

УДК 539.372:621.739

**Н.В. Чаругин**к.т.н., доцент  
Одесский националь-  
ный  
политехнический уни-  
верситет  
e-mail:  
[CHARUGINA@mail.ru](mailto:CHARUGINA@mail.ru)**М.С. Огиенко**ст. преподаватель  
Одесский  
национальный  
политехнический  
университет  
e-mail:  
[qest333@gmail.com](mailto:qest333@gmail.com)

## ИЗМЕНЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ШЕРОХОВАТОСТИ УПРОЧНЯЮЩИХ ПОКРЫТИЙ, ПОЛУЧЕННЫХ ЭЛЕКТРОИСКРОВОМ ЛЕГИРОВАНИЕМ

*Н.В. Чаругин, М.С. Огиенко. Изменения параметров шероховатости упрочняющих покрытий, полученных электроискровым легированием.* Представлена модель изменения параметров шероховатости упрочняющих покрытий рабочих поверхностей деталей.

*N.V. Charugin, M.S. Ogienko. Changes roughness strengthening coatings obtained spark alloying.* The model of change of roughness parameters of hardening coatings working surfaces of details.

**Вступление.** В общей проблеме надежности, точности и долговечности машин и механизмов одно из главных мест принадлежит вопросам трения и износа, находящимся между собой в весьма сложных корреляционных зависимостях [1]. Превалирующим требованием, которое предъявляется к сопряженным рабочим поверхностям деталей машин, является условие минимальных потерь на трение и длительное сохранение физико-механических и эксплуатационных характеристик поверхностных и подповерхностных слоев.

Электроискровое легирование (ЭЛ) широко применяется в современной упрочняющей технологии. Процесс переноса легирующего компонента протекает в режиме нестационарного разряда, которому свойственна высокая концентрация энергии в пространстве и времени. Переносу подвержены, так же как и при размерной обработке, все токопроводящие материалы. При этом на упрочняющейся поверхности образуются покрытия, обладающие высокими физико-механическими и эксплуатационными характеристиками [2].

**Материалы и результаты исследования.** В процессе электроискрового упрочнения поверхности, она приобретает специфическую шероховатость, которая оказывает существенное влияние на эксплуатационные свойства деталей. Так, например, отсутствует направленная шерохова-

тость, что предотвращает выдавливание основного объема смазки в зону меньших давлений и предупреждает возможность схватывания контактирующих поверхностей.

Рассмотрим схему образования шероховатости. Формирование упрочняющего покрытия происходит при переносе легирующего компонента и осаждении его на поверхность упрочняемой детали. В реальных условиях она образуется в результате наложения выступов разных размеров и формы, перекрывающих одна другую с различным коэффициентом перекрытия. Применение идеализированной схемы образования новой поверхности, как процесса наложения выступов разных размеров, позволяет выявить ряд особенностей профиля шероховатости.

На рис. 1 представлена схема образования упрочняющего покрытия с различными коэффициентами перекрытия ( $\beta = 1$  – рис.1а;  $\beta = 1/2$  – рис.1б;  $\beta = 1/4$  – рис.1в).

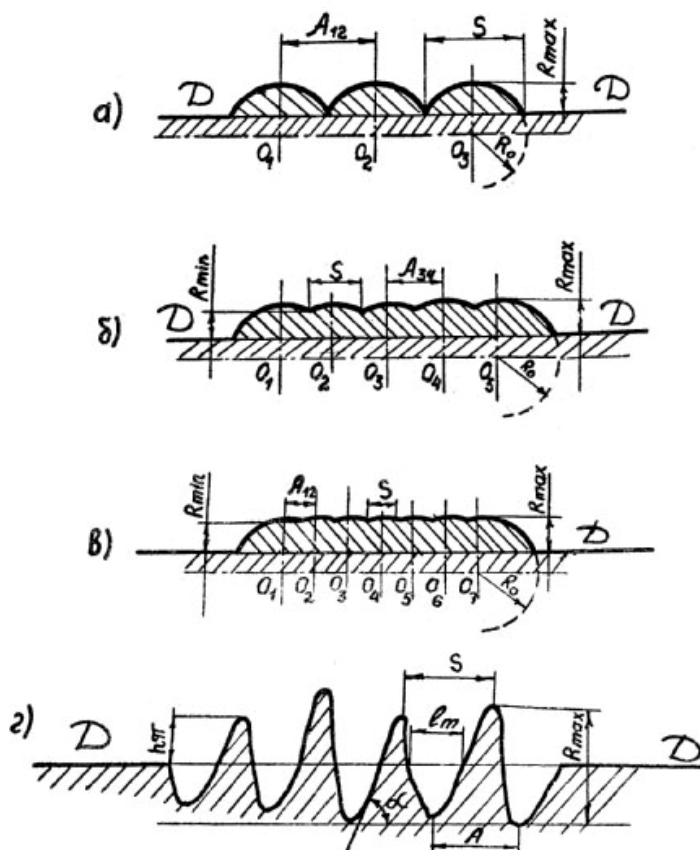


Рис.1. Схема образования упрочняющего покрытия с различными коэффициентами перекрытия ( $\beta = 1$  – рис.1а;  $\beta = 1/2$  – рис.1б;  $\beta = 1/4$  – рис.1в)

Для расчетов в качестве основных параметров шероховатости нами выбраны:

$R_{\min}, R_{\max}$  – высота неровностей профиля;

$K$  – коэффициент, отражающий отношение радиуса лунки к высоте лунки ( $r_{\pi}/h_{\pi}$ );

$S$  – средний шаг неровностей профиля по вершинам;

$\alpha$  – угол наклона боковой поверхности неровностей к средней линии профиля;

$m_0$  – число выступов, возвышающихся над средней линией.

Из геометрических построений взаимного перекрытия лунок разных размеров определим максимальную высоту неровностей профиля

$$R = \frac{\beta^2 r_{\pi} h_{\pi}}{3 (r_{\pi}^2 + h_{\pi}^2)} = \frac{\beta^2 K}{3 (K^2 + 1)} h_{\pi}$$

При пересечении трех сфер разного диаметра (рис.2), имеющих  $R_{01}, R_{02}, R_{03}$  с центрами  $C_1, C_2, C_3$  образуется углубление с центром  $B$ , представляющее собой точку пересечения указанных сфер.

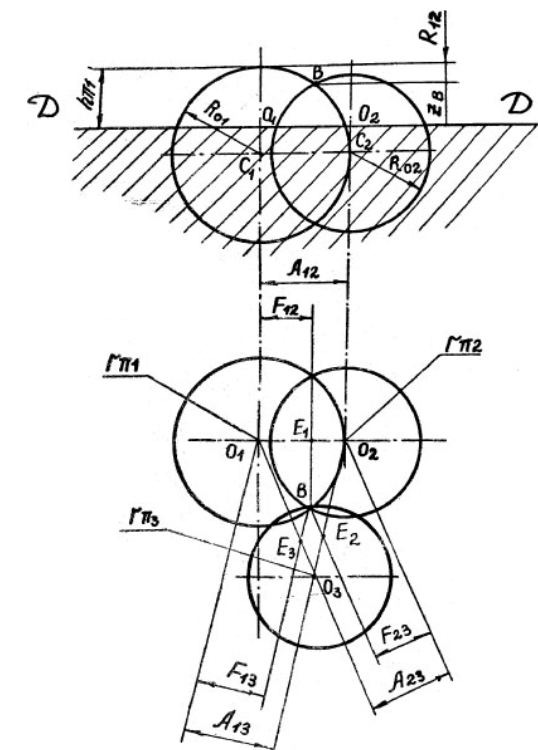


Рис.2. Формирование упрочняющего покрытия единичными лунками

Определяем высоту углубления  $R_{12}$ , как расстояние от точки В до вершины единичного выступа максимально удаленной от плоскости Д-Д. Последнее представляет собою след единичного эрозионного выступа. Пересечение сфер плоскостью Д-Д образует окружности с центрами  $O_1, O_2, O_3$  и радиусами  $r_{\pi 1}, r_{\pi 2}, r_{\pi 3}$ , являющимися радиусами выступов. Высоты упомянутых выступов легирующего материала над поверхностью Д-Д будут соответственно  $h_{\pi 1}, h_{\pi 2}, h_{\pi 3}$ .

Приняв среднее значение коэффициентов равными между собой

$$K = K_1 = K_2 = K_3 = r_{\pi} / h_{\pi},$$

а также условившись, что  $R_{01} > R_{02} > R_{03}$ , имеем  $r_{\pi 1} > r_{\pi 2} > r_{\pi 3}$ ,  $h_{\pi 1} > h_{\pi 2} > h_{\pi 3}$  и  $R_{12} > R_{21} > R_{32}$ . Расстояния между центрами  $O_1, O_2, O_3$  выступов будут равны расстоянию между центрами  $O_1$  и  $O_2$ - $A_{23}$ . Расстояния от центров выступов до линий пересечения двух окружностей обозначены  $O_1E_1$  – через  $F_{12}$ ,  $O_1E_3$  – через  $F_{13}$ ,  $O_2E_2$  – через  $F_{23}$ . Определим как координату X плоскости, в которой находится линия пересечения сфер  $C_1$  и  $C_2$  с расположенной на ней точкой

$$F_{12} = \frac{r_{\pi 1} (1 - m_{21}^2 + \beta_{12}^2)}{2\beta_{12}} = 0,5 \Delta_{12} r_{\pi 1},$$

где  $m = r_{\pi 2} / r_{\pi 1} \leq 1$  – коэффициент, определяющий соотношение размеров пересекающихся выступов;

$\beta_{12} = A_{12} / r_{\pi 1}$  – коэффициент перекрытия единичных выступов, определяемых как отношение межосевого расстояния А к радиусу единичного выступа большего размера.

$$\Delta_{12} = (1 - m_{21}^2 + \beta_{12}^2) / \beta_{12}$$

Аналогично можно определить

$$F_{12} = \frac{r_{\pi 1} (1 - m_{21}^2 + \beta_{12}^2)}{2\beta_{12}} = 0,5 \Delta_{12} r_{\pi 1},$$

$$F_{22} = \frac{r_{\pi 2} (1 - m_{22}^2 + \beta_{22}^2)}{2\beta_{22}} = 0,5 \Delta_{22} r_{\pi 2},$$

$$F_{12} = \frac{r_{\pi 2} (1 - m_{12}^2 + \beta_{12}^2)}{2\beta_{12}} = 0,5 \Delta_{12} r_{\pi 2},$$

где  $m_{31} = r_{\pi 3} / r_{\pi 1} \leq 1$ ;  $m_{32} = r_{\pi 3} / r_{\pi 2} \leq 1$ ;  $\beta_{13} = A_{13} / r_{\pi 1}$ ;  $\beta_{23} = A_{23} / r_{\pi 2}$ .

Координаты  $X_B$  и  $Y_B$  точки В найдем путем определения точки пересечения прямых  $E_1B$  и  $E_3B$ . Учтывая, что прямая  $E_3B$  перпендикулярна прямой  $OE_3$ , можно записать

$$X_B = F_{12}; Y_B = \frac{2F_{12} - F_{12} \cos \alpha}{\sin \alpha},$$

$$R_{12} = R_{01} - z_B; z_B = \sqrt{R_{01}^2 - O_1B^2};$$

$$O_1B^2 = X_B^2 + Y_B^2 = r_{\pi 1}^2 \left[ \Delta_{12}^2 + \left( \frac{\Delta_{12} - \Delta_{12} \cos \alpha_1}{\sin \alpha_1} \right)^2 \right] = \Delta_1 r_{\pi 1}^2;$$

$$R_{01} = \frac{r_{\pi 1}^2 + h_{\pi 1}^2}{2h_{\pi 1}} = r_{\pi 1} \frac{K^2 + 1}{2K} = R_{\pi} r_{\pi 1};$$

$$K = \frac{r_{\pi}}{h_{\pi}},$$

тогда

$$R_{12} = r_{\pi 1} \left( R_{\pi} - \sqrt{R_{\pi}^2 - \Delta_1} \right) = AR_{12} r_{\pi 1}.$$

По аналогии выше приведенным закономерностям можно определить и другие величины, например  $R_{23}$ ,  $R_{13}$  и т.д.

Правомерность аналитического определения параметров микрорельефа упрочняющего покрытия по приведенным зависимостям можно проверить сопоставив их с реальным профилем, записанным на перфоленту.

Методологически экспериментальные исследования можно проводить по двум вариантам. Проводить замеры единичной лунки, а затем используя принцип аддитивности электрической эрозии переносить их на реально полученные упрочняющие покрытия.

Однако, при кажущейся простоте и преимуществах данного метода, он трудоемок и требует введения соответствующих корреляционных поправок. В связи с этим, нами был выбран путь непосредственного измерения упрочняющего покрытия после прохода обрабатывающим электродом.

Проведены записи профилограмм шероховатости, записанные в двух взаимно перпендикулярных направлениях на поверхностях, обработанных шлифованием и подвергнутых электроискровому упрочнению. Данная запись демонстрируют принципиальное различие шероховатости в направлении подачи режущего инструмента (в данном случае – абразивного круга) и во взаимно перпендикулярном, а также близость этих параметров упрочняющего покрытия.

Средний шаг микронеровностей может изменяться произвольно, исходя из технологических соображений, а оптимальным, по данным Н.И.

Лазаренко, является смещение электрода на 1/4 диаметра лунки. В результате единичные лунки будут перекрывать друг друга, обуславливая единичную схему образования шероховатости нанесенного покрытия. Вследствие этого полученный микрорельеф может быть регулярным и регламентированным по основным параметрам шероховатости.

Однородность (регулярность) упрочняющего микрорельефа можно определить, используя такой критерий оценки неоднородности, как коэффициент неоднородности микрорельефа  $\gamma$  [3], рассчитываемый как отношение дисперсии случайной составляющей микрорельефа к его общей дисперсии

$$\gamma = \frac{Ra_{\gamma}^2}{Ra^2},$$

где  $Ra$  и  $Ra_{\gamma}$  – соответственно среднее арифметическое отклонение профиля и среднее арифметическое отклонение случайной составляющей микрорельефа (вычисляется из корреляционной функции). Значение  $Ra_{\gamma}$  равно единице, если микрорельеф абсолютно неоднороден, хаотичен, и нулю, если он абсолютно однороден. При электроискровом легировании значение  $\gamma$ , в зависимости от энергии, реализуемой в разряде, колеблется в диапазоне 0,2...0,6. Для сравнения, микрорельеф поверхности при использовании процесса виброобкатывания характеризовался высокой степенью однородности:  $\gamma$  равен 0,15...0,3, а при обычном шлифовании 0,7...0,9 [3].

Последнее, по данным той же работы [3], связано с неоднородностью самого процесса резания абразивным инструментом, что приводит к «неорганизованному» процессу резания, и, как следствие, к образованию хаотического микрорельефа. Этим, в частности, и объясняется малая износостойкость и склонность к схватыванию и задиорообразованию шлифованных и доведенных поверхностей, а ведь именно этим видам финишной обработки подвергнуты почти все рабочие поверхности деталей металлорежущих станков.

**Выводы.** Таким образом, использование электроискрового упрочнения позволяет повысить износостойкость сопряженных деталей, как за счет повышения их физико-механических характеристик, так и создания регулярного микрорельефа. Последнее приводит к повышению несущей способности поверхности, темпа приработки, контактной жесткости и износостойкости.

С помощью графо-аналитических построений показана возможность получения аналитических зависимостей для определения основных параметров шероховатости электроискровых упрочняющих покрытий.

Упрочняющие покрытия обладают высокой степенью регулярности микрорельефа. Последнее является положительным фактором для создания масляных карманов.

Необходимы целенаправленные исследования в данной области, т.к. использование закономерностей используемых для поверхностей, обработанных механическими способами, неприемлемы для электрофизических методов обработки.

### Литература

1. Чаругин Н.В., Огиенко М.С. Проведение экспресс аттестации рабочих поверхностей с упрочняющими покрытиями [Текст]. Новые и нетрадиционные технологии в ресурсо- и энергосбережении: материалы научно-технической конференции 22-24 сентября 2014 г., г. Одесса-Киев: АТМ Украины, 2014. – 176 с.
2. Charugin N.V., Zhang Kun. Wear-Resistant Coatings on the Metal-Cutting Instruments With the Forecasted Properties [Текст]./ Modern Design, Manufacturing and Measurement. Tsinghua University. Beijing, China, May 6-8, 1993. P.210-213.
3. Шнейдер Ю.Г. Эксплуатационные свойства деталей машин с регулярным микро-рельефом [Текст]. – Л.: ЛДИТП, 1980. – 28 с.