

РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ КАЧЕСТВА ОБРАБАТЫВАЕМОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ШЛИФОВАНИИ

Владецкая Е.А.

(СевНТУ, г. Севастополь, Украина)

Введение

Широко распространенными способами финишной обработки деталей машин и приборов являются методы чистового и тонкого шлифования. При шлифовании съем материала в существенной степени осуществляется в пределах слоя, в котором распределена шероховатость [1]. При моделировании процессов стружкообразования необходимо учитывать специфику происходящих явлений [1, 2] для оценки выходных показателей процесса, к числу которых относятся шероховатость и глубина дефектного слоя [3, 4, 5].

Основными параметрами качества обрабатываемой поверхности являются ее шероховатость и глубина дефектного слоя. По ГОСТ 2789-73 регламентируется шесть следующих параметров шероховатости: R_a , R_z , R_{max} , S_m , S_b , t_p . Обычно определение этих параметров сводится к табулированию профилограмм и дальнейшим вычислениям по таблицам, например, с помощью ЭВМ.

Наиболее часто используются высотные параметры шероховатости R_a , R_z , R_{max} . Это связано с тем, что они более просто определяются на практике по профилограммам, либо с помощью измерительных приборов.

Вместе с тем процессы шлифования имеют сложную стохастическую природу, что приводит к разбросу показателей качества изделий и не позволяет использовать все возможности финишных методов.

Аналитическое определение этих параметров возможно на основе анализа теоретико-вероятностных зависимостей, полученных в работе [3] Ю.К. Новоселовым. Учитывая, что исходная поверхность заготовки имеет микрорельеф нерегулярного профиля, в работе [3] предложена зависимость для расчета вероятности удаления материала

$$P(M) = 1 - P(\bar{M}) = 1 - e^{-a_0 - a(y)}, \quad (1)$$

где a_0 – показатель, определяющий вероятность удаления (неудаления) материала на предшествующей операции;

$a(y)$ – показатель, определяющий изменение вероятности неудаления материала на выполняемой операции.

На основе выражения (1) могут быть получены модели для аналитического расчета параметров шероховатости, глубина дефектного слоя может быть рассчитана по данным работ [5, 6].

На основании вышеизложенного целью данной статьи является разработка зависимостей для аналитического расчета параметров качества поверхностей после абразивной обработки.

Основное содержание работы

По определению вероятность удаления металла характеризует распределение микронеровностей в поверхностном слое изделия $H = t_{\phi} - \Delta r$, где H – величина слоя, в котором распределена шероховатость; Δr – съем материала. Полагая, что образование

профиля шлифованной поверхности является стационарным случайным процессом с нормальным распределением ординат, путем разложения в ряд зависимости (1) и последующем его сворачивании получены оценки значений высотных параметров шероховатости:

$$R_{zn} = H - 2,948 \cdot \sqrt{\frac{V_u \cdot t_\phi^{1,5}}{n_3 \cdot (V_k + V_u) \cdot l \cdot \sqrt{D_э}}} ; \quad (2)$$

$$R_{an} = \frac{\sqrt{2} \cdot V_u \cdot t_\phi^{1,5}}{\pi \cdot K_c \cdot (V_k + V_u) \cdot n_3 \cdot \sqrt{D_э} \cdot \rho \cdot \sum_{i=0}^n \left(W_m - \sum_{j=1}^i \Delta r_j \right)^{1,5}} ,$$

где l – базовая длина;

K_c – коэффициент стружкообразования;

ρ – радиус округления вершины зерна;

$D_э$ – эквивалентный диаметр;

V_k, V_u – окружная скорость инструмента и заготовки;

n_3 – количество зерен в единице объема рабочего слоя инструмента;

t_ϕ – фактическая глубина микрорезания;

y – расстояние от условной наружной поверхности инструмента до уровня, на котором рассчитывается съем материала.

При определении R_a необходимо предварительно найти величину W_m – расстояние от наиболее глубокой впадины до средней линии профиля. В общем случае она определяется, как решение уравнения

$$G \cdot \sum_{i=0}^n \left(W_m - \sum_{j=1}^i \Delta r_j \right)^{2,5} = \ln 2 , \quad (3)$$

где $G = \frac{2 \cdot \pi \cdot n_3 \cdot (V_k + V_u) \cdot \sqrt{2 \cdot \rho \cdot D_э} \cdot K_c}{58 \cdot V_u \cdot t_\phi^{1,5}} .$

Решение уравнения (3) возможно на основе применения численных методов с использованием ЭВМ. Это значительно усложняет вычисление параметров шероховатости поверхности. Заметим, что формулы (2) имеют простой аналитический вид и только вычисление W_m требует применения численных методов.

При ориентировочных расчетах среднего арифметического отклонения профиля для вычисления W_m может быть использовано соотношение [4]

$$W_m = \frac{H}{2} .$$

Это выражение не является приближенным решением уравнения (3) и поэтому дает слишком высокую погрешность. Для ускорения вычислений параметра R_a желательно построение алгоритма приближенного аналитического определения параметра W_m и оценки точности. Эта задача решается на основе приведения зависимости (3) к безразмерной форме.

Формулы (2) позволяют вычислить параметры шероховатости, вносимые самим процессом. При наличии значительной исходной шероховатости заготовки, а также при резком уменьшении глубины резания зависимости (2) дают заниженные результаты.

Отметим, что значения R_{zn} и R_{maxn} зависят от величины l – базовой длины. При $l \rightarrow \infty$ эти параметры стремятся к 0. Это свойство заложено и в формулах (2). Таким образом формулы для расчета R_{zn} и R_{maxn} отражают уменьшение высоты замеряемого слоя шероховатости из-за ограниченности базовой длины l . Поэтому для их вычисления предлагается следующий алгоритм:

- 1) вычисляется среднее арифметическое отклонение неровностей, вносимое процессом;
- 2) по значению R_{an} выбирается базовая длина l ;
- 3) вычисляются параметры R_{zn} , R_{maxn} .

Для вычисления фактического R_a будем считать, что исходный слой шероховатости представляет собой набор рисок треугольного сечения. На рис. 1 изображен один из выступов. За счет съема металла выступ получается усеченным. При этом параметр Δ определяется по формуле

$$\Delta = \sum_{i=1}^j \Delta r_i,$$

где j – номер оборота.

По определению для расчета средней линии и среднего арифметического отклонения неровностей профиля справедливы формулы (ГОСТ 2789-73):

$$W = \frac{1}{S} \cdot \int_0^s Y(X) dX;$$

$$R_a = \frac{1}{S} \int_0^s |W - Y(X)| dX.$$

Вычисляя аналитически эти интегралы, получим выражение значений W и R_{au} через параметры выступа и съема металла:

$$W = \frac{H}{2} - \frac{\Delta^2}{2H};$$

$$R_{au} = \frac{\Delta^2}{2H} \cdot \left(\frac{\Delta^2}{2H} - 1 \right) + \frac{H}{4}. \quad (4)$$

Для полного профиля треугольного выступа получаем:

$$W = \frac{H}{2}, \quad R_{au} = \frac{H}{4}.$$

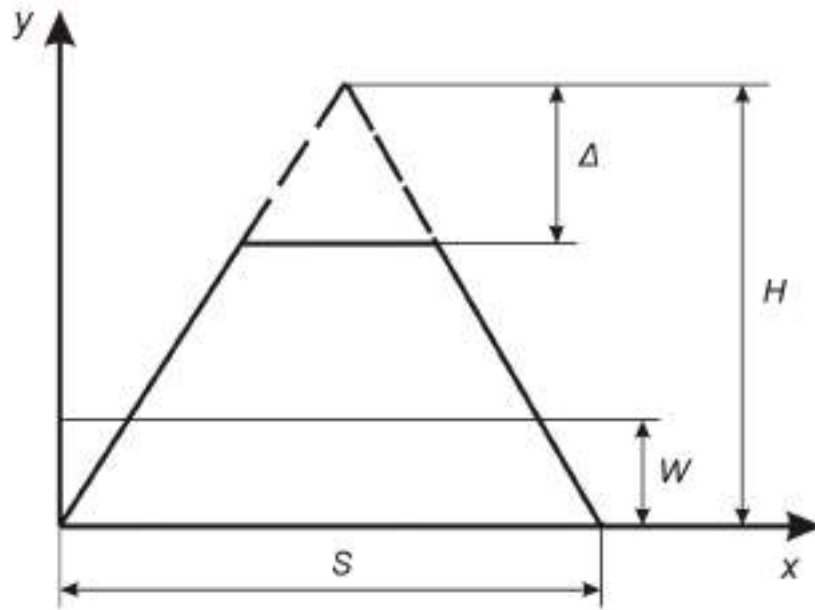


Рис. 1. Моделирование профиля исходной шероховатости

Фактическое значение среднего арифметического отклонения неровностей профиля определяется формулой

$$R_{a\phi} = \max\{R_{au}, R_{an}\}. \quad (5)$$

Смысл формулы (5) заключается в том, что за фактическое значение R_a принимается его значение, вычисляемое по формуле (2) в том случае, если суммарный съём металла Δ достаточно велик по сравнению с высотой исходного слоя шероховатости. В противном случае R_a вычисляется по формуле (4).

Комплексным параметром, объединяющим высотные и шаговые параметры шероховатости, является средняя опорная длина профиля. По определению этот параметр совпадает с вероятностью неудаления металла. При $t_{\phi j} = const j$ формула принимает вид

$$t_{pj} = \exp \left[- G \sum_{i=0}^{j-1} \left(t_{\phi j} - Y - \sum_{k=j-i}^j \Delta r_k \right)^{2,5} \right]. \quad (6)$$

Эта зависимость справедлива для нестационарных условий шлифования, то есть при $t_{\phi j}$, меняющемся от оборота к обороту заготовки.

Кроме шероховатости к параметрам качества поверхности относится глубина дефектного слоя. По данным А.В. Якимова [5] она определяется зависимостью

$$h_j = \alpha (q - q_0) \left(\frac{2h}{V_u} \right)^\beta \approx kW_m, \quad (7)$$

где q – бездефектный уровень плотности теплового потока;

h – полуширина теплового источника;

β – коэффициент, определяемый характером тепловыделения, $\beta = 0,8 \dots 0,9$;

α – коэффициент, зависящий от теплофизических свойств круга и заготовки;

W_m – удельная поверхностная работа шлифования.

Для плотности теплового потока справедлива зависимость, которая связывает глубину дефектного слоя с режимами резания. Полуширина теплового источника равна половине высоты зоны контакта

$$h = 0,5 \sqrt{t_\phi D_\phi}.$$

Наряду с формулой (5) возможно использование зависимости, полученной В.Г. Лебедевым [6]

$$h = 2 \sqrt{a\tau \frac{T - T_{cn}}{T} \ln \frac{T - T_{cn}}{2T_{cn}}}, \quad (8)$$

где T_{cn} – температура структурных превращений;

τ – время действия источника тепла;

T – температура поверхности заготовки;

a – коэффициент температуропроводности металла.

Формула (8) не содержит эмпирических коэффициентов, а входящие в нее значения температуропроводности и температуры структурных превращений содержатся в справочниках [1]. Поэтому использование зависимости (8) предпочтительней, хотя она и более сложна, чем зависимость (7).

Формулы (7) и (8) определяют вносимую процессом глубину дефектного слоя. Фактическая глубина может превышать вносимую из-за наличия на заготовке большого дефектного слоя от предыдущей обработки. Поэтому фактическая глубина дефектного слоя определяется формулой:

$$h_{a\phi j} = \max\{0; h_\partial \phi_{j-1} - \Delta r_j; h_\partial\}. \quad (9)$$

Таким образом, формула (9) совместно с выражениями (7) или (8) позволяет прогнозировать изменение глубины дефектного слоя в процессе шлифования.

Выводы

Получены зависимости для расчета шероховатости поверхности (2), (3), (4), (5), которые в совокупности с известными зависимостями (7), (8), (9), характеризующими параметры дефектного слоя, позволяют аналитически рассчитывать и прогнозировать состояние поверхностного слоя после абразивной обработки. Зависимости (2), (3), (4), (5) можно использовать для схем круглого наружного, внутреннего и плоского шлифования, для других схем абразивно-алмазной обработки необходимо разрабатывать соответствующие модели, что является перспективой дальнейшего

исследования.

Список литературы: 1. Абразивная и алмазная обработка материалов. Справочник / Под ред. А.Н. Резникова. – М.: Машиностроение, 1977. – 390 с. 2. Братан С.М. Анализ влияния колебаний, передаваемых через фундамент станка, на качество процесса шлифования/ С.М. Братан, Е.А. Владецкая// Вестник НТУ «ХПИ». – Технология в машиностроении: сб. научн. тр. – Харків: НТУ «ХПИ». – 2008. – №35. – С. 13-22. 3. Новоселов Ю.К. Динамика формообразования поверхностей при абразивной обработке/ Ю.К. Новоселов. – Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 1979. – 232 с. 4. Братан С.М. Технологічні основи забезпечення якості і підвищення стабільності високопродуктивного чистового тонкого шліфування: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня докт. техн. наук: спец. 05.02.08 «Технологія машинобудування»/ С.М. Братан. – Одеса, 2006. – 35 с. 5. Якимов А.В. Оптимизация процесса шлифования/ А.В. Якимов. – М.: Машиностроение, 1975. – 176 с. 6. Лебедев В. Г. Технологические основы управления качеством поверхностного слоя при шлифовании: автореф. дис. на соиск. учен. степени докт. техн. наук: спец. 05.02.08. «Технология машиностроения»/ В.Г. Лебедев. – Одесса, 1991. – 33 с.

РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ ЯКОСТІ ОБРОБЛЮВАНОЇ ПОВЕРХНІ ПРИ ШЛІФУВАННІ

Владецька К.О.

В статті розроблені моделі для розрахунку параметрів шорсткості, які у сукупності з відомими залежностями, що характеризують параметри дефектного шару, дозволяють аналітично розраховувати та прогнозувати стан поверхневого шару після абразивної обробки.

РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ КАЧЕСТВА ОБРАБАТЫВАЕМОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ШЛИФОВАНИИ

Владецкая Е.А.

В статье разработаны модели для расчета параметров шероховатости поверхности, которые в совокупности с известными зависимостями, характеризующими параметры дефектного слоя, позволяют аналитически рассчитывать и прогнозировать состояние поверхностного слоя после абразивной обработки.

CALCULATION OF QUALITY PARAMETERS OF PROCESSED SURFACE DURING GRINDING

Vladetska E.A.

Models for calculation of surface roughness parameters are developed. These models together with known equations, characterizing parameters of defective layer, allow to calculate analytically and predict the condition of surface layer after abrasive machining.

Рецензент: д.т.н., проф. Матюха П.Г.