

УДК 621.923

А. Ф. РАБ, канд. техн. наук, Ф. В. НОВИКОВ

## ТОЧНОСТЬ ФОРМЫ ПРИ КРУГЛОМ ПРОДОЛЬНОМ ШЛИФОВАНИИ ИЗДЕЛИЙ С ПЕРЫВИСТЫМИ ПОВЕРХНОСТЯМИ

Процесс круглого продольного шлифования изделий с перыvistыми поверхностями характеризуется переменной во времени силой резания, которая вызывает изменение величины взвешенного отжатия круга и изделия, а следовательно, и глубины шлифования за период обработки каждого элемента изделия. При этом распределение съема металла по ширине обрабатываемого элемента происходит неравномерно. На входном и выходном участках образуются завалы, что приводит к нарушению точности формы (цилиндричности) изделия. Применительно к многолезвийным инструментам это может снизить их работоспособность и качество обработанной поверхности.

Чтобы раскрыть механизм образования погрешности формы ножа и установить пути повышения точности шлифования многолезвийных инструментов, воспользуемся математической моделью шлифования [1] с учетом отжатий системы СПИД.

По мере входа обрабатываемого ножа в рабочую поверхность круга количество элементарных слоев снимаемого припуска, одновременно контактирующих с кругом, увеличивается и достигает максимального значения в момент совмещения передней плоскости ножа с осевой плоскостью шлифования, т. е. при повороте на первую половину угла контакта. В случае дальнейшего поворота изделия площадь контакта и соответственно отжатия системы СПИД увеличиваются, что вызывает уменьшение глубины шлифования и, следовательно, числа контактируемых элементарных слоев и интенсивности съема металла. С мо-

момента выхода передней плоскости ножа из рабочей поверхности круга отжатия и глубина шлифования стабилизируются, интенсивность съема металла принимает постоянное значение. При окончательном выходе ножа изделия из контакта с кругом закономерность изменения съема припуска противоположна входу ножа в рабочую поверхность круга, и отжатия практически равны нулю.

Таким образом, для оценки точности формы (цилиндричности) ножа достаточно знать величину отжатия системы СПИД при входе, установившемся процессе шлифования и выходе ножа из контакта с кругом. Взяв разность отжатий при установившемся процессе и входе (выходе) ножа из контакта с рабочей поверхностью, получим величину погрешности обработки входного и выходного участков ножа.

Отжатия выразим через радиальную составляющую силы резания:  $\Delta = F_{\text{рад}}/C$  (1), где  $C$  — приведенная жесткость системы СПИД, кгс/мм.

Для определения силы резания при установившемся процессе представим шлифовальный круг в виде цилиндрической фрезы с бесконечно большим числом зубьев, образованных зернами, расположенными на элементарных участках шириной  $\Delta x$ . Непрерывное вращательное движение изделия заменим дискретным с периодом следования импульсов  $\Delta t$  и средней скоростью вращения  $v_{\text{изд}}$ .

Пусть за время  $\Delta t$ , когда изделие находится в неподвижном состоянии, каждый из элементарных зубьев переместился на  $\Delta x = v_{\text{кр}} \Delta t$  и снял металл объемом  $\Delta v_i$ . Приведем этот объем к форме параллелепипеда, имеющего основание  $B (v_{\text{кр}} \Delta t)$  и высоту  $h = \Delta v_i / B (v_{\text{кр}} \Delta t)$ , где  $B$  — продольная подача, мм/об. Тогда, исходя из геометрии параллелепипеда, определится площадь сечения среза  $\Delta S_i$  от зерен элементарного зуба фрезы:

$$\Delta S_i = hB = \frac{\Delta v_i}{v_{\text{кр}} \Delta t}. \quad (2)$$

Суммарная площадь сечения среза от всех проработавших за время  $\Delta t$  элементарных зубьев равна

$$S = \sum_{i=1}^{\infty} \Delta S_i = \frac{1}{v_{\text{кр}} \Delta t} \sum_{i=1}^{\infty} \Delta v_i. \quad (3)$$

Суммарный объем снятого металла  $\sum_{i=1}^{\infty} v_i$  выразим известной зависимостью:

$$\sum_{i=1}^{\infty} \Delta v_i = B v_{\text{изд}} \Delta t z = Q \Delta t, \quad (4)$$

где  $z$  — поперечная подача, мм/ход;  $Q$  — производительность, мм<sup>3</sup>/мин.

После подстановки (4) в (3) имеем

$$S = Q/v_{кр}.$$

Таким образом, для нахождения мгновенного суммарного сечения среза  $S$  достаточно знать производительность обработки и скорость круга. Увеличивая  $v_{кр}$ , можно значительно уменьшить нагрузку на режущие зерна, не уменьшая производительности обработки.

Полученная зависимость открывает новые возможности в изучении кинематической нагруженности зерен и работоспособности шлифовального круга.

Получим выражение для тангенциальной составляющей силы резания установившегося процесса обработки:  $F_{устан}^{танг} =$

$$= [\sigma] S = [\sigma] \frac{Q}{v_{кр}} \quad (6), \text{ где } [\sigma] \text{ — условное напряжение резания, кгс/мм}^2.$$

Радиальная составляющая силы резания связана с тангенциальной составляющей коэффициентом шлифования  $k_{ш}$ :

$$F_{уст}^{рад} = k_{ш} [\sigma] \frac{Q}{v_{кр}}. \quad (7)$$

Подставляя (7) в (1), определим величину радиального отжатия круга и изделия при установившемся процессе:

$$\Delta_{уст} = \frac{k_{ш} [\sigma]}{C} \cdot \frac{Q}{v_{кр}}. \quad (8)$$

Величину отжатия в момент входа получим из зависимости (8), принимая вместо  $z$  в формуле производительности значение  $z'$ , которое равно толщине снятого металла при повороте ножа изделия на половину угла контакта круга с ножом изделия, что соответствует совмещению передней плоскости ножа с осевой плоскостью шлифования:

$$\Delta_{вр} = \frac{k_{ш} [\sigma]}{C} \cdot \frac{Bv_{изд, z'}}{v_{кр}}. \quad (9)$$

Для определения  $z'$  воспользуемся понятием и расчетной схемой линии полного съема металла [2], графически приведенной на рис. 1, а. Линия полного съема металла представляет собой последовательную совокупность точек, при достижении которых на элементарных слоях припуска, входящих в рабочую поверхность круга, образуется полный профиль. Так, на элементарных слоях 1, 2, 3, ...,  $p$  профиль образуется в точках 1', 2', 3'...

принадлежащих линии полного съема металла. На элементарных слоях  $(p+1)$ ,  $(p+2)$ , ... полный профиль не успевает образоваться и его окончательное формирование происходит на последующих проходах.

3) Как видно из рис. 1,  $a$ , толщина снятого металла при повороте ножа на полный угол контакта круга с изделием равна величине

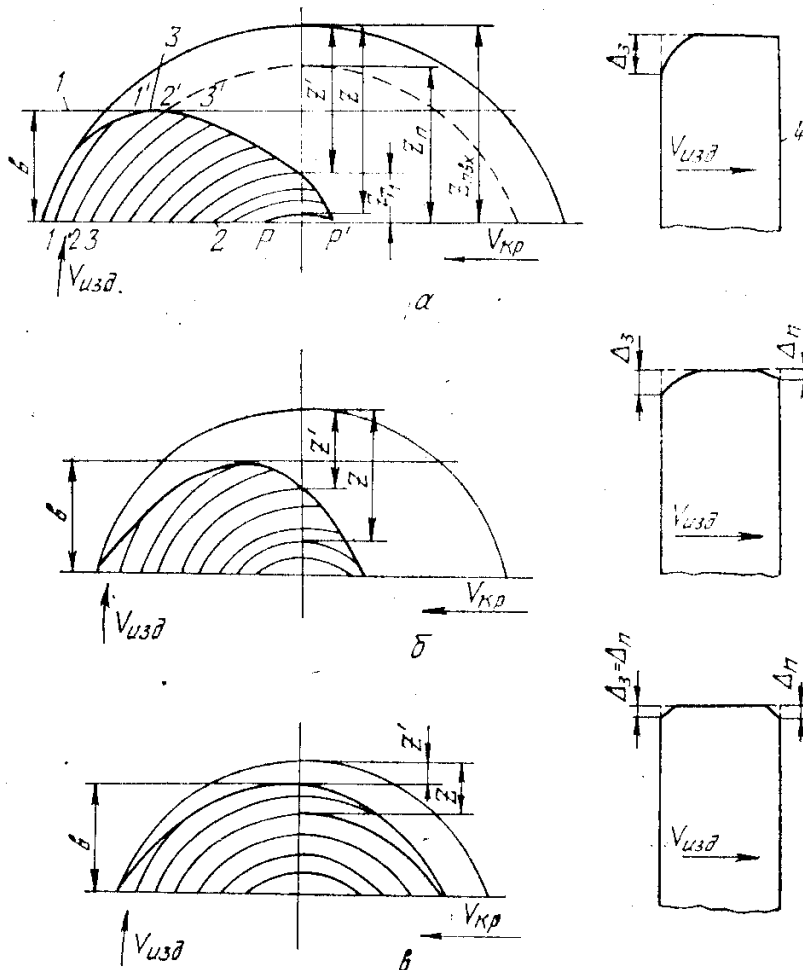


Рис. 1. Изменение линии полного съема металла и формы ножа изделия в зависимости от  $z$  при  $b=10$  мкм;  $a$  —  $z=100$  мкм;  $б$  —  $z=20$  мкм;  $в$  —  $z=4$  мкм; 1 — уровень связки круга; 2 — линия полного съема металла; 3 — уровень максимально выступающих над связкой зерен; 4 — передняя плоскость ножа изделия

поперечной подачи  $z$ , при повороте на половину угла контакта — величине  $z' = z_{пвх} - z_{т1}$ , где  $z_{пвх}$  — координата элементарного слоя припуска, полный профиль у которого образуется в точке его входа в рабочую поверхность круга;  $z_{т1}$  — координата элементарного слоя припуска, полный профиль у которого образуется в точке пересечения его с осевой плоскостью шлифования.

Методика определения  $z_{\text{пвх}}$  и  $z_{\text{т.1}}$  подробно изложена в [2]. Ниже приведены значения  $z_{\text{пвх}}$ ,  $z_{\text{т.1}}$ , полученные из условия образования полного профиля на экстремальном слое (проходящем через точку максимума линии полного съема металла) в момент его достижения уровня связки. Увеличение  $z$  приводит

$z$ мкм	$z_{\text{пвх}}$ мкм	$z_{\text{т.1}}$ мкм	$z'$ мкм	$z'/z$
1	10,5	10	0,5	0,5
4	12,5	10	2,5	0,625
10	17,4	10	7,5	0,75
20	26,03	8,65	16,38	0,82
50	56,26	7,24	49,02	0,98

к уменьшению  $z'$ , т. е. съем металла в этом случае в основном происходит в первой половине угла контакта изделия с кругом.

Взяв разность (8) и (9), получим погрешность обработки переднего участка ножа. Погрешность заднего участка ножа определится величиной отжатия при установившемся процессе,

так как отжатие в момент выхода из контакта равно нулю. С целью выбора наиболее эффективной схемы обработки, обеспечивающей минимальную погрешность формы ножа изделия без снижения предельной кинематической производительности, результаты расчета получены из условия полного использования высоты рельефа круга, т. е.  $H_{\text{max}} = b$ , где  $H_{\text{max}}$  — максимальная глубина внедрения зерен в обрабатываемый металл;  $b$  — высота максимально выступающих над связкой зерен.

При небольших  $z$  (рис. 1) погрешность обработки на переднем и заднем участках ножа почти одинакова. С увеличением  $z$  отклонение от цилиндричности на переднем участке ножа уменьшается, на заднем — увеличивается. Следовательно, применительно к шлифованию осевых многолезвийных инструментов, где требуется высокая точность формы только переднего (режущего) участка ножа, наиболее эффективной схемой обработки является глубинное шлифование, которым можно исключить образование завалов, выполняя шлифование «на режущую кромку».

Возможность выполнения глубинного шлифования обусловлена величиной припуска. При съеме малых припусков, когда глубинное шлифование невозможно, повышение точности формы может быть достигнуто уменьшением  $v_{\text{изд}}$ . Как следует из рис. 2, понижение скорости изделия приводит к снижению погрешности формы на заднем и переднем участках ножа, что связано с уменьшением  $H_{\text{max}}$  и отжатий системы СПИД. Однако

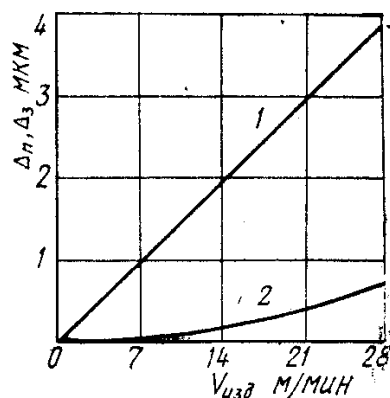


Рис. 2. Зависимость погрешности обработки  $\Delta_p$ ,  $\Delta_z$  на переднем (2) и заднем (1) участках ножа от скорости изделия. Исходные данные:  $v_{\text{кр}} = 30$  м/с;  $z = 20$  мкм;  $\sigma = 500$  кгс/мм<sup>2</sup>;  $k_{\text{ш}} = 5$ ;  $c = 4000$  кгс/мм<sup>2</sup>;  $B = 20$  мм

Уменьшение  $v_{изд}$  исходя из (4), связано со снижением производительности.

Таким образом, при съеме больших припусков точность формы переднего участка ножа повышается с одновременным ростом производительности, а при съеме малых припусков повышение точности формы требует снижения производительности процесса. Учитывая улучшение шероховатости обработанной поверхности при глубинном шлифовании [2], целесообразно съем припуска производить за один проход без выхаживания.

Изложенная методика расчета точности формы при круглом шлифовании изделий с прерывистыми поверхностями позволяет проектировать процесс финишной обработки многолезвийных инструментов с учетом основных технико-технологических показателей. Располагая исходными данными о точности формы, шероховатости режущей части многолезвийных инструментов и величине припуска, можно оптимизировать цикл съема припуска, характеристики кругов и параметры режима шлифования, которые обеспечивают максимальную производительность процесса.

**Список литературы:** 1. Раб А. Ф., Новиков Ф. В. Оптимизация круглого продольного шлифования по кинематической производительности. — Резание и инструмент, 1981, вып. 26, с. 162—166. 2. Раб А. Ф., Новиков Ф. В., Формообразование поверхности при круглом продольном шлифовании. — Исследование в области инструментального производства и обработки металлов резанием, 1981, вып. 25, с. 25—30.

*Поступила в редколлегию 01.10.80.*