паром и электрическим полем;

\* охлаждение реторты с изделием;

\* отключение напряжения от изделия;

\* выгрузка изделия.

Обработку проводили на разработанной установке, изготовленной на базе шахтной печи СШП 5,7,5/6 [4].

Контроль температуры обеспечивался с помощью электронного потенциометра. Источником напряжения служил высоковольтный выпрямитель, позволяющий плавно изменять напряжение от 0 до 15 кВ, при токе в электрической цепи не более 100 мА. Источником перегретого пара служила вода, поступающая из емкости через парообразователь в реторту.

Для печи СШП 5,7,5/6 прогрев до температуры 330 °С длится 35 минут. На загрузку деталей и герметизацию реторты, как показали испытания, необходимо 10 минут, учитывая производительность труда рабочих.

После загрузки необходимо подать на детали напряжение с положительным потенциалом и из рабочего пространства реторты вытеснить воздух, так как в присутствии воздуха, при дальнейшем нагреве деталей, на их поверхности будут образовываться нежелательные окислы. Для вытеснения воздуха в рабочее пространство реторты необходимо подавать пар в течение 10 минут.

Учитывая мощность нагревательных элементов печи, выход установки на рабочий режим 450 °С длится 20 минут.

Обработка перегретым водным паром при температуре 450 °С осуществляется в течение 1 часа. После этого необходимо произвести охлаждение печи от 450 до 330 °С, отключить подачу пара и напряжение, выгрузить детали и охладить на воздухе.

Исследуемые образцы были обработаны по технологическому процессу, графически представленному на рис. 1.

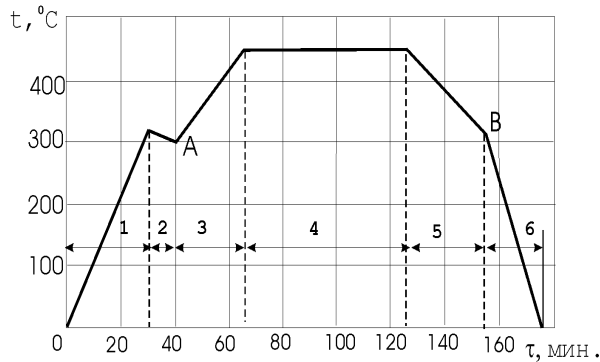


Рис. 1. Схема технологического процесса паротермического оксидирования:

- 1 – прогрев печи;
- 2 – прогрев изделия на воздухе;
- 3 – прогрев изделия в паровоздушной смеси;
- 4 – выход на рабочий режим;
- 5 – обработка в рабочем режиме;
- 6 – охлаждение;
- 7 – охлаждение на воздухе либо в масле;
- А – загрузка изделия;
- В – подача перегретого водного пара;
- С – прекращение подачи водного пара

**Результаты испытаний.** Для выявления эффективности применения новой технологии были проведены сравнительные испытания защитных покрытий на триботехнические свойства (износостойкость, задиростойкость, прирабатываемость, коэффициент трения). На образцы наносились защитные покрытия по разработанной технологии и технологии чистого пароксидирования. Образцы изготавливались из стали 45.

Сравнительный анализ приведенных результатов исследования показывает, что обработка изделий в атмосфере перегретого пара воды и электрического поля при температуре 450 °С приводит практически к таким же износостойким результатам, как и обработка обычным пароксидированием при температуре 600 °С.

Следовательно, разработанная технология обработки изделий из железоуглеродистых сплавов в атмосфере перегретого водного пара и электрического поля позволяет создавать защитные покрытия на изделиях, которые проходят предварительную термическую обработку: закалку и средний отпуск.

## Заключение

Разработан технологический процесс, позволяющий наносить оксидные покрытия на различные изделия из железоуглеродистых сплавов в среде перегретого пара с наложением электрического поля.

Определены оптимальные параметры технологического процесса. Напряженность электрического поля  $2 \cdot 10^6$  В/м, время выдержки 1 час, температура 450 °С.

Установлено влияние электрического поля, применяемого при паротермическом оксидировании изделий из железоуглеродистых сплавов, на триботехнические характеристики оксидных пленок.

## Литература

1. Гладкова Е.Н. Теоретические основы и технология паротермического оксидирования. – Саратов: СГУ, 1973. – 103 с.
2. Тимофеева Л.А. Наукові та практичні основи екологічно чистої хіміко-термічної обробки залізоуглецевих сплавів із застосуванням водних розчинів солей: Автореф. д-р техн. наук. – К., 1992. – 29 с.
3. Тимофеева Л.А., Комарова А.Л. Управление и интенсификация процессов ХТО с применением электрического поля // Збірник наукових праць УкрДАЗТ. – Х.: УкрДАЗТ, 2004. – Вип. 61. – С. 63-70.
4. Тимофеева Л.А., Солнцев Л.О., Комарова Г.Л., Мартиненко Л.Г. Спосіб нанесення поверхневого шару на вироби з металів та пристрій для його здійснення. Пат. № 25737А от 30.10.98, Україна.
5. Бабад-Захряпин А.А., Кузнецов Г.Д. Химико-термическая обработка в тлеющем разряде. – М.: Атомиздат, 1975. – 175 с.

Поступила в редакцию 29.05.2007

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. Е.Б. Кондусова, Украинская государственная академия железнодорожного транспорта, Харьков.