

ОСОБЕННОСТИ АНАЛИЗА ШЕРОХОВАТОСТИ ОТРАЖАЮЩИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ, ОБРАБОТАННЫХ РЕЗАНИЕМ

В настоящее время основным методом оценки шероховатости поверхности является изучение основного и дополнительного распределений отклонений ординат профиля (профилограммы и опорные кривые).

При изучении влияния шероховатости обработанной поверхности на эксплуатационные свойства деталей необходимо иметь представление о форме неровностей, что достигается путем оценки формы опорной кривой, построенной по значениям l_p . Исходную информацию извлекают из профилограмм поверхности. Такая последовательность извлечения информации приводит к большим погрешностям по сравнению с оценкой формы неровностей непосредственно из профилограмм. Кроме того, основные параметры шероховатости (ГОСТ 2789—73) недостаточно чувствительны к форме неровностей на поверхности.

Для оценки формы элементов неровностей профилограммы может быть использовано свойство центра тяжести геометрической фигуры [1]. Применение энергетической модели [2] шероховатости поверхности не противоречит высказанному [3] условию: параметры, характеризующие форму микрочастиц, должны отражать степень приближения их формы к равновесному состоянию, т. е. к минимуму поверхности при данном объеме.

Характеристику формы профилограммы будем рассматривать как реальное распределение отклонений ординат по отношению к одному из наиболее простых, одинаковых для всех реализаций профиля распределений отклонений, например, среднеарифметическому.

В общем случае коэффициент формы F равен отношению расстояний от линии впадин профиля до центров тяжести ($X_{ц.т.}$, $Y_{ц.т.}$) площадей различных распределений A и B отклонений ординат:

$$F = \sqrt{\frac{X_{ц.т.A}^2 + Y_{ц.т.A}^2}{X_{ц.т.B}^2 + Y_{ц.т.B}^2}}. \quad (1)$$

В случае сравнения реального распределения отклонений профиля шероховатости со среднеарифметическим, характерным R_a , выражение (1) принимает вид

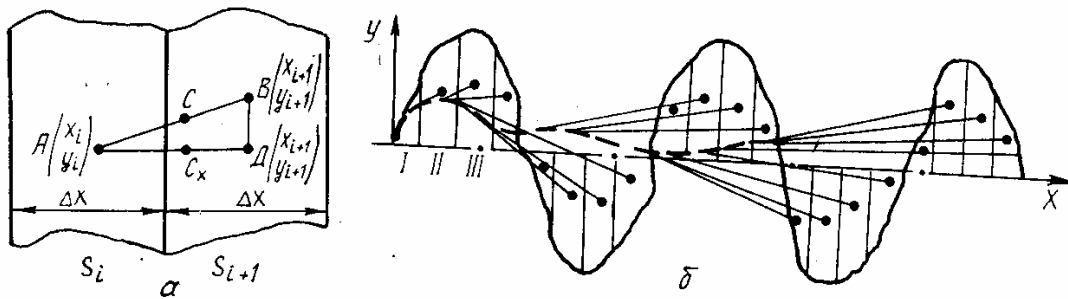
$$F = \frac{2H_{l_{\min}} - R_a}{2\sqrt{X_{ц.т.B}^2 + H_{l_{\min}}^2}}. \quad (2)$$

Такую оценку можно применять при изучении нерегулярной, неоднородной шероховатости, например после обработки свободным абразивом. При наличии симметрии (относительно вертикальной оси) у элементов профиля (например, пилообразный профиль) выражение (1) упрощается:

$$\bar{F} = 1 - \frac{R_a}{2H_{i,\min}}, \quad (3)$$

где $H_{i,\min}$ — отклонение наибольшего минимума ординат профиля.

Применение такой оценки (3) может быть эффективным для поверхностей, обработанных путем холодного пластического деформирования выглаживающим инструментом.



К построению линии объединения материальных точек (отклонений профилограммы): *a* — элементы значений отклонений; *б* — последовательность объединения элементов

При анализе нерегулярной шероховатости данная методика оценки формы микронеровностей позволяет найти центр тяжести площади реального распределения отклонений ординат профилограммы.

Учитывая длину трассы интегрирования при определении R_a , находим координаты центра тяжести площади профилограммы графическим путем: последовательным нахождением объединения двух материальных точек, носителями которых являются центры тяжести прямоугольников I, II и т. д. [4] (рисунок, б).

Выделим из объединения $C(x_i, y_i)$ двух материальных точек $A(x_{i,\text{ц.т}}, y_{i,\text{ц.т}})$ и $B(x_{i+1,\text{ц.т}}, y_{i+1,\text{ц.т}})$ треугольник ABD

(рисунок, а). С учетом отношения сторон прямоугольных треугольников можно записать:

$$CC_x = \frac{ACBD}{AB}; \quad AC_x = \frac{ACAD}{AB}, \quad (4)$$

где $BD = y_{i+1,\text{ц.т}} - y_{i,\text{ц.т}}; \quad AD = x_{i+1,\text{ц.т}} - x_{i,\text{ц.т}}.$

Отношение площадей при объединении двух материальных точек [4] $S_{i+1}/S_i = AC/CB$ можно представить как отношение усредненных ординат (при равном интервале Δx):

$$\frac{S_{i+1}}{S_i} = \frac{y_{ср\,i+1}}{iy_{ср\,i}}, \quad (5)$$

где i — количество точек, участвующих в объединении. Учитывая (4), (5), изменение координат точки объединения площадей S_i и S_{i+1} можно записать:

$$CC_x = y_{ц.т.\,i+1} \frac{1 - \frac{Y_{ц.т.\,i}}{y_{ц.т.\,i+1}}}{1 + \frac{iy_{ср.\,i}}{y_{ср.\,i+1}}}; \quad AC_x = X_{ц.т.\,i+1} \frac{1 - \frac{x_{ц.т.\,i}}{x_{ц.т.\,i+1}}}{1 + \frac{i_{ср.\,i}}{y_{ср.\,i+1}}}. \quad (6)$$

Приращение центра тяжести AC определится в следующем виде:

$$AC = \frac{\sqrt{(x_{ц.т.\,i+1} - X_{ц.т.\,i})^2 + (y_{ц.т.\,i+1} - Y_{ц.т.\,i})^2}}{1 + \frac{iy_{ср.\,i}}{y_{ср.\,i+1}}}. \quad (7)$$

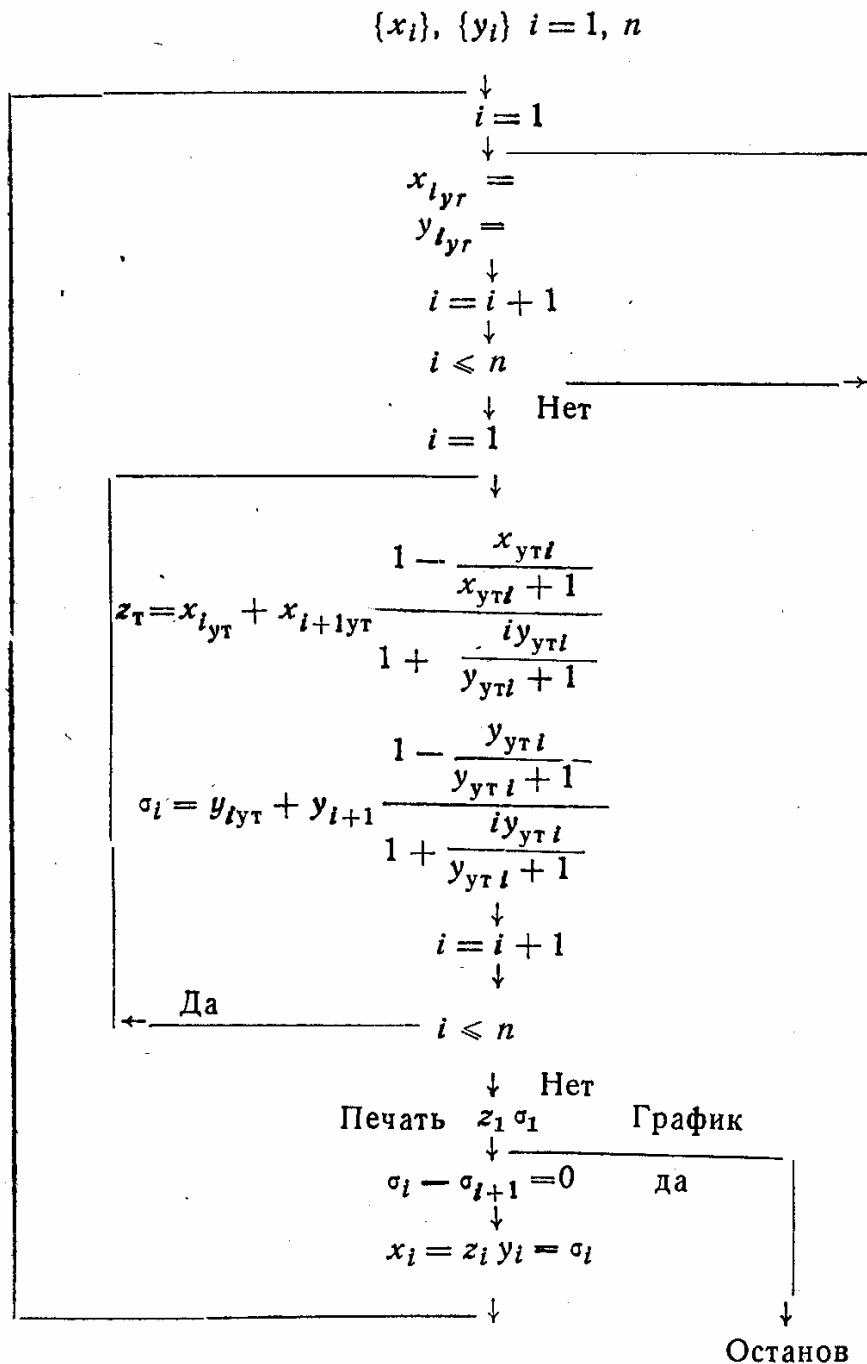
Координаты линии объединения материальных точек (центров тяжести отклонений ординат профиля шероховатости) можно представить в виде, удобном для ее реализации на ЭВМ:

$$x_{i+1} = x_{ц.т.\,i} \pm \frac{1}{ry} \left(\frac{x_{ц.т.\,i+1} - x_{ц.т.\,i}}{1 + \frac{\sum_{l=1}^n y_l}{Y_{ср.\,i} + 1}} \right);$$

$$y_{i+1} = y_{ц.т.\,i} \pm \frac{1}{BY} \left(\frac{y_{ц.т.\,i+1} - y_{ц.т.\,i}}{1 - \frac{\sum_{l=1}^n y_l}{y_{ср.\,i} + 1}} \right), \quad (8)$$

где BY , ry соответственно вертикальное и горизонтальное увеличение профилограмм.

Вычисления производили на ЭВМ ЕС-1020 согласно алгоритму (блок-схема). Программа составлялась на языке «Фортран-IV». Последовательность расчета следующая. Составляют таблицу значений ординат y_1, y_2, \dots, y_n профилограммы, измеренных от отсчетной средней линии через интервал Δx . Значение Δx принимают равным $1/4$ шага той наименьшей по шагу неровности, анализ которой еще представляет интерес. Это вводят в ЭВМ и согласно программе вычисления определяют координаты точек линии объединения. Среднюю линию (отсчетную) проводят



Блок-схема алгоритма построения линии объединения материальных точек визуально таким образом, чтобы площади, заключенные между профилограммой и этой линией по обе стороны, были равны. Расчет производят до тех пор, пока $u_{ц.т}$ профилограммы не будет равен нулю. Этому добиваются путем смещения отсчетной линии на значение $u_{ц.т}$.

Выбором формы и полноты отсчетной линии можно исключить соответствующие частотные составляющие профилограммы, т. е. исследовать форму микронеровностей определенного интервала их величин.

Линия объединения материальных точек несет в себе информацию о распределении материала в поверхностном слое, поэто-

му ее можно рассматривать как компактную характеристику для идентификации шероховатости поверхности. Чем быстрее стремится она к средней линии, тем меньше случайная составляющая, а преобладает периодическая. Линия объединения материальных точек не сможет сразу успокоиться, так как дефекты и другие несовершенства поверхностного строения вызывают на ней всплески. Высокочастотные колебания постепенно отсеиваются, а выделяются только мощные гармоники профилограммы. Интересно оценить воздействие технологических факторов на формообразование микрорельефа обрабатываемой поверхности в связи с ее излучательными свойствами. Изучение и анализ профилограмм поверхностей образцов листового проката из сплава АМГ6 после различных обработок позволили оценить в первом приближении (см. таблицу) форму профилограмм с учетом микронеровностей порядка 10—50 мкм. Оценка производилась по формуле (3). Шероховатость и излучательные свойства (отражательную R_s и излучательную ϵ способности) обработанных поверхностей изучали с применением профилографа-профилометра мод. 252, оптического МИМ-7 и электронного ЭМВ 100Л микроскопов, фотометра ФМ59 и терморadiометра ТИС.

Вид обработки	Параметры шероховатости и излучательных свойств после обработки		
	$I - \frac{R_a}{2H_{l_{\min}}}$	R_s	ϵ
Тонкое точение алмазным инструментом	0,926—0,953	0,75—0,87	0,07
Выглаживание шаром ($\varnothing 6$ мм из ШХ15)	0,95	0,8	0,05
Механическое полирование (окись хрома МЗ)	0,9—0,95	0,6—0,75	0,06—0,07
Точение	0,9	0,48—0,54	0,09—0,12
Фрезерование	0,88—0,89	0,47—0,61	0,15—0,18
Без обработки (прокат)	0,896	0,4—0,6	0,14—0,16
Гидроабразивная или обработка металллической дробью	0,84—0,89	0,35—0,4	0,3—0,32

Коэффициент формы, определяемый с использованием профилометра-профилографа, мод. 252; лишь частично отражает форму микронеровностей, соизмеримых с длинами волн падающего солнечного излучения, так как разрушения от воздействия иглы профилометра соизмеримы с этими микронеровностями. В результатах экспериментов наблюдается соответствие интенсивности изменения коэффициента формы профилограмм изменению отражательной способности обработанных поверхностей для соответствующего технологического маршрута. При каждом методе обработки можно выделить несколько узких интервалов распределения размеров микронеровностей, часть которых соответствует диапазону длин волн падающего излучения.

Максимальные значения характеристики формы неровностей достигаются после точения алмазным инструментом, выглаживания и механического полирования ($R_a = 0,02—0,1$ мкм). С увеличением высоты неровностей обработанной поверхности значения характеристики формы уменьшаются, начинает сказываться влияние взаимного расположения уклонов неровностей, значительно уменьшаются углы и радиусы. Так, для поверхностей после гидроабразивной обработки характерно наличие неровностей различных порядков малости, а углы между уклонами (радиус ошупывающей иглы профилографа 10 мкм) уменьшаются до 90° . В поверхностном слое после обработки наблюдается закрепление абразивных зерен, что оказывает влияние на излучательные свойства поверхностей.

Точение алмазным инструментом поверхностей алюминиевых сплавов, при достижении высокой отражательной способности, предпочтительно перед механическим полированием. Повышению отражательной способности поверхностей, обработанных точением алмазным инструментом (резцом из природного алмаза без применения СОЖ), способствуют благоприятное сочетание физико-химических свойств природного алмаза и обрабатываемой поверхности, снижение интенсивности воздействия химически активных веществ при отсутствии СОЖ, что и приводит к уменьшению количества различного характера неоднородностей. Эти поверхности имеют менее развитую структуру, чем после механического полирования [5].

Изучение профилограмм и фотографий поверхности различных увеличений позволило установить на всех стадиях обработки изменение как высоты неровностей, так и их формы, причем окисление поверхности происходит в меньшей степени при точении, выглаживании и фрезеровании. В случае фрезерования изменение режимов обработки и соответствующих высотных параметров шероховатости ($R_z = 2—45$ мкм) не оказало существенного влияния на отражательную способность. Это можно объяснить соответствием физико-химических свойств обработанных поверхностей и наличием аналогичных неоднородностей геометрического характера, соизмеримых с длинами волн падающего излучения.

Отражение отражательной способности и увеличение излучательной наиболее эффективно обеспечивается в случае применения гидроабразивной обработки. Этому способствует повышенная активность поверхности с ее наклепом, развитым рельефом и окисной пленкой.

Проведенные исследования показали, что линию объединения материальных точек и коэффициент формы профилограммы можно использовать при сравнении профилограмм обработанных поверхностей. При технологическом обеспечении излучательных свойств поверхностей деталей важным моментом является достижение определенной формы и расположения поверхностей уклонов микронеровностей, соизмеримых с длинами падающего и собственного излучений. Для большинства технологических операций окончательной

обработки поверхностей форма таких микронеровностей частично будет определяться окислением поверхностного слоя в процессе обработки.

Список литературы: 1. Шкурупий В. Г. Особенности анализа шероховатости обработанных поверхностей. — Тез. докл. респ. семинара по финишным методам обработки. — Киев: Знание, 1977, с. 6—8. 2. Лесохин А. Ф. Чистота поверхности. Основные параметры. — М.: Стандартгиз, 1949, с. 27. 3. Салтыков С. А. Стереометрическая металлография. — М.: Металлургия, 1976. — 270 с. 4. Фролов С. А. Кибернетика и инженерная графика. — М.: Машиностроение, 1974, с. 102—107. 5. Шкурупий В. Г. Светопоглощательная способность поверхностей после полирования алмазно-абразивными пастами. — Алмазы и сверхтвердые материалы, 1978, вып. 10, с. 11—12.

Поступила в редколлегию 25.12.78.