

П.Д. Дудко, канд. техн. наук, В.Г. Шкурупий, канд. техн. наук, Кленов О.С.,  
Харьков, Украина

## **ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКЕ**

*В работе проведен анализ влияния условий абразивной обработки поверхностей деталей на формирование их шероховатости*

*The analysis of influence of terms of abrasive treatment of surfaces of details is in-process conducted on forming of their roughness*

Проблема управления геометрическими характеристиками и физико-химическим состоянием поверхностей деталей актуальна. Мы научились управлять процессом формирования отклонений формы и расположения поверхностей, волнистости и шероховатости поверхностей, но для неровностей с размерами менее 1 мкм существует проблема управления процессом их формирования. Трудности воспроизведения таких неровностей возникают по следующим причинам: оксиды, как результат физико-химических явлений на поверхности, являются соизмеримыми с заданными значениями геометрических характеристик неровностей; наличие загрязнений, неоднородностей на поверхности требуют введения дополнительных операций по обработке поверхности; силовые действия на микроуровне должны дозироваться и быть подконтрольными управляющей системе.

**Анализ исследований и публикаций.** Качество поверхностных слоев деталей машин определяется методами и режимами их обработки. Его показатели могут быть улучшены путем применения на финишных операциях методов, осуществляемых на оптимальных режимах. На финишных операциях обработки окончательно формируется поверхностный слой деталей. Тем не менее на результат этого формирования влияют предыдущие операции, включая заготовительные. Целенаправленное формирование поверхностного слоя с заданными

свойствами является одной из важнейших задач технологии изготовления деталей. Припуски, а также последовательность выполнения операций устанавливаются с учетом технологической наследственности так, чтобы сохранить в детали положительные качества. Управляя финишной операцией, можно получить поверхностный слой, который отвечает требованиям чертежа и техническим условиям.

Известна работа [1] по изучению шероховатости электроосажденных поверхностей, тем не менее в ней содержится недостаточно информации о формировании шероховатости обрабатываемых поверхностей. Оценка параметров шероховатости электроосажденных поверхностей затруднена, учитывая неприемлемость стандартных методик для их оценки, которые не позволяют оценить развитый рельеф наслоений, пор и других, характерных неровностей после электроосаждения. В работе [2] изучены параметры шероховатости поверхности, достигаемые в результате полирования образцов из стали марки 30ХГСА алмазными лентами, однако, отсутствует анализ изменения высотных параметров шероховатости от технологических факторов полирования.

**Постановка задачи исследования.** Для оценки процесса формирования шероховатости поверхности в процессе ее обработки рекомендуется [3] критерий шероховатости поверхности:

$$F = [1 + 1,25\pi^2 \cdot n^2 \cdot R_a^2]^{-1} \times (1 - \frac{R_a}{2H_{i_{min}}}),$$

где  $R_a$  - среднее арифметическое отклонений профиля шероховатости поверхности, мкм;  $n$  - число шагов неровностей по отношению к отсеченному шагу, 1/ мкм;  $H_{i_{min}}$  - отклонение ординаты по наибольшей впадине профиля шероховатости поверхности, мкм.

Необходимо оценить параметры шероховатости поверхности, используя критерий шероховатости поверхности  $F$ . Учитывая, что во втором множителе присутствует отношение, равнозначное  $R_a/R_{max}$ , изучим изменение этого отношения от технологических факторов полирования.

**Основное содержание исследований.** Изучение профилограмм и фотографий поверхности разных увеличений позволило установить на всех стадиях обработки изменение как высоты неровностей, так и их формы, причем окисление поверхности происходит в меньшей мере при

точении, выглаживании и фрезеровании. Рассмотрим табличные значения высотных параметров шероховатости поверхности полученные в экспериментальных исследованиях в работе [2]. Для определения влияния технологических факторов полирования на изменение высотных параметров шероховатости построим зависимости, рис. 1.

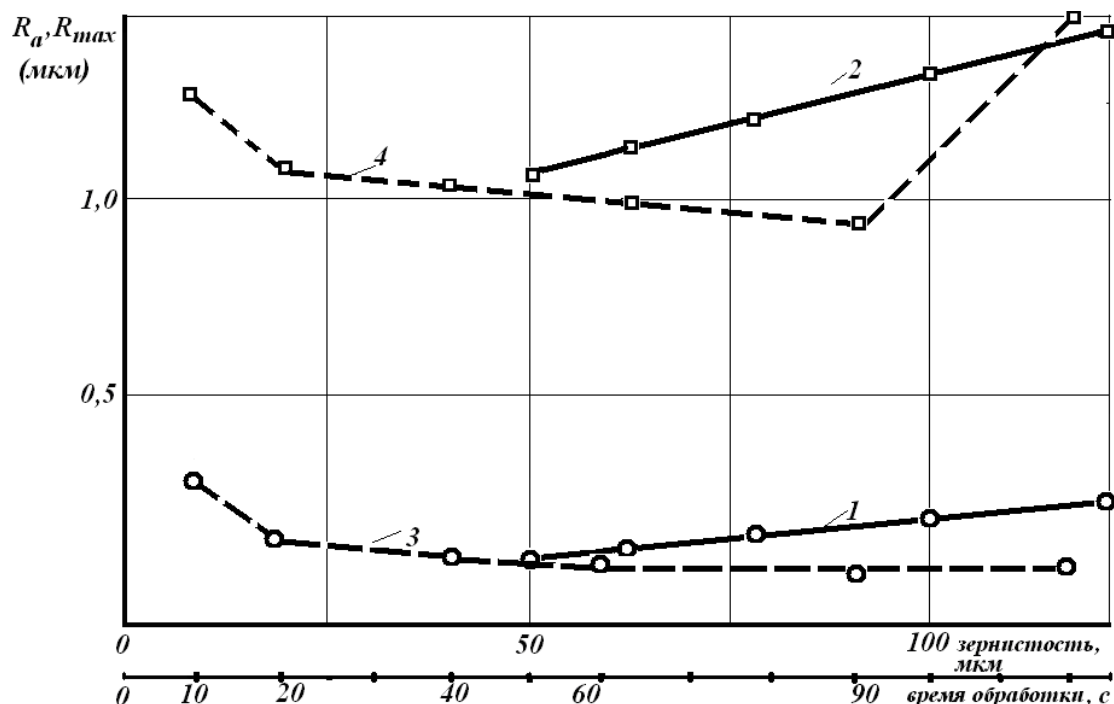


Рис. 1. Влияние зернистости абразива 1, 2 и продолжительности обработки 3 и 4 на интенсивность изменения значений высотных параметров шероховатости поверхности (режим обработки: давление 40 МПа; скорость 35 м/мин; продолжительность обработки 20 с. для 3 и 4; зернистость абразива для 1 и 2 – АСО 50/40).

Из графика видно, что интенсивность изменения  $R_{max}$  не соответствует интенсивности изменения значений  $R_a$ . С уменьшением зернистости абразива значения  $R_{max}$  увеличиваются. При увеличении продолжительности полирования интенсивность изменения  $R_{max}$  резко увеличивается, что можно объяснить дроблением зерен в процессе обработки, следовательно, процесс полирования необходимо прекращать до появления интенсивного разрушения зерен. С уменьшением размеров зерен (при неизменной силе прижатия полировальника) контактное давление возрастает и, соответственно, глубина царапания единичным дробленным зерном должна быть больше, т.е.  $R_{max}$  увеличивается при сохранении эффекта сглаживания (рис. 2). Возрастающую

контактного давления способствует одновременное соударение множества абразивных зерен, увеличивающих энергию движения дробленого зерна.



Рис.2. След единичного зерна.

При использовании алмазных лент и микро порошков сочетание физико-химических свойств естественного алмаза и материала обрабатываемой поверхности, снижение интенсивности действия химически активных веществ, приводит к уменьшению разного характера неоднородностей. Следует заметить, что окисление поверхности при точении происходит в меньшей мере, чем при абразивном полировании [3]. При полировании поверхность адсорбирует химически активные вещества, которые содержатся в пастах, и кислород воздуха, который оказывает влияние на развитие химико-механических явлений, сопровождающих пластическую деформацию микро выступов поверхности. Процесс адсорбции должен интенсифицироваться при механическом снятии пленок оксидов с поверхности, что обеспечивается относительным перемещением полировальника и обрабатываемой поверхности. Локальный активный контакт поверхностей полировальщика и обрабатываемой поверхности обеспечивает срыв пленки оксидов, который сопровождается адсорбцией химически активных веществ и последующим срывом. В результате множества локальных действий происходит уменьшение высот неровностей, что подтверждается сглаживанием профиля поверхности. Однако, результаты эксперимента (рис.1) показывают, что на фоне сглаживания при увеличении продолжительности обработки происходит увеличение  $R_{max}$ .

Контроль шероховатости обработанных поверхностей показал возможность непосредственного извлечения информации о форме неровностей при ощупывании иглой профилометра - профилографа. Следует отметить, что критерий шероховатости поверхности  $F$ , определяемый с использованием контактных приборов, лишь частично отражает форму неровностей, соизмеримых с длинами волн падающего излучения (видимого диапазона), поскольку разрушение от действия иглы могут быть сравнимы с анализируемыми неровностями. Для неровностей поверхности, соизмеримых с длинами волн собственного излучения,

точность оценки повышается. Для большинства технологических операций окончательной обработки поверхностей форма неровностей, соизмеримых с длинами волн падающего излучения, частично будет определяться окислением поверхностного слоя в процессе обработки. Оценка формы таких неровностей контактными методами затруднена, что подтверждается результатами исследований топографии на оптических и электронных микроскопах [3]. Размеры зернистости абразива и подача полировальщика оказывают значительное влияние на направленность следов обработки, формируя систематическую составляющую шероховатости с низкой частотой. Высокочастотные составляющие шероховатости поверхности, можно отнести к разряду случайных, что подтверждает анализ профилограмм и снимков (разных увеличений) отдельных участков поверхности. Значительное влияние на их формирование оказывает химическая активность пасты. В табл. 1 приведены результаты эксперимента по обработке поверхностей алюминиевого сплава марки АМг 4.

Таблица 1

Значения параметров  $R_a$ ,  $R_a/R_{\max}$ ,  $F$  и контактной разности потенциалов (КРП) после полирования образцов из проката алюминиевого сплава АМг4

Метод обработки	$R_a$ , мкм	$R_a/R_{\max}$	$F$	КРП, мВ
Исходная поверхность (прокат)	0,35	0,104	0,896	890
Абразивное полирование (АСМ 2/1)	0,1	0,033	0,967	120

Таблица 2

Значения критерия шероховатости  $F$  поверхностей лент сплава 36НХТЮ после абразивного полирования

Абразивная паста	АСМ 2/1	АСМ 1/0	Окись алюминия МЗ	Окись хрома МЗ	Электрокорунд М7
$F$	0,93	0,91	0,89	0,89	0,88

Снижение значения КРП для абразивного полирования можно объяснить наличием загрязнений, остатков рабочей среды, а это требует введения дополнительных операций по очистке поверхностей после абразивного полирования. Для определения влияния зернистости абразивных составляющих паст на значения критерия шероховатости поверхности после полирования обработке подвергали образцы из лент пружинного хромоникелевого сплава марки 36НХТЮ, нашедшего применение для изготовления деталей, работающих в условиях воздействия светового потока. Результаты эксперимента представлены в табл. 2.

Изучение профилограмм и фотографий поверхности разных увеличений показало [3], что для поверхностей, обработанных с применением алмазных паст АСМ 2/1, преобладают неровности более высокого порядка малости (0,01...0,1мкм), а после полирования электрокорундом М7 преобладающие высоты неровностей находятся в пределах 0,1...1,0 мкм.

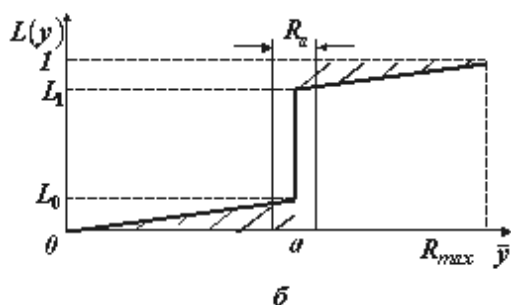
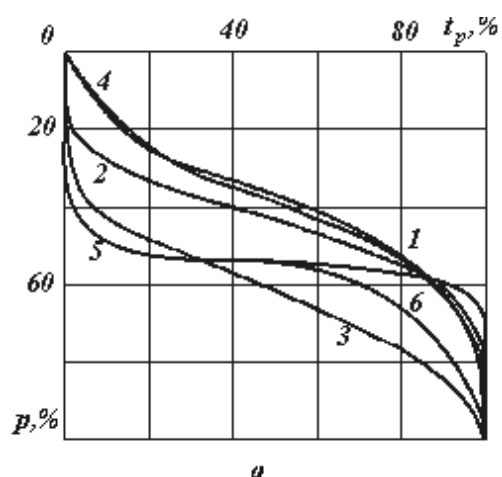


Рис. 3 Относительные опорные кривые поверхностей образцов из алюминиевого сплава марки АМг4 после различных методов обработки (а): 1- прокат (исходная поверхность); 2 - гидро абразивная; 3 - точение; 4 - фрезерование; 5 - абразивное полирование; 6 – точение алмазом (б) - вид упрощенной функции  $L(\bar{y})$ .

Различие формирования поверхностного слоя, по-видимому, определяется разной геометрией зерен алмазных и абразивных микропорошков на уровне субмикрорельефа поверхностей граней, что должно оказывать влияние на эффект процесса резания-царапания, развитие локальных температур. Для микрограней алмазных зерен более характерно микрорезание, а для электрокорунда - микросмятие с локализацией и увеличением затрачиваемой энергии (возникновение на полированных поверхностях кометообразных углублений). Локальное активное контактирование абразивного зерна с обрабатываемой

поверхностью эффективно, по-видимому, до тех пор, пока геометрические размеры зерен не становятся соизмеримыми с отделившимися частицами обрабатываемого материала, что в последующем приводит к потере эффекта полирования. При больших подачах полировальника на образцах наблюдались следы направленного царапания.

Уменьшение отношения параметров шероховатость  $R_a/R_{max}$  (обусловленное разными методами обработки) отвечает увеличению критерия шероховатости поверхности  $F$  [3]. Отношение  $R_a/R_{max}$  может достигать довольно малых значений (0,033 для абразивного полирования), соответственно  $R_{max}/R_a$  принимает относительно большие значения – 30,3. Это согласуется с

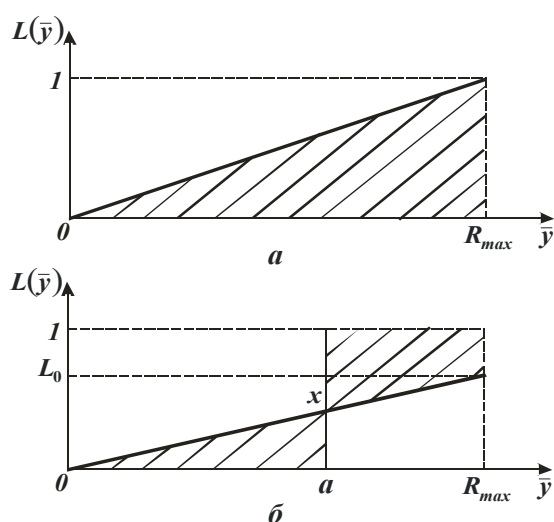


Рис. 4. Вид упрощенной функции  $L(\bar{y})$ .

теоретическими результатами, в частности, приведенными в работе [3], согласно которым отношение  $R_a/R_{max}$  может изменяться в пределах  $0, \dots, 0,29$ . Относительно большие значения  $R_{max}/R_a$  при абразивном полировании обусловлены формой относительной опорной длины профиля поверхности  $t_p$  (рис. 3 а, кривая 5), установленной экспериментом. Шкала  $p(\%)$  определяет отношение текущей высоты

неровностей к максимальной высоте неровностей  $R_{max}$ , т.е. значение  $p=0\%$  отвечает положению вершины наибольшей микронеровности, а значение  $p=100\%$  - положению наибольшей впадины. Более плавное изменение значений  $t_p$  с изменением  $p$  (кривые 1, 2, 3 и 4) указывает на более равномерное распределение высот вершин микронеровностей по профилю поверхности. Для абразивного полирования (кривая 5) характерно неравномерное распределение высот неровностей. Очевидно, в диапазоне  $p = 50 \dots 56\%$  их значительно больше (90%, или больше), чем в диапазонах  $p = 0 \dots 50\%$  и  $p = 56 \dots 100\%$ . Причем, в диапазоне  $p = 0 \dots 50\%$  их больше, чем в диапазоне  $p = 56 \dots 100\%$ , т.е. в диапазон  $p = 56 \dots 100\%$  попадают лишь отдельные микронеровности (риски, царапины), образованные отдельными острыми краями абразивных зерен. Если

представить  $t_p$  в форме функции  $L(\bar{y})$ , рис.4, то приходим к упрощенному графику (рис. 3,б).

Отличие этого графика функции  $L(\bar{y})$  заключается в наличии дополнительного участка  $L_1 \dots I$  на рис. 3,б, обусловленной появлением отдельных глубоких черточек и царапин на обработанной поверхности. Это приводит к дополнительному увеличению параметра шероховатость  $R_{max}$  и согласно увеличению отношения  $R_{max}/R_a$ . Чем меньше безразмерная величина  $L_0$  и больше аналогичная безразмерная величина  $L_1 \rightarrow I$ , тем, наверное, большее отношение  $R_{max}/R_a$ , которое в идеале стремится к бесконечности. Из этого явствует, что отношение  $R_{max}/R_a$  может изменяться в больших пределах, значительно превышающие значения 5, 10 и больше. Это зависит от формы относительной опорной длины профиля  $t_p$ . Этим доказана достоверность разработанной математической модели [3] формирования шероховатости поверхности при абразивной обработке, а также то, что с помощью отношения  $R_{max}/R_a$  (или отношения  $R_a/R_{max}$ ) можно анализировать оптические характеристики поверхностей, обработанных разными методами. Параметры шероховатости  $R_a$ ,  $R_z$  и  $R_{max}$ , как установлено многоразовыми экспериментальными исследованиями, неоднозначно влияют на оптические характеристики обработанных поверхностей. Итак, формирование оптических характеристик поверхности связаны с формой микронеровностей поверхности, которая определяется отношением  $R_a/R_{max}$ , а не с высотой ее профиля шероховатости. Результаты экспериментов подтвердили уменьшение отношения  $R_a/R_{max}$  при уменьшении зернистости абразивов для полирования поверхностей деталей.

**Список литературы:** 1. Гнусин И.П., Коварский Н.Я. Шероховатость электроосажденных поверхностей. – Новосибирск: Наука, 1970. 2. Качество поверхности при алмазно-абразивной обработке /Э.В. Рыжов, А.А. Сагарда, В.Б. Ильицкий, И.Х. Чеповецкий.– К.: Наук. думка, 1979. – 244 с. 3. Шкурупий В.Г. Повышение эффективности технологии финишной обработки светоотражающих поверхностей деталей из тонкого листа и лент. – Дис. ... канд. техн. наук. – Одесса: ОНПУ. 2006. – 282с. 4. Новиков Ф.В., Шкурупий В.Г. Установление функциональных связей между параметрами шероховатости и оптическими характеристиками обработанной поверхности. – Резание и инструмент в технологических системах: Межд. научн.-техн. сборник. – Харьков: НТУ “ХПИ”, 2005. – Вып. 68. – С. 312-318.

*Поступила в редколлегию 15.02.2008*