

УДК 621.923

В. Г. ШКУРУПИЙ, канд. техн. наук, ХНЭУ;
Ф. В. НОВИКОВ, докт. техн. наук, ХНЭУ;
А. Г. КРЮК, канд. техн. наук, ХНЭУ, Харьков

РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ШЕРОХОВАТОСТИ ОБРАБОТКИ ПРИ АБРАЗИВНОМ ПОЛИРОВАНИИ

При фиксированном радиальном усилии удельное давление в зоне обработки при абразивном полировании уменьшается вследствие увеличения относительной опорной длины микропрофиля обрабатываемой исходной поверхности. В результате уменьшается фактическая скорость радиальной подачи, что соответствует схеме выхаживания при шлифовании. Показано, что схема абразивного полирования с фиксированным радиальным усилием оптимальна для обеспечения условий уменьшения шероховатости при обработке поверхностей со значительной исходной шероховатостью.

Ключевые слова: абразивное полирование, шероховатость поверхности, радиальное усилие, скорость радиальной подачи, схема выхаживания.

Введение. Технологическое обеспечение качества обработки деталей машин требует применения прогрессивных методов финишной обработки, одним из которых является метод абразивного полирования. Несмотря на большой опыт, накопленный в области абразивного полирования, возможности этого метода обработки используются не в полной мере. Поэтому актуальны дальнейшие исследования технологических возможностей абразивного полирования.

Анализ последних достижений и литературы. В работах [1–3] раскрыта физическая сущность и даны практические рекомендации по эффективному применению абразивного полирования. Приведены результаты многочисленных экспериментальных исследований шероховатости поверхности при полировании. Однако, приведенные в этих работах эмпирические зависимости параметров шероховатости поверхности справедливы для частных условий обработки и не позволяют получить обобщенные решения, охватывающие широкие диапазоны изменения технологических параметров. Поэтому важной задачей является разработка математической модели определения параметров шероховатости поверхности при абразивном полировании и выявление на ее основе новых условий высококачественной обработки.

Цель работы, постановка проблемы. Целью работы является теоретическое обоснование путей уменьшения шероховатости поверхности при абразивном полировании на основе ее аналитического описания и анализа.

Материалы исследования. Абразивное полирование предназначено для уменьшения исходной шероховатости поверхности на обрабатываемой детали. Для этого инструмент, на рабочей поверхности которого расположены абразивные зерна, совершает вращательное и радиальное движения со скоростью радиальной подачи $S_{\text{рад}}$. Поскольку производится, по сути, обработка микронеровностей исходной поверхности образца, описываемой вероятностной функцией $\Phi(y)$ [4] (рис. 1,а), то фактическая площадь контакта инструмента с образцом $F(y) = B \cdot H \cdot \Phi(y)$ в начальный момент процесса значительно меньше номинальной площади $F = B \cdot H$ (для абсолютно гладкой поверхности). Здесь B и H – ширина и длина обрабатываемого образца. Исходя из такого представления процесса абразивного полирования, при фиксированной скорости радиальной подачи $S_{\text{рад}}$ образца радиальная составляющая силы резания P_y в начальный момент обработки будет наименьшей и по мере съема микронеровностей будет увеличиваться. По такому же закону будет изменяться и производительность обработки Q (рис. 1,а). Шероховатость поверхности в конечный момент обработки будет зависеть от скорости радиальной подачи: чем она больше, тем больше будет и шероховатость поверхности. Поэтому с точки зрения уменьшения шероховатости поверхности, очевидно, скорость радиальной подачи $S_{\text{рад}}$ целесообразно уменьшать. Однако это приведет к снижению производительности Q , что неэффективно. Таким образом, имеет место противоречие, связанное с противоположным влиянием скорости радиальной подачи $S_{\text{рад}}$ на шероховатость и производительность обработки Q . Чтобы исключить данное противоречие, на практике предложено процесс абразивного полирования осуществлять с фиксированным радиальным усилием P_y (рис. 1,б). Это позволяет в начальный момент обработки съема металла в виде значительных микронеровностей на обрабатываемой поверхности производить с увеличенной скоростью радиальной подачи $S_{\text{рад}}$, т.к. фактическая площадь контакта инструмента с обрабатываемой поверхностью образца $F(y) = B \cdot H \cdot \Phi(y)$ в этом случае небольшая. По мере съема микронеровностей и перехода к съему сплошного металла скорость радиальной подачи $S_{\text{рад}}$ будет уменьшаться, а это приведет к уменьшению шероховатости обработанной поверхности. По закону изменения скорости радиальной подачи $S_{\text{рад}}$ будет изменяться и удельное давление $P_{y\partial} = P_y / F(y)$ (рис. 1,б).

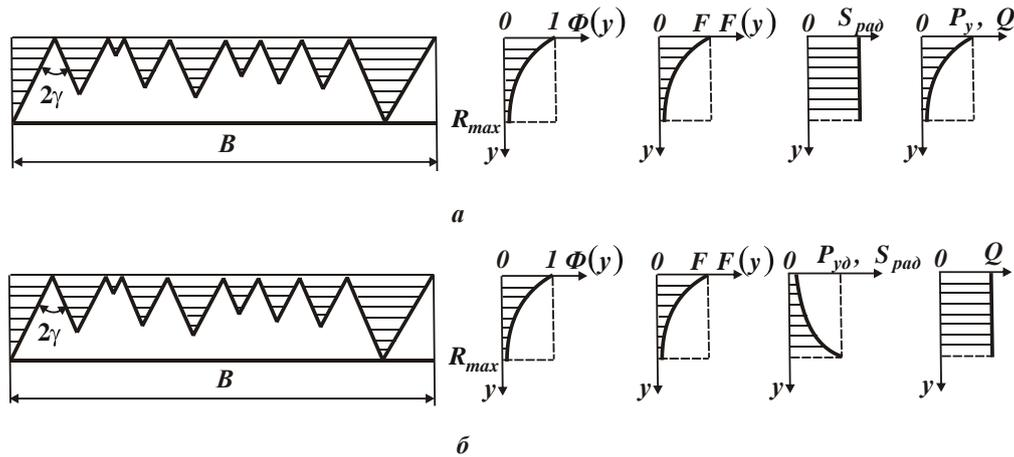


Рис. 1 – Расчетные схемы параметров абразивного полирования: а – при фиксированной скорости радиальной подачи $S_{рад}$ и б – фиксированным радиальным усилием P_y

Таким образом показано, что за счет осуществления съема металла с переменной во времени скоростью радиальной подачи обеспечивается повышение производительности в начальный момент обработки и уменьшение шероховатости поверхности на конечном этапе обработки. Фактически реализуется оптимальная схема финишной абразивной обработки, соответствующая схеме выхаживания при шлифовании, когда съем металла на окончательном этапе обработки осуществляется без радиальной подачи за счет упруго-восстанавливающей силы, возникающей в технологической системе. В этом случае фактическая скорость радиальной подачи уменьшается во времени от исходного значения практически до нуля, что обеспечивает достижение наилучших показателей шероховатости и точности обрабатываемых поверхностей. По сути, то же происходит и в процессе абразивного полирования с фиксированным радиальным усилием P_y .

Для аналитического описания параметров абразивного полирования следует представить радиальное усилие P_y (радиальную составляющую силы резания) в виде: $P_y = P_z / K_{рез}$, где P_z – тангенциальная составляющая силы резания; $K_{рез}$ – коэффициент резания. С учетом известного соотношения [5]

$$P_z = \sigma \cdot S_{мгн} \text{ имеем } P_y = \frac{\sigma \cdot S_{мгн}}{K_{рез}}, \text{ где } \sigma \text{ – условное напряжение резания, Н/м}^2;$$

$S_{мгн} = Q / V_{инстр}$ – мгновенная суммарная площадь поперечного сечения среза всеми работающими зернами, м^2 ; $Q = F \cdot S_{рад}$ – производительность обработки, $\text{м}^3/\text{с}$; $F = B \cdot H$ – площадь контакта обрабатываемого образца с инструментом, м^2 ; $V_{инстр}$ – скорость инструмента, м/с . Тогда

$$P_y = \frac{\sigma \cdot F \cdot S_{\text{рад}}}{K_{\text{рез}} \cdot V_{\text{инстр}}} \quad (1)$$

Откуда с учетом удельного давления $P_{\text{уд}} = P_y / F$ определяется скорость

$$S_{\text{рад}} = \frac{K_{\text{рез}} \cdot P_y \cdot V_{\text{инстр}}}{\sigma \cdot F} = \frac{K_{\text{рез}} \cdot P_{\text{уд}} \cdot V_{\text{инстр}}}{\sigma} \quad (2)$$

Из зависимости (2) следует, что при обработке образца с переменной (увеличивающейся во времени) площадью контакта образца с инструментом F , скорость $S_{\text{рад}}$ непрерывно увеличивается. Это согласуется с практикой финишной абразивной обработки [1]. На заключительном этапе абразивного полирования фактическая площадь контакта образца с инструментом F увеличивается до номинальной площади, соответствующей обработке абсолютно гладкой поверхности. Исходя из зависимости (2), это приводит к уменьшению скорости радиальной подачи $S_{\text{рад}}$ и к уменьшению шероховатости поверхности.

Результаты исследований. Определим время абразивного полирования τ с фиксированным радиальным усилием $P_y = \text{const}$ при условии, что фактическая площадь контакта обрабатываемого образца с инструментом F по координате y изменяется по закону: $F(y) = H \cdot B(y) = H \cdot \text{tg}\beta \cdot y$, где $B(y) = \text{tg}\beta \cdot y$; β – угол наклона функции $B(y)$. В данном случае для удобства расчетов направление координаты y (рис. 2, а) изменили на противоположное (рис. 2, б).

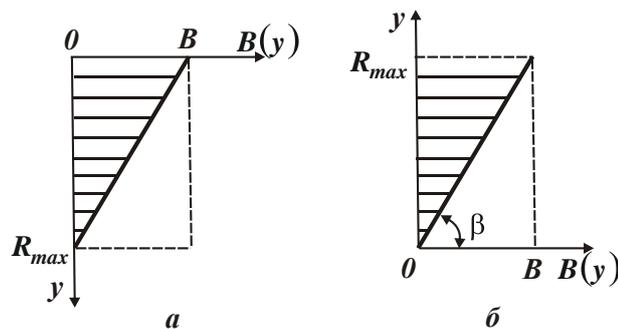


Рис. 2 – Вид функции $B(y)$

Зависимость (2) в этом случае примет вид:

$$S_{\text{рад}} = \frac{K_{\text{рез}} \cdot P_y \cdot V_{\text{инстр}}}{\sigma \cdot H \cdot \text{tg}\beta \cdot y} \quad (3)$$

Время обработки τ с переменной $S_{\text{рад}}$ можно представить в виде суммы значений времени, затрачиваемого на съём единицы толщины обрабатываемого материала Δy : $\tau = \sum_{i=1}^r \frac{\Delta y}{S_{\text{рад}_i}}$, где $S_{\text{рад}_i}$ – скорость радиальной подачи в различные моменты времени, м/с. Тогда

$$\tau = \int_0^y \frac{\sigma \cdot H \cdot \text{tg}\beta \cdot y}{K_{\text{рез}} \cdot P_y \cdot V_{\text{инстр}}} \cdot dy = \frac{\sigma \cdot H \cdot \text{tg}\beta \cdot y^2}{2 \cdot K_{\text{рез}} \cdot P_y \cdot V_{\text{инстр}}}; \quad (4)$$

$$S_{\text{рад}} = \sqrt{\frac{K_{\text{рез}} \cdot P_y \cdot V_{\text{инстр}}}{2 \cdot \sigma \cdot H \cdot \text{tg}\beta \cdot \tau}}. \quad (5)$$

Как видно, с течением времени обработки τ скорость радиальной подачи $S_{\text{рад}}$ уменьшается. При этом производительность обработки $Q = F(y) \cdot S_{\text{рад}}$ равна: $Q = \frac{K_{\text{рез}} \cdot P_y \cdot V_{\text{инстр}}}{\sigma}$. Этим показано, что Q не зависит от $S_{\text{рад}}$, а определяется $\sigma / K_{\text{рез}}$, P_y и $V_{\text{инстр}}$, т.е. как и в случае абразивного полирования с постоянной площадью контакта образца с инструментом F .

Выводы. Установлено, что при фиксированном радиальном усилии удельное давление в зоне обработки при абразивном полировании уменьшается вследствие увеличения относительной опорной длины микропрофиля обрабатываемой исходной поверхности. Этим показано, что схема абразивного полирования с фиксированным радиальным усилием является наиболее оптимальной с точки зрения обеспечения условий уменьшения шероховатости при обработке поверхностей со значительной исходной шероховатостью.

Список литературы: 1. Качество поверхности при алмазно-абразивной обработке / Э. В. Рыжов, А. А. Сагарда, В. Б. Ильицкий, И. Х. Чеповецкий. – К.: Наукова думка, 1979. – 244 с. 2. Кедров С. М. Средства повышения производительности доводки металлов / С. М. Кедров // Станки и инструмент, 1987. – №6. – С. 10-13. 3. Ваксер Д. Б. Пути повышения производительности абразивного инструмента при шлифовании / Д. Б. Ваксер. – М.: Машиностроение, 1964. – 123с. 4. Новіков Ф.В. Математична модель визначення шорсткості поверхні при абразивній обробці / Ф.В. Новіков, В.В. Нежебовський, В.Г. Шкурупій // Вісник НТУ «ХПІ». Збірник наукових праць. Серія: Математичне моделювання в техніці та технологіях. – Х.: НТУ «ХПІ». – 2013. – № 5 (979). – С. 199-210. 5. Теоретические основы резания и шлифования материалов: учеб. пособие / А.В. Якимов, Ф.В. Новиков, Г.В. Новиков и др. – Одесса: ОГПУ, 1999. – 450 с.

Bibliography (transliterated): 1. Kachestvo poverkhnosti prialmazno-abrazivnoy obrabotke E.V. Ryzhov, A.A. Sagarda, V.B. Ilyitskiy, I.K. Chepovetskiy. – Kiev: Naukova dumka, 1979. – 244 p. 2. Kedrov S.M. Sredstva povysheniya proizvoditelnosti dovodki metallov S.M. Kedrov Stanki i instrument, 1987. – No6. – P. 10–13. 3. Vakser D.B. Puti povysheniya proizvoditelnosti abrazivnogo instrumenta pri shlifovanii D.B. Vakser. – M.: Mashinostroenie, 1964. – 123 p. 4. Novikov F.V. Matematychna model vyznachennya shorstkosti poverkhni pry abrazivniy obrobtsi F.V. Novikov, V.V. Nezhebovskiy, V.G. Shkurupiy Visnyk NTU “KhPI”. Zbirnyk naukovykh prats. Seriya: Matematichne modeliuвання v tekhnitsi ta tekhnologiyakh. – Kharkiv: NTU “KhPI”. – 2013. – No 5 (979). – P. 199–210. 5. Teoretycheskie osnovy rezaniy i shlifovaniya materialov: ucheb. posobie A.V. Yakimov, F.V. Novikov, G.V. Novikov i dr. – Odessa: OGPU, 1999. – 450 p.

Поступила (received) 23.10.2014г.