

АНАЛИТИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ СИЛОВОЙ НАПРЯЖЕННОСТИ АБРАЗИВНОГО ПОЛИРОВАНИЯ

*Шкуруний Валентин Григорьевич, доцент кафедры
“Техника и технологии”*

Харьковский национальный экономический университет

Абразивное полирование является одним из основных методов финишной абразивной обработки. Условием осуществления съема металла и формообразования поверхностей при абразивном полировании следует рассматривать возможность достаточно прочного удержания абразивных зерен в материале инструмента-полировальника. Если материал инструмента характеризуется высокой твердостью, то, очевидно, абразивное зерно не сможет в него внедриться и удержаться в нем в процессе обработки. Оно будет перекашиваться, фактически не совершая съема обрабатываемого материала. Поэтому материал инструмента следует выбирать достаточно пластичным, обеспечивающим внедрение (шаржирование) в него абразивного зерна и удержание его с силой, достаточной для осуществления процесса микрорезания. Для аналитического описания процесса взаимодействия абразивного зерна с обрабатываемым металлом и материалом инструмента рассмотрена расчетная схема (рис. 1), в которой под действием радиального усилия P_{y0} абразивное зерно внедряется в обрабатываемый металл на глубину a и в материал инструмента на глубину a_1 .

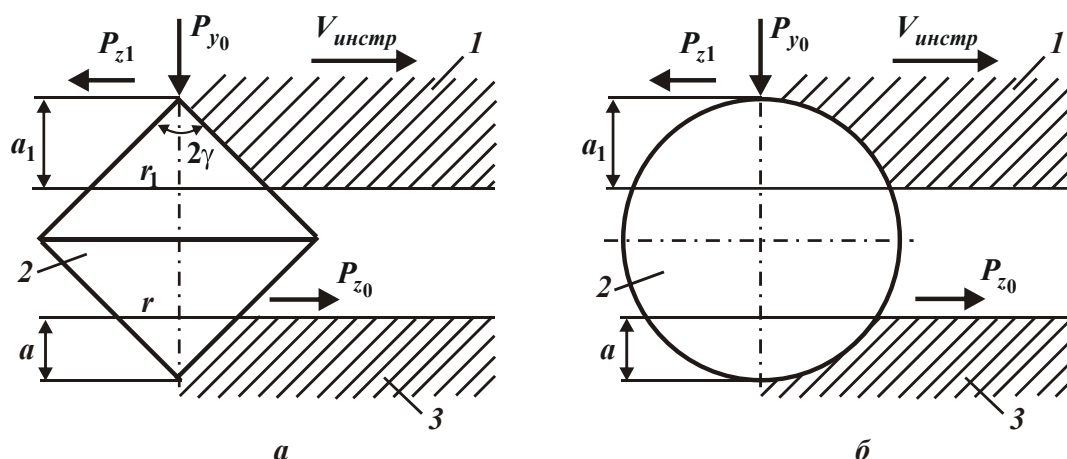


Рис. 1. Расчетные схемы взаимодействия абразивного зерна 2 в форме двух спаренных конусов (а) и в форме сферы (б) с материалом инструмента-полировальника 1 и с обрабатываемым материалом 3.

Для определения глубин a и a_1 необходимо знать площади контакта абразивного зерна с обрабатываемым металлом $F_{\text{конт}}$ и с материалом ин-

струмента $F_{\text{конт1}}$. С целью упрощения расчетов первоначально рассмотрено абразивное зерно в форме двух спаренных между собой конусов с углами при вершинах 2γ . Тогда, исходя из рис. 1, получено

$$F_{\text{конт}} = \pi \cdot r^2 = \pi \cdot \text{tg}^2 \gamma \cdot a^2; \quad (1)$$

$$F_{\text{конт1}} = \pi \cdot r_1^2 = \pi \cdot \text{tg}^2 \gamma \cdot a_1^2, \quad (2)$$

где $r = \text{tg} \gamma \cdot a$; $r_1 = \text{tg} \gamma \cdot a_1$ – радиусы площадей $F_{\text{конт}}$ и $F_{\text{конт1}}$, м.

Твердости обрабатываемого металла HV (по Виккерсу) и материала инструмента HV_1 определяются зависимостями:

$$HV = \frac{P_{y0}}{F_{\text{конт}}} = \frac{P_{y0}}{\pi \cdot \text{tg}^2 \gamma \cdot a^2}; \quad (3)$$

$$HV_1 = \frac{P_{y0}}{F_{\text{конт1}}} = \frac{P_{y0}}{\pi \cdot \text{tg}^2 \gamma \cdot a_1^2}. \quad (4)$$

Решая зависимости (3) и (4) относительно глубин a и a_1 , получено:

$$a = \sqrt{\frac{P_{y0}}{\pi \cdot \text{tg}^2 \gamma \cdot HV}}; \quad (5)$$

$$a_1 = \sqrt{\frac{P_{y0}}{\pi \cdot \text{tg}^2 \gamma \cdot HV_1}}. \quad (6)$$

Как видно, чем больше угол γ , твердости обрабатываемого металла HV и материала инструмента HV_1 , тем меньше глубины внедрения абразивного зерна в обрабатываемый металл a и в материал инструмента a_1 . Чтобы абразивное зерно глубже внедрилось в материал инструмента и прочнее в нем удерживалось в процессе обработки, необходимо уменьшать твердость материала инструмента HV_1 . Это позволит увеличить тангенциальное усилие P_{z1} , с которым абразивное зерно будет удерживаться в инструментально-полировальнике. Тангенциальное усилие P_{z1} можно выразить:

$$P_{z1} = K_{\text{рез1}} \cdot P_{y0}, \quad (7)$$

где $K_{\text{рез1}}$ – коэффициент, численно равный коэффициенту резания.

Очевидно, чем больше коэффициент $K_{\text{рез1}}$, тем больше тангенциальное усилие P_{z1} и прочнее будет удерживаться абразивное зерно. Принимая условие $HV_1 < HV$ с учетом зависимостей (5) и (6) получено:

$$\frac{a_1}{a} = \sqrt{\frac{HV}{HV_1}}. \quad (8)$$

Из данного соотношения вытекает условие: $a_1 > a$. При перемещении абразивного зерна со скоростью инструмента $V_{\text{инстр}}$ произойдет процесс

микрорезания обрабатываемого металла. Возникающая при этом тангенциальная составляющая силы резания P_{z_0} будет подчиняться зависимости:

$$P_{z_0} = K_{рез_0} \cdot P_{y_0}. \quad (9)$$

Коэффициент резания $K_{рез_0}$ с физической точки зрения не должен превышать значение коэффициента $K_{рез_1}$, входящего в зависимость (7). В противном случае будет справедливо условие $P_{z_0} > P_{z_1}$, в результате чего зерно не сможет прочно удерживаться в материале инструмента, будет перекатываться, что исключает процесс микрорезания обрабатываемого металла. Иными словами, для осуществления процесса микрорезания обрабатываемого металла должно выполняться условие $P_{z_0} < P_{z_1}$.

Учитывая то, что абразивное зерно с одинаковой вероятностью может осуществлять процесс микрорезания как обрабатываемого металла, так и материала инструмента-полировальника, то для выполнения условия $P_{z_0} < P_{z_1}$, исходя из зависимостей (7) и (8) необходимо выполнить условие $K_{рез_0} < K_{рез_1}$. В работе [1] показано, что условное напряжение резания σ при микрорезании единичным зерном может быть описано зависимостью:

$$\sigma = \frac{\sigma_{сж}}{\operatorname{tg} \left[45^\circ - \frac{(\psi + \gamma)}{2} \right]} = \frac{2 \cdot \sigma_{сж}}{K_{рез}}, \quad (10)$$

где $\sigma_{сж}$ – предел прочности на сжатие обрабатываемого металла, Н/м²; ψ – условный угол трения передней поверхности режущего зерна с металлом ($\operatorname{tg} \psi = f$ – коэффициент трения); γ – условный передний угол зерна.

Из зависимости (10) следует, что чем больше углы ψ и γ , тем больше условное напряжение резания σ . Это согласуется с выводом, сделанным в предыдущем параграфе относительно того, что образование площадок износа на абразивных зернах ($2\gamma \rightarrow 180^\circ$) позволяет уменьшить шероховатость поверхности (обеспечивает сглаживание микронеровностей на обрабатываемой поверхности) за счет увеличения условного напряжения резания σ при полировании с фиксированным радиальным усилием P_y .

С другой стороны, чтобы снизить силовую напряженность процесса и повысить производительность обработки, наоборот, необходимо условное напряжение резания σ уменьшать, уменьшая углы ψ и γ . Следовательно, как отмечалось в предыдущем параграфе, имеет место противоположные требования к параметру σ в зависимости от решаемой задачи: обеспечения уменьшения шероховатости поверхности или повышения производительности обработки. С целью уменьшения шероховатости поверхности параметр σ необходимо увеличивать, а с целью повышения производительности обработки, наоборот, уменьшать за счет обеспечения высокой

остроты режущих зерен и снижения интенсивности трения в зоне резания. Очевидно, увеличение параметра σ предполагает увеличение тангенциальной составляющей силы резания P_{z_0} и поэтому для выполнения условия $P_{z_0} < P_{z_1}$ (соответственно условия $K_{рез_0} < K_{рез_1}$) требуется увеличивать силу P_{z_1} , повышая прочность удержания абразивного зерна в материале инструмента-полировальника.

Для анализа условия $K_{рез_0} < K_{рез_1}$ следует разрешить зависимость (10) относительно коэффициента резания $K_{рез}$. В результате получено:

$$K_{рез} = 2 \cdot \operatorname{tg} \left[45^{\circ} - \frac{(\psi + \gamma)}{2} \right]. \quad (11)$$

В табл. 1 приведены рассчитанные по зависимости (11) значения $K_{рез}$.

Таблица 1

Расчетные значения коэффициента резания $K_{рез}$

$(\psi + \gamma)$, град	30	45	60	70	90
$K_{рез}$	0,577	0,424	0,268	0,184	0

Применительно к процессам микрорезания абразивным зерном обрабатываемого металла и материала инструмента-полировальника, коэффициенты резания $K_{рез_0}$ и $K_{рез_1}$ аналитически опишутся:

$$K_{рез_0} = 2 \cdot \operatorname{tg} \left[45^{\circ} - \frac{(\psi_0 + \gamma)}{2} \right]; \quad K_{рез_1} = 2 \cdot \operatorname{tg} \left[45^{\circ} - \frac{(\psi_1 + \gamma)}{2} \right], \quad (12)$$

где ψ_0, ψ_1 – условные углы трения передней поверхности режущего зерна с обрабатываемым металлом и материалом инструмента-полировальника.

Очевидно, для того чтобы выполнить условие $K_{рез_0} < K_{рез_1}$, необходимо чтобы угол ψ_0 был больше угла ψ_1 . С учетом соотношений $\operatorname{tg} \psi_0 = f_0$; $\operatorname{tg} \psi_1 = f_1$ (где f_0, f_1 – соответственно коэффициенты трения передней поверхности режущего зерна с обрабатываемым металлом и материалом инструмента-полировальника) должно выполняться условие $f_0 > f_1$. Однако, обеспечить выполнение данного условия сложно, поэтому одновременно будут происходить процессы микрорезания абразивным зерном обрабатываемого металла и материала инструмента-полировальника, т.е. фактически с одинаковой интенсивностью будет изнашиваться инструмент и производиться сьем обрабатываемого металла. В реальных условиях процесс абразивного полирования осуществляется зернами, имеющими геометрическую форму, близкую к сфере. Поэтому рассмотрены закономерности взаимодействия зерна в форме сферы с обрабатываемым металлом и материалом инструмента-полировальника при условии, что на зерно при поли-

ровании действует радиальное усилие P_{y_0} (рис. 1). В работе [1] установлено, что условное напряжение резания σ и коэффициент резания $K_{рез}$ применительно к процессу микрорезания зерном в форме сферы описываются:

$$\sigma = \frac{\sigma_{сж}}{\left(\sqrt{\frac{a}{2R}} - \operatorname{tg} \frac{\psi_0}{2} \right)} = \frac{2 \cdot \sigma_{сж}}{K_{рез_0}}; \quad (13)$$

$$K_{рез_0} = 2 \cdot \left(\sqrt{\frac{a}{2R}} - \operatorname{tg} \frac{\psi_0}{2} \right), \quad (14)$$

где a – толщина среза, м; R – радиус абразивного зерна, м.

При таком представлении процесса микрорезания условное напряжение резания σ тем меньше, чем больше отношение a/R и меньше условный угол трения передней поверхности режущего зерна с обрабатываемым металлом ψ_0 . Коэффициент резания $K_{рез}$, наоборот, тем меньше, чем меньше a/R и больше условный угол трения передней поверхности режущего зерна с обрабатываемым металлом ψ_0 . Зависимости (13) и (14) справедливы при микрорезании обрабатываемого металла. При микрорезании материала инструмента-полировальника зависимость (14) примет вид:

$$K_{рез_1} = 2 \cdot \left(\sqrt{\frac{a}{2R}} - \operatorname{tg} \frac{\psi_1}{2} \right). \quad (15)$$

Как видно, зависимости (14) и (15) отличаются условными углами трения ψ_0 и ψ_1 , поскольку коэффициенты трения передней поверхности режущего зерна с обрабатываемым металлом f_0 и материалом инструмента-полировальника f_1 различны. Для того чтобы выполнялось условие $K_{рез_0} < K_{рез_1}$ необходимо выполнить условие $f_0 > f_1$. Это соответствует приведенному выше решению, полученному при моделировании абразивного зерна в форме двух спаренных между собой конусов (рис. 1,а).

Из зависимостей (14) и (15) вытекает важный вывод, связанный с тем, что чем больше отношение a/R , тем больше коэффициент резания. Учитывая то, что глубина внедрения абразивного зерна в материал инструмента-полировальника больше глубины внедрения зерна в обрабатываемый металл, то, очевидно, выполняется условие $K_{рез_0} < K_{рез_1}$. Из этого вытекает, что при микрорезании абразивным зерном в форме сферы будет гарантированно выполняться условие $P_{z_0} < P_{z_1}$, а это обеспечит достаточно прочное удержание зерна в инструменте-полировальнике и позволит осуществить процесс съема обрабатываемого металла.

Список литературы: 1. Андилахай А.А. Научные основы эффективной отделочной абразивной обработки деталей затопленными струями: автореф. дис. на соискание научн. степени докт. техн. наук : спец. 05.02.08 “Технология машиностроения” / А.А. Андилахай. – Одесса, 2013. – 47 с.