

$$r_{i,i+k} = \frac{\frac{1}{n} \sum \delta_i \delta_{i+k} - \bar{\delta}_i \bar{\delta}_{i+k}}{s_{\delta_i} s_{\delta_{i+k}}},$$

где  $n$  - число сопоставляемых пар приращений износа;  $\delta_i$  -  $i$ -ое приращение износа данного резца;  $\delta_{i+k}$  - приращение износа спустя  $k\tau$  минут после  $\delta_i$ ;  $\bar{\delta}_i$ ,  $\bar{\delta}_{i+k}$  - средние значения  $\delta_i$  и  $\delta_{i+k}$ ;  $s_{\delta_i}$ ,  $s_{\delta_{i+k}}$  - оценки средних квадратических отклонений  $\delta_i$  и  $\delta_{i+k}$ .

Типичная нормированная корреляционная функция  $\rho(\theta)$  (рис. 4) позволяет сделать вывод, что корреляция между приращениями износа не имеет места для разделяющих их интервалов длительностью 3 мин. Это свидетельствует о независимости приращений износа при  $t \geq 3$  мин.

#### Л и т е р а т у р а

1. Герцбах И.Б., Кордонский Х.Б. Модели отказов. - М., 1966.

УДК 621.911:621.919

Н.Д.Добровольский, инженер (ММИ)

#### ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ПРИ РОТАЦИОННОМ ПРОТЯГИВАНИИ СО СВОБОДНЫМ ВЫХОДОМ СТРУЖКИ

При ротационной обработке плоских поверхностей протягиванием (строганием) предпочтительны генераторная (рис. 1) и профильная (рис. 2) схемы резания припуска.

Генераторная схема обычно применяется при обработке самовращающимися круглыми протяжками плоскостей с небольшими припусками и ограниченной ширины. Рост производительности обработки в данном случае достигается за счет повышенных подач путем увеличения угла наклона режущих кромок  $\epsilon$  относительно направления главного движения резания. При этом лезвия режущей части могут быть выполнены кольцевыми или винтовыми.

В первом варианте достигается более высокая плавность в работе и повышение производительности процесса резания за счет оснащения режущих частей твердым сплавом, во втором - осуществляется кинематическое дробление стружки.

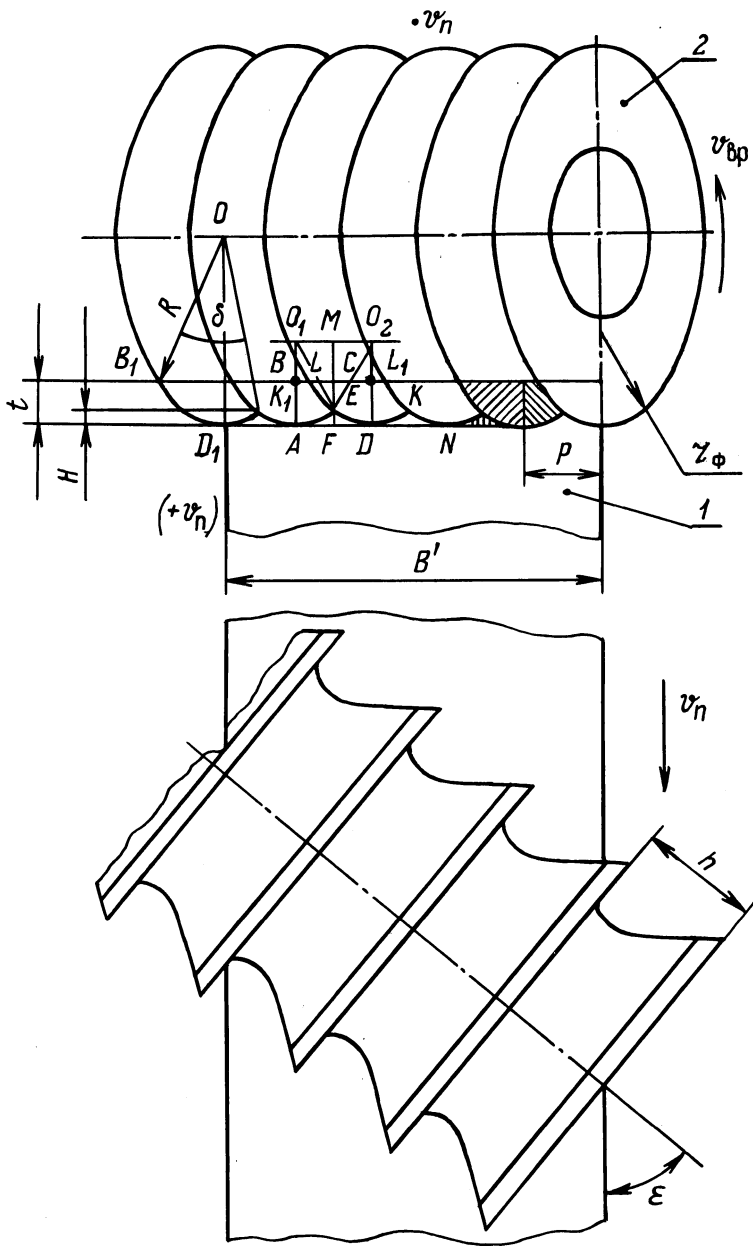


Рис. 1. Ротационное протягивание по генераторной схеме резания со свободным выходом стружки.

На рис. 1 показана обработка плоскости детали 1 шириной  $B'$  многолезвийной режущей частью 2 при поступательном главном движении резания  $V_{\Pi}$  и вращении режущих кромок  $V_{\text{вр}}$  вокруг оси, расположенной под углом  $\epsilon$ . При снятии припуска  $t$  площадь номинального сечения (составные части на рис. 1 условно заштрихованы в разные стороны) слоя, срезаемого одним лезвием, равно

$$F_{\text{н}} = AD \cdot AB = P \cdot t = n \cdot \sin \epsilon t, \quad (1)$$

где  $P$  – проекция величины шага зубьев на ширину плоскости.

Площадь остаточных гребешков

$$F_{\text{о}} = h \cdot \sin \epsilon \cdot r_{\phi} - \frac{h \cdot \sin \epsilon}{2} \sqrt{r_{\phi}^2 - \frac{h^2 \cdot \sin^2 \epsilon}{4}} - r_{\phi}^2 \cdot \arcsin \frac{h \cdot \sin \epsilon}{2r_{\phi}}, \quad (2)$$

где

$$r_{\phi} = R \cdot \cos^2 \epsilon \quad [1] - \quad (3)$$

радиус кривизны лезвия в зоне резания.

Действительное сечение стружки

$$F_{\text{д}} = t \cdot h \cdot \sin \epsilon - r_{\phi} \cdot h \cdot \sin \epsilon + \frac{h \cdot \sin \epsilon}{2} \sqrt{r_{\phi}^2 - \frac{h^2 \cdot \sin^2 \epsilon}{4}} + r_{\phi}^2 \cdot \arcsin \frac{h \cdot \sin \epsilon}{2r_{\phi}} = t \cdot h \cdot \sin \epsilon - R \cdot \cos^2 \epsilon \cdot h \cdot \sin \epsilon + \frac{h \cdot \sin \epsilon}{2} \sqrt{R^2 \cos^4 \epsilon - \frac{h^2 \sin^2 \epsilon}{4}} + R^2 \cdot \cos^4 \epsilon \times x \arcsin \frac{h \cdot \sin \epsilon}{2R \cdot \cos^2 \epsilon}. \quad (4)$$

Высота остаточных гребешков

$$H = \frac{h^2 \cdot \sin^2 \epsilon}{8r_{\phi}} = \frac{h^2 \cdot \sin^2 \epsilon}{8 \cdot R \cdot \cos^2 \epsilon} = \frac{h^2 \cdot \text{tg}^2 \epsilon}{8R}. \quad (5)$$

Угол контакта режущих лезвий с обрабатываемым материалом

$$\delta = \arccos\left(1 - \frac{t}{R}\right) + \arccos\left(1 - \frac{H}{R}\right). \quad (6)$$

Тогда длина активной режущей кромки

$$l_{\text{а}} = \frac{\pi \cdot R}{180} \left( \arccos\left(1 - \frac{t}{R}\right) + \arccos\left(1 - \frac{H}{R}\right) \right) =$$

$$= 0,01745R \left( \arccos \left( 1 - \frac{t}{R} \right) + \arccos \left( 1 - \frac{h^2 \operatorname{tg}^2 \epsilon}{8R^2} \right) \right), \quad (7)$$

Суммарная длина активных режущих кромок

$$\Sigma l_a = \frac{B'}{h \cdot \sin \epsilon} \cdot 0,01745 \cdot R \left( \arccos \left( 1 - \frac{t}{R} \right) + \arccos \left( 1 - \frac{h^2 \cdot \operatorname{tg}^2 \epsilon}{8R^2} \right) \right), \quad (8)$$

Суммарная площадь срезаемого слоя

$$\Sigma F_d = B' \cdot \left( t - R \cdot \cos^2 \epsilon + \frac{1}{2} \sqrt{R^2 \cdot \cos^2 \epsilon - \frac{h^2 \cdot \sin^2 \epsilon}{4}} + \frac{R^2 \cdot \cos^4 \epsilon}{h \cdot \sin \epsilon} \arcsin \frac{h \cdot \sin \epsilon}{2R \cdot \cos^2 \epsilon} \right), \quad (9)$$

Рациональной областью применения профильной схемы является протягивание (строгание) с повышенными припусками и разделением их по глубине. Величина подачи на лезвие  $s_z$  определяется как полуразность диаметров у обычных протяжек.

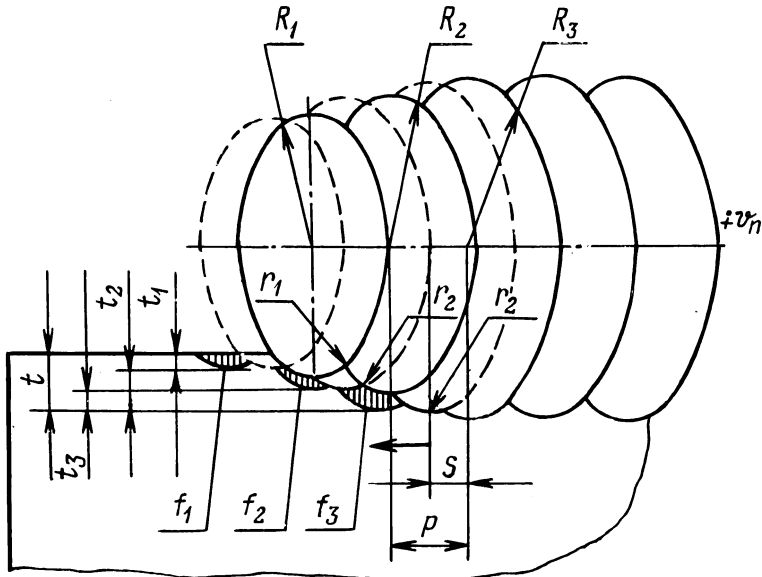


Рис. 2. Ротационное строгание – протягивание по профильной схеме резания со свободным выходом стружки.

При наличии калибрующих зубьев подача  $s_z$  может быть увеличена пропорционально их количеству.

Из рис. 2 и с учетом вышеприведенных формул (2) и (3) площадь действительного сечения среза любым режущим лезвием

$$\begin{aligned}
 F_{\text{д}}^{\Pi} = & t_{\text{н}} \cdot s + sR_{\Pi-1} \cdot \cos^2 \epsilon - \frac{s}{2} \sqrt{R_{\Pi-1}^2 \cdot \cos^4 \epsilon - \frac{s^2}{4}} - \\
 & - R_{\Pi-1}^2 \cdot \cos^4 \epsilon \arcsin \frac{s}{2R_{\Pi-1} \cdot \cos^2 \epsilon} - sR_{\Pi} \cdot \cos^2 \epsilon + \\
 & + \frac{s}{2} \sqrt{R_{\Pi}^2 \cdot \cos^4 \epsilon - \frac{s^2}{4}} + R_{\Pi}^2 \cdot \cos^4 \epsilon \times \\
 & \times \arcsin \frac{s}{2R_{\Pi} \cdot \cos^2 \epsilon}. \quad (10)
 \end{aligned}$$

Суммарная площадь срезаемого слоя

$$\begin{aligned}
 \Sigma F_{\text{д}} = & F_1 + F_2 + \dots + F_{\Pi} = s(t_1 + t_2 + \dots + t_{\Pi}) - \\
 & - sR_{\Pi} \cos^2 \epsilon + \frac{s}{2} \sqrt{R_{\Pi}^2 \cdot \cos^4 \epsilon - \frac{s^2}{4}} - R_{\Pi}^2 \cdot \cos^4 \epsilon \times \\
 & \times \arcsin \frac{s}{2R_{\Pi} \cdot \cos^2 \epsilon} = s \cdot t - sR_{\Pi} \cdot \cos^2 \epsilon + \\
 & + \frac{s}{2} \sqrt{R_{\Pi}^2 \cdot \cos^2 \epsilon - \frac{s^2}{4}} - R_{\Pi}^2 \cdot \cos^4 \epsilon \times \\
 & \times \arcsin \frac{s}{2R_{\Pi} \cdot \cos^2 \epsilon}. \quad (11)
 \end{aligned}$$

Длина активной режущей кромки  $n$ -го лезвия

$$\begin{aligned}
 l_a = & 0,01745 \cdot R_{\Pi} \left( \arccos \left( 1 - \frac{t_{\Pi}}{R_{\Pi}} \right) + \arccos \left( 1 - \right. \right. \\
 & \left. \left. - \frac{h^2 \cdot \sin^2 \epsilon}{8R_{\Pi}^2 \cdot \cos^4 \epsilon} \right) \right). \quad (12)
 \end{aligned}$$

Суммарная длина режущих кромок

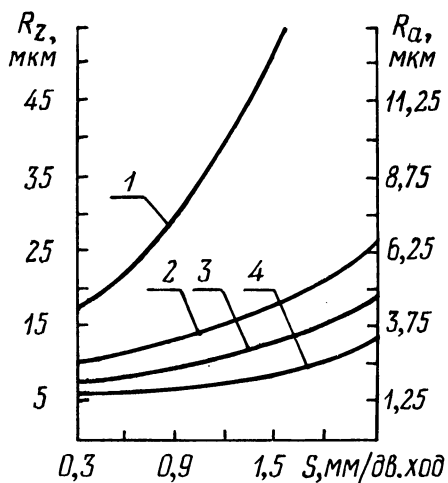
$$\Sigma l_a = 0,01745 \sum_1^n R_{\Pi} \left( \arccos \left( 1 - \frac{t_{\Pi}}{R_{\Pi}} \right) + \arccos \left( 1 - \right. \right.$$

$$- \frac{h^2 \cdot \sin^2 \epsilon}{8 R_{\Pi}^2 \cdot \cos^4 \epsilon})). \quad (13)$$

С целью проверки полученных аналитических зависимостей были проведены экспериментальные исследования зависимости шероховатости обработанной поверхности протягиванием — строганием от величины подачи, шага режущих лезвий, числа заходов витков и угла поворота оси режущей части инструмента относительно направления главного движения резания. Результаты исследований показывают, что зависимости  $R_z = f(\epsilon, i, h, s)$  имеют степенной характер.

В наибольшей степени на увеличение шероховатости влияют увеличение угла наклона  $\epsilon$  и шага режущих лезвий  $h$  при обработке стали винтовыми режущими кромками. Несколько монотоннее возрастает шероховатость с увеличением количества заходов винтовых лезвий при обработке чугуна и применении кольцевых лезвий на режущих частях инструмента.

Рис. 3. Влияние величины подачи на шероховатость обработанной поверхности ( $R_{\Pi} = 60$  мкм);  $i = 1$ ;  $h = 8$  мм;  $z = 3$ ;  $V = 21,1$  м/мин;  $\gamma = 6^\circ$ ;  $\alpha_3 = 10^\circ$ ;  $\epsilon = 25^\circ$ ; сталь 40X): 1 — призматический резец ( $\varphi = 30^\circ$ ;  $\varphi_1 = 10^\circ$ ;  $\gamma_3 = 8^\circ$ ;  $\alpha_3 = 12^\circ$ ;  $\lambda = 0$ ;  $r = 2$  мм;  $t = 3$  мм); 2, 3, 4 — строгание-протягивание по профильной схеме ( $t = 6$  мм; с режущими частями соответственно: винтовая, кольцевая, кольцевая заторможенная).



На рис. 3 показано, что шероховатость также возрастает при строгании — протягивании плоских поверхностей с увеличением подачи  $s$ . При этом высота микронеровностей значительно ниже, чем при строгании плоскости призматическим резцом (кривая 1). Еще более снижается шероховатость при обработке плоскости заторможенной многолезвийной режущей частью, но в данном случае резко падает стойкость инструмента.

Исследованиями установлено, что реальная шероховатость на 1–2 класса ниже теоретической за счет нежесткости подшипниковых узлов вращающихся режущих элементов и наличия вибраций в системе СПИД.

Выводы. 1. Обе представленные схемы могут иметь рациональную область применения в серийном и массовом производстве.

2. При значительном повышении производительности обработки (за счет увеличения подачи) шероховатость находится в пределах 5–7 класса.

3. Самовращение лезвий в направлении схода стружки уменьшает трение на контактных поверхностях инструмента, повышает интенсивность их охлаждения и соответственно увеличивает стойкость инструмента.

4. При скорости резания до 30...35 м/мин (0,5...0,6 м/с) обеспечивается свободный выход стружки из зоны резания.