

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМА ФОРМИРОВАНИЯ ТОПОГРАФИИ ПОВЕРХНОСТИ В ПРОЦЕССЕ ЭЛЕКТРОИМПУЛЬСНОГО ПОЛИРОВАНИЯ

Ю. В. Синькевич, А. А. Гриневич, И. Н. Янковский
Белорусский национальный технический университет, Минск

Приведены методика и результаты исследования профилограмм электроимпульсно полированных поверхностей образцов из сталей 10 и 20Х13 с помощью корреляционного преобразования. Установлено, что в процессе полирования формирование топографии поверхности происходит за счет одновременного с равной вероятностью и равной интенсивностью сглаживания микро- и субмикронеровностей поверхности.

Известно, что в структуру шероховатости поверхности входят как закономерно, так и случайно расположенные неровности [1, 2]. Поэтому реальный профиль поверхности, полученный в результате ее обработки различными методами, представляет собой композицию систематической и случайной составляющих. Систематическая составляющая профиля обусловлена факторами, постоянно действующими в процессе обработки, и представляет собой основные микронеровности, которые на поверхности расположены определенным образом. Случайная составляющая образуется за счет воздействия различных нерегулярных технологических и физических факторов и накладывается на поверхность основных микронеровностей. Она имеет вероятностный характер и является реализацией случайной стационарной функции [2].

Механизм формирования топографии поверхности при электроимпульсном полировании (ЭИП) достаточно сложен, включает в себя физические, химические, геометрические и технологические аспекты, которые взаимосвязаны и на сегодняшний день мало изучены.

Цель работы – исследование вероятностно-статистическими методами механизма формирования топографии поверхности в процессе ЭИП путем корреляционного преобразования профилограмм поверхности.

В качестве объектов исследования были выбраны углеродистая конструкционная сталь 10 и коррозионно-стойкая сталь 20Х13 в виде плоских образцов, которые предварительно шлифовались до уровня Ra 1,3... 1,4 мкм и 0,53... 0,63 мкм. Образцы из стали 10 полировали в 2 %-ном водном растворе хлористого аммония, из стали 20Х13 – в 6 %-ном водном растворе сернокислого аммония при напряжении 300 ± 5 В и температуре электролита 85 ± 1 °С. До и после ЭИП на профилографе-профилометре Talysurf-5 фирмы Rank Taylor Hobson (Англия) снимались профилограммы поверхности образцов и измерялись параметры шероховатости Ra и Rq .

Поскольку коррелограмма профиля поверхности, содержащего систематическую и случайную составляющие, является композицией коррелограмм систематической и случайной составляющих, то она позволяет получать характеристики, как совокупного профиля поверхности, так и отдельно периодической и случайной составляющих [3]. Расчет значений корреляционной функции $K(\tau)$ производился по преобразованной для обработки профилограмм формуле [4]:

$$K(\tau) = K_{\beta}(\tau) + K_{\gamma}(\tau) = \frac{1}{l-\tau} \sum_0^{l-\tau} (y(x) - m_y)(y(x+\tau) - m_y),$$

где τ – переменная разность между абсциссами двух сечений профилограммы, мкм; l – длина профилограммы, мкм; $y(x)$; $y(x+\tau)$ – ординаты профилограммы в выбранной системе координат, мкм; m_y – среднее арифметическое значение ординат профилограммы, мкм.

Для характеристики доли случайной составляющей в реальном профиле поверхности использовали коэффициент случайности профиля γ , равный [3]:

$$\gamma = \frac{Rq_{\gamma}^2}{Rq^2},$$

где Rq – среднее квадратическое отклонение профиля; Rq_{γ} – среднее квадратическое отклонение случайной составляющей профиля.

Для автоматизированной компьютерной обработки профилограммы предварительно переводились в цифровой формат путем сканирования. С полученных оцифрованных изображений в программе Paint.NET v. 3.35 удалялись линии сетки профилограмм и артефакты изображений. Таким образом, перед анализом на изображении профилограммы оставался только характерный для данного образца участок линии профиля поверхности. Для математической обработки полученных изображений и построения графиков использовался программный пакет Matlab [5] и написанная в пакете программа. Импорт оцифрованных изображений профиля производилось с помощью Matlab Image Processing Toolbox [5]. В результате изображение профиля поверхности трансформировалось в матрицу, размеры которой были равны размеру изображения в пикселях. Значения τ последовательно принимались равными 0; 1; 2; ...; Δx . В нашем случае было принято $\Delta x = 1$ пиксель. Размер одного пикселя равнялся 0,847 мкм. После получения матрицы по ней последовательно производился отсчет ординат профиля поверхности относительно выбранной линии отсчета, расчет значений корреляционной функции и сглаженной гистограммы профиля, а также параметра Ra .

Аппроксимация построенных коррелограмм производилась с помощью *Curve Fitting Tool* пакета Matlab [5] функцией, позволяющей учесть

систематические неровности, как с большим, так и с малым шагом и имеющей вид [6]:

$$K(\tau) = c^2 Ra^2 [\gamma e^{-\alpha\tau} + \beta \cos\left(\frac{2\pi}{T_\beta} \tau\right) + \nu \cos\left(\frac{2\pi}{T_\nu} \tau\right)],$$

где α – коэффициент частотного состава случайных неровностей; β и ν – коэффициенты высот систематических неровностей соответственно с периодами T_β и T_ν ; c – коэффициент, зависящий от формы неровностей и закона их распределения по высоте (принимался равным $\sqrt{\pi/2}$ [6]).

В результате математической обработки профилограмм для каждой из них были построены коррелограммы, спектрограммы, сглаженные гистограммы и графики зависимостей коэффициентов корреляционной функции от продолжительности ЭИП.

Анализ полученных результатов показал, что в структуре исходной шероховатости значительное место занимают высокочастотные как случайные, так и систематические неровности с периодом до 200 мкм. При последовательном анализе спектрограмм видно, что амплитуды неровностей вне зависимости от их периода убывают по мере увеличения продолжительности ЭИП. Рост коэффициента β свидетельствует о том, что во всех случаях наблюдается увеличение шагов систематических неровностей, и повышение влияния низкочастотных неровностей на совокупную шероховатость поверхности. После 10 мин полирования происходит выделение одной или двух преобладающих низкочастотных гармоник с периодами от 180 до 600 мкм. Суммарный вклад этих гармоник в величину среднеквадратического отклонения профиля поверхности достигает 69%. Неровности с мелким шагом и малой амплитудой постепенно уменьшаются и после 5...15 мин ЭИП практически исчезают из структуры шероховатости. Данное изменение структуры неровностей может быть объяснено равно вероятным и равно интенсивным съемом металла со всей поверхности в процессе ЭИП.

При увеличении продолжительности полирования до 5...10 мин происходит плавное снижение уровня случайной составляющей, характеризующееся уменьшением коэффициента случайности профиля γ . Профиль становится более однородным и периодичным. На промежутке от 10 до 15 мин обработки наблюдается рост уровня случайной составляющей и значительное замедление темпа снижения шероховатости. Последний факт можно объяснить проявлением микроструктуры на поверхности образцов за счет более интенсивного разрушения металла на границах зерен. Анализ зависимости коэффициента α от продолжительности обработки показал, что за первую минуту при ЭИП стали 10 с $Ra_{исх}$ 0,63 и 1,3 мкм и стали 20X13 с $Ra_{исх}$ 0,53 и 1,4 мкм его значение снизилось в среднем соответственно на 52; 60; 56 и 29%. Увеличение времени ЭИП приводит к умень-

шению достигнутого значения коэффициента α на промежутках 1...3 мин для стали 10 и 1...7 мин для стали 20X13 с $Ra_{исх}$ 0,53 мкм. Дальнейшая обработка приводит к росту коэффициента α . Для стали 20X13 с $Ra_{исх}$ 1,4 мкм снижение коэффициента α происходит во всем исследованном диапазоне продолжительности полирования. Следовательно, в процессе ЭИП случайные неровности так же, как и систематические постепенно сглаживаются, шаг между ними увеличивается и происходит это до тех пор, пока не начинает проявляться микроструктура поверхности.

Таким образом, в процессе ЭИП независимо от исходной шероховатости и вида обрабатываемого материала формирование топографии поверхности происходит за счет одновременного с равной вероятностью и равной интенсивностью сглаживания микро- и субмикронеровностей поверхности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Н. Dagnall, M.A. Exploring surface texture / M.A. Н. Dagnall. – LEICESTER, ENGLAND: RANK TAYLOR HOBSON, 1980. – 170 p.
2. Хусу, А.П. Шероховатость поверхностей (теоретико-вероятностный подход) / А.П. Хусу, Ю.Р. Витенберг, В.А. Пальмов; под ред. А.А. Первозванского. – М. : Наука, 1975. – 344 с.
3. Витенберг, Ю.Р. Шероховатость поверхности и методы ее оценки / Ю.Р. Витенберг. – Л. : Судостроение, 1971. – 101 с.
4. Расчет и построение коррелограмм уплотняющих поверхностей деталей судовой арматуры / Г.С. Беляев [и др.] // Судостроение. – 1971. – № 6. – С. 46–49.
5. Ануфриев, И.Е. MATLAB 7 / И.Е. Ануфриев, А.Б. Смирнов, Е.Н. Смирнова. – СПб. : БХВ-Петербург, 2005. – 1104 с.
6. Витенберг, Ю.Р. Оценка шероховатости с помощью корреляционных функций / Ю.Р. Витенберг // Вестник машиностроения. – 1969. – № 1. – С. 55–57.

УДК 621.923.7

ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОИМПУЛЬСНОГО ПОЛИРОВАНИЯ НА МИКРОТВЕРДОСТЬ ПОВЕРХНОСТИ СТАЛИ

Ю. В. Синькевич

Белорусский национальный технический университет, Минск

Приведены результаты исследования распределения микротвердости в поверхностном слое сталей 20, У8А и 20X13 после электроимпульсного полирования. Установлено, что электроимпульсное полирование не изменяет микротвердость поверхностного слоя отожженной стали 40X13 и сталей У8А и 40X13, подвергнутых закалке с последующим отпускком.

Твердость поверхности является одним из важнейших физико-механических свойств металлов и сплавов и оказывает значительное влия-