

УДК 621.357

ИСПЫТАНИЯ ПОКРЫТИЙ ПРИ ПЕРЕМЕННЫХ НАГРУЗКАХ TESTS COATINGS UNDER VARIABLE LOADS

Н. Л. Венедиктов, А. Н. Венедиктов, И. М. Ковенский
N. L. Venediktov, A. N. Venediktov, I. M. Kovenskiy

Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень

*Ключевые слова: электролитические покрытия; усталостные испытания;
экспериментальная установка*

Key words: electrolytic coatings; fatigue; testing; experimental laboratory – scale plant

Электролитическое осаждение металлических покрытий для повышения конструкционной прочности, износо- и коррозионной стойкости узлов и деталей машин используется достаточно широко. В процессе эксплуатации детали с покрытиями часто испытывают переменные нагрузки, которые не могут не влиять на качество и срок службы изделий в целом.

На усталостные характеристики оказывают влияние такие различные факторы как структура контактирующих материалов, наличие переходной зоны, пористость, шероховатость и толщина покрытия, величина и знак внутренних напряжений, режим нагружения, среда эксплуатации и др. Между тем, исследованию влияния переменных нагрузок на структуру и свойства покрытий посвящено ограниченное количество публикаций, не носящих системный характер. Такая ситуация во многом обусловлена отсутствием специализированного оборудования, позволяющего проводить усталостные испытания образцов малого поперечного сечения. Предлагаемая авторами конструкция установки и методика испытаний образцов с покрытиями в режиме переменных нагрузок в определенной степени восполняет этот пробел.

При проектировании установки учитывалось, что для корректной оценки взаимного влияния материалов подложки и покрытия образец должен иметь толщину подложки, соизмеримую с толщиной покрытия. Кроме того, нагружение образца должно производиться равномерно, чтобы материалы покрытия и подложки испытывали напряжения, постоянные по всей длине образца.

Анализ схем нагружения (рис. 1) показал, что таким условиям в наибольшей степени удовлетворяет схема с повторно-переменным растяжением образца [1]. В соответствии с этим была изготовлена установка для усталостных испытаний образцов с покрытиями при нагрузке до 5 кН [2], кинематическая схема которой приведена на рис. 2.

Цикл напряжений знакопеременный, симметричный	Чистый изгиб при вращении	
	Поперечный изгиб при вращении	
Цикл напряжений: знакопеременный симметричный; знакопеременный несимметричный; знакопостоянный	Чистый изгиб в одной плоскости	
	Поперечный изгиб в одной плоскости	
	Повторно-переменное растяжение сжатие	
	Повторно-переменное кручение	

Рис. 1. Схемы нагружения образцов переменными силами

В установке образец с покрытием закреплен в зажимах, имеющих возможность возвратно-поступательного движения в направляющих.

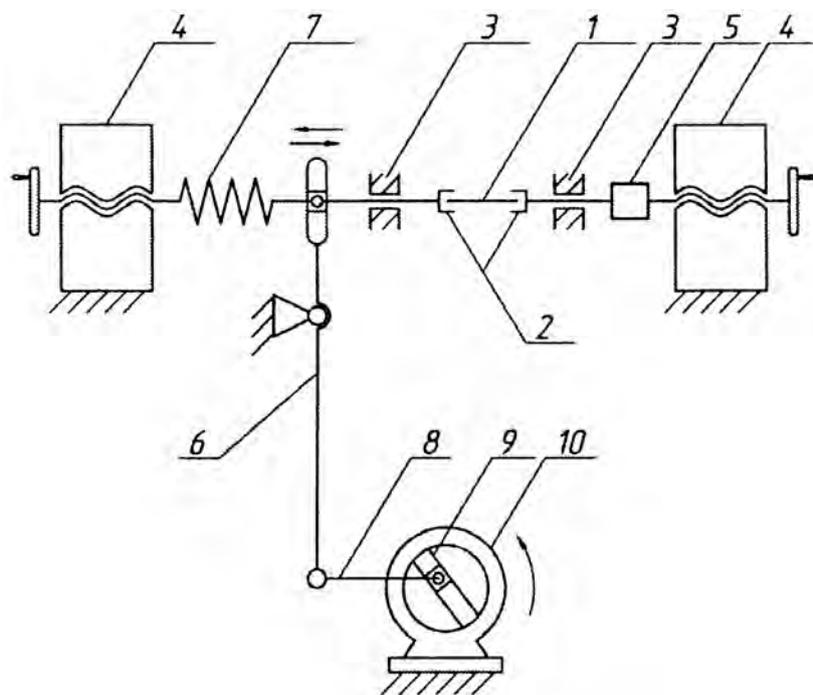


Рис. 2. Кинематическая схема установки:

1 — образец; 2 — зажимы; 3 — направляющие; 4 — механизмы поступательного перемещения; 5 — динамометр; 6 — коромысло; 7 — пружина; 8, 9 — кривошип; 10 — электродвигатель

Один зажим соединен с механизмом поступательного перемещения через динамометр. Динамометр оборудован тензодатчиками, регистрирующими величину растягивающего усилия, прикладываемого к образцу. Сигнал с тензодатчиков через усилитель и аналого-цифровой преобразователь подается на компьютер, который позволяет с помощью специальной программы контролировать и регистрировать величину и амплитуду прикладываемой к образцу переменной нагрузки, частоту колебаний и число циклов нагружения.

Второй зажим соединен с коромыслом и через пружину с механизмом поступательного перемещения. При приложении растягивающей нагрузки к образцу механизмами поступательного перемещения часть нагрузки компенсируется растягивающейся пружиной, а коромысло находится в нейтральном положении. С помощью кривошипно-коромыслового механизма задается амплитуда колебаний образца. Конструкция кривошипа позволяет изменять его размеры, за счет чего устанавливается необходимая для исследований амплитуда напряжений в образце. Благодаря разной длине плеч коромысла, на кривошип и электродвигатель действует нагрузка в несколько раз меньше, чем на образец, что увеличивает срок их службы и облегчает настройку параметров испытания. В установке использован электродвигатель постоянного тока с регулируемой частотой вращения, позволяющий возбуждать колебания с частотой до 30 Гц, значительно сокращая время проведения испытаний.

Прикладываемая растягивающая нагрузка вызывает в образце для испытания (рис. 3) напряжение и деформацию, причем деформация покрытия и подложки, в направлении приложения силы, одинакова по величине.

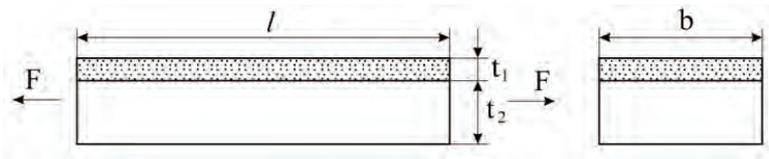


Рис. 3. Образец для испытаний

Так как свойства материала подложки и покрытия, как правило, разные, то напряжение в покрытии и подложке, вызванные нагрузкой, отличаются. Пользуясь обобщенным законом Гука для плосконапряженного состояния при одноосном растяжении, произведен расчет и установлены зависимости напряжений в покрытии σ_{x1} и подложке σ_{x2} от прикладываемой силы, площадей поперечного сечения подложки и покрытия, а также констант упругости (модуль Юнга E и коэффициент Пуассона μ) материалов подложки и покрытия:

$$\sigma_{x1} = \frac{E_1 \cdot A \cdot B \cdot F}{E_1 \cdot A \cdot B \cdot b \cdot t_1 + E_2 \cdot C \cdot D \cdot b \cdot t_2},$$

$$\sigma_{x2} = \frac{E_2 \cdot C \cdot D \cdot F}{E_1 \cdot A \cdot B \cdot b \cdot t_1 + E_2 \cdot C \cdot D \cdot b \cdot t_2},$$

где t_1, t_2 — толщина покрытия и подложки, соответственно; b — ширина образца; F — сила растяжения; $A = 1 + \mu_1^2$; $B = (1 - \mu_2)^2$; $C = 1 + \mu_2^2$; $D = (1 - \mu_1)^2$.

Установленные зависимости позволяют рассчитать с учетом взаимного влияния напряжения в покрытии и подложке от прикладываемой растягивающей силы и назначить режимы усталостных испытаний в зависимости от характеристик контактирующих материалов.

Величина растягивающей переменной нагрузки определяется из условия, что при своем максимальном значении она не будет вызывать напряжения, превышающие предел прочности материала, имеющего минимальное значение этой характеристики в системе покрытие — подложка, обеспечивая, тем самым, проведение испытаний в области упругой деформации.

Список литературы

1. Тушинский Л. И., Плохов А. В., Токарев А. О., Синдеев В. И. Методы исследования материалов. — М.: Мир, 2004. — 384с.
2. Венедиктов Н. Л., Ковенский И. М., Венедиктов А. Н. Экспериментальная техника и методика проведения испытаний гальванических покрытий при переменных нагрузках // Гальванотехника и обработка поверхности. — 2014. — Т. XXII. — № 3. — С. 54-56.

Сведения об авторах

Венедиктов Николай Леонидович, к. т. н., доцент кафедры материаловедения и технологии конструкционных материалов, Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень, тел. +7(3452)283611, e-mail: mtkm5@tsogu.ru

Венедиктов Анатолий Николаевич, к. т. н., доцент кафедры материаловедения и технологии конструкционных материалов, Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень, тел. +7(3452)283611, e-mail: mtkm5@tsogu.ru

Ковенский Илья Моисеевич, д. т. н., профессор, заведующий кафедрой материаловедения и технологии конструкционных материалов, Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень, тел. +7(3452)283610, e-mail: imkoven@tsogu.ru

Information about the authors

Venediktov N. L., Candidate of Engineering Sciences, associate professor of department of «Material Science and Structural Materials Technology», Industrial University of Tyumen, Tyumen, phone: +7(3452)283611, e-mail: mtkm5@tsogu.ru

Venediktov A. N., Candidate of Engineering Sciences, associate professor of department of «Material Science and Structural Materials Technology», Industrial University of Tyumen, Tyumen, phone: +7(3452)283611, e-mail: mtkm5@tsogu.ru

Kovenskiy I. M., Doctor of Engineering Science, professor, Head of department of «Material Science and Structural Materials Technology», Industrial University of Tyumen, Tyumen, phone: 8(3452)283610, e-mail: imkoven@tsogu.ru