

### 2.3.2.

## РАСЧЕТ ВЫСОТЫ НЕРОВНОСТЕЙ ПРОФИЛЯ ПРИ ТОЧЕНИИ

Средняя высота неровностей профиля шероховатости в общем случае при всех методах механической обработки определяется выражением [10]:

$$R_z = h_1 + h_2 + h_3 + h_4, \quad (0.1)$$

где составляющие неровностей профиля шероховатости обусловлены  $h_1$  – геометрией и кинематикой перемещения рабочей части инструмента (кинематическая составляющая);  $h_2$  – колебаниями инструмента в радиальном направлении относительно обрабатываемой поверхности;  $h_3$  – пластическими деформациями в зоне контакта инструмента и заготовки;  $h_4$  – шероховатостью режущей кромки инструмента.

Кинематическая составляющая неровностей профиля шероховатости зависит от подачи, радиуса закругления вершины лезвия и углов в плане инструмента. Условия сочетания этих параметров можно представить несколькими схемами, приведенными на рисунке 2.14.

*Схема 1* справедлива при соотношении  $0 \leq r < s/2$ . По этой схеме значение подачи равно  $s = r \sin \varphi + r \sin \varphi_1 + A + B$ . Кинематическая составляющая выражается через отрезок  $A$  или  $B$ :

$$h_1 = r(1 - \cos \varphi) + A \operatorname{tg} \varphi_1 = r(1 - \cos \varphi) + B \operatorname{tg} \varphi.$$

Из этого равенства выражаем  $A$  через  $B$  и подставляем в выражение для подачи, затем решаем уравнение относительно параметра  $B$ :

$$B = \left[ s - r(\sin \varphi + \sin \varphi_1) - \frac{r(\cos \varphi_1 - \cos \varphi)}{\operatorname{tg} \varphi_1} \right] \frac{\operatorname{tg} \varphi_1}{\operatorname{tg} \varphi + \operatorname{tg} \varphi_1}.$$

В конечном виде кинематическая составляющая определяется через расчетное значение параметра  $B$ :

$$h_1 = r(1 - \cos \varphi) + B \operatorname{tg} \varphi. \quad (0.2)$$

Эта схема справедлива и для резца с острой вершиной, для которой принимаем значение радиуса  $r = 0$ . В этом случае выражение для параметра  $B$  упрощается:  $B = \frac{s \cdot \operatorname{tg} \varphi_1}{\operatorname{tg} \varphi + \operatorname{tg} \varphi_1}$ . Тогда кинематическая составляющая равна:

$$h_1 = s \frac{\operatorname{tg} \varphi \cdot \operatorname{tg} \varphi_1}{\operatorname{tg} \varphi + \operatorname{tg} \varphi_1} = s \frac{\sin \varphi \cdot \sin \varphi_1}{\sin \varphi + \sin \varphi_1}. \quad (0.3)$$

По *схеме 2* в формировании остаточного сечения срезаемого слоя участвует только дуга закругления вершины. Этому соответствует условие:  $\varphi \geq \arcsin(s/2/r)$ ;  $\varphi_1 \geq \arcsin(s/2/r)$ . В этом случае кинематическая составляющая равна:

$$h_1 = r - \sqrt{r^2 - (s/2)^2} \approx s^2 / (8r). \quad (0.4)$$

*Схема 3* имеет место, когда остаточное сечение формирует дуга окружности на главной кромке, и дуга окружности и прямолинейная часть вспомогательной кромки, то есть выполняется условие:  $\varphi > \arcsin(s/2/r)$ ;  $\varphi_1 \leq \arcsin(s/2/r)$ . По этой схеме значение подачи составляет:  $s = r \sin \varphi_1 + A + r \sin \varphi_0$ ;  $\varphi_0 = \arccos\left(\frac{r \cos \varphi_1 - A \operatorname{tg} \varphi_1}{r}\right)$ . Отсюда

параметр  $A$  равен:  $A = \frac{r(\cos \varphi_1 - \cos \varphi_0)}{\operatorname{tg} \varphi_1}$ . Подставляя последнее выражение в

уравнение для подачи, решаем это уравнение относительно вспомогательного параметра  $\varphi_0$ :  $\varphi_0 = \arccos\left(\frac{r - s \cdot \sin \varphi_1}{r}\right) - \varphi_1$ . Определив

параметр  $\varphi_0$ , тем самым определяем параметр  $A$ . Тогда кинематическая составляющая неровностей профиля будет равна:

$$h_1 = r(1 - \cos \varphi_1) + A \operatorname{tg} \varphi_1 = r(1 - \cos \varphi_0). \quad (0.5)$$

*Схема 4* является «зеркальной» по отношению к *схеме 3*, то есть остаточное сечение формирует дуга окружности и прямолинейная часть главной кромки, и дуга окружности на вспомогательной кромке при выполнении условия:  $\varphi \leq \arcsin(s/2/r)$ ;  $\varphi_1 > \arcsin(s/2/r)$ . Тогда повторяем последовательность выражений по *схеме 3* с соответствующими

заменами переменных:  $s = r \sin \varphi + A + r \sin \varphi_0$ ;  $\varphi_0 = \arccos \left( \frac{r \cos \varphi - A \operatorname{tg} \varphi}{r} \right)$

. Параметр  $A$  будет равен:  $A = \frac{r(\cos \varphi - \cos \varphi_0)}{\operatorname{tg} \varphi}$ . После подстановки в

уравнение подачи и преобразований получим:  $\varphi_0 = \arccos \left( \frac{r - s \cdot \sin \varphi}{r} \right) - \varphi$ ,

определим параметр  $A$ , затем искомую кинематическую составляющую

$$h_1 = r(1 - \cos \varphi) + A \operatorname{tg} \varphi = r(1 - \cos \varphi_0). \quad (0.6)$$

*Схема 5* представляет самый общий вариант, когда остаточное сечение срезаемого слоя формируют и дуги окружности закругления вершины, и прямолинейные части главной и вспомогательной режущих кромок при выполнении условия:  $\varphi < \arcsin(s/2/r)$ ;  $\varphi_1 < \arcsin(s/2/r)$ .

В соответствии со схемой выражение для подачи равно:  $s = A + B + r(\sin \varphi + \sin \varphi_1)$ , из которого определяется отрезок  $A$ .

С другой стороны, отрезок  $C$  определяет равенства:  $C = B \operatorname{tg} \varphi - A \operatorname{tg} \varphi_1 = r(\cos \varphi - \cos \varphi_1)$ . Подставляя в это выражение значение  $A$ , решаем его относительно  $B$ :

$$B = \frac{[s - r(\sin \varphi + \sin \varphi_1)] \operatorname{tg} \varphi_1 - r(\cos \varphi - \cos \varphi_1)}{\operatorname{tg} \varphi + \operatorname{tg} \varphi_1}.$$

Тогда в соответствии со схемой искомая кинематическая составляющая будет равна:

$$\begin{aligned} h_1 &= r(1 - \cos \varphi) + B \operatorname{tg} \varphi = \\ &= r(1 - \cos \varphi) + \frac{\operatorname{tg} \varphi \operatorname{tg} \varphi_1 [s - r(\sin \varphi + \sin \varphi_1)] - r \operatorname{tg} \varphi (\cos \varphi - \cos \varphi_1)}{\operatorname{tg} \varphi + \operatorname{tg} \varphi_1}. \end{aligned} \quad (0.7)$$

Составляющая неровностей профиля шероховатости  $h_2$ , вызвана колебаниями инструмента в радиальном направлении из-за наличия исходной шероховатости поверхности до обработки  $R_{zi}$ , мкм. В общем виде эта составляющая запишется как:

$$h_2 = [P_y(t) - P_y(t - R_{zi}/1000)] / j \quad (0.8)$$

Здесь  $P_y(t)$  – радиальная составляющая силы как функция глубины резания,  $j$  – жесткость в радиальном направлении, Н/мкм. Если аппроксимировать радиальную составляющую силы резания от глубины, подачи, скорости, износа степенным уравнением, составляющая неровностей профиля запишется как:

$$h_2 = \frac{C_p s^{y_p} (1 + h_z)^{z_p} \left[ t^{x_p} - (t - R_{zi} / 1000)^{x_p} \right]}{v^{n_p} j}, \quad (0.9)$$

где параметры  $C_p, x_p, y_p, z_p, n_p$  могут быть определены либо по результатам экспериментов, либо математической обработкой расчетных значений силы.

Пластическое оттеснение обрабатываемого металла в зоне резания приводит к увеличению высоты неровностей профиля на величину  $h_3$  [10]. С привязкой к схемам рисунка 2.14 эту составляющую можно рассчитать по выражениям:

- схема 2

$$h_3 = \frac{b_s (2s + b_s)}{32r}; \quad (0.10)$$

- схема 3

$$h_3 = \frac{b_s}{1 / \operatorname{tg} \varphi_1 + 2r / s}; \quad (0.11)$$

- схема 4

$$h_3 = \frac{b_s}{1 / \operatorname{tg} \varphi + 2r / s}; \quad (0.12)$$

- схема 1 и 5

$$h_3 = \frac{b_s}{1 / \operatorname{tg} \varphi + 1 / \operatorname{tg} \varphi_1}. \quad (0.13)$$

Величина пластического оттеснения металла при пластической обработке определяется по формуле [10]:

$$b_s = 0,5\rho \left( 1 - \frac{\tau_s}{\sqrt{\tau_s^2 + \sigma_t^2}} \right), \quad (0.14)$$

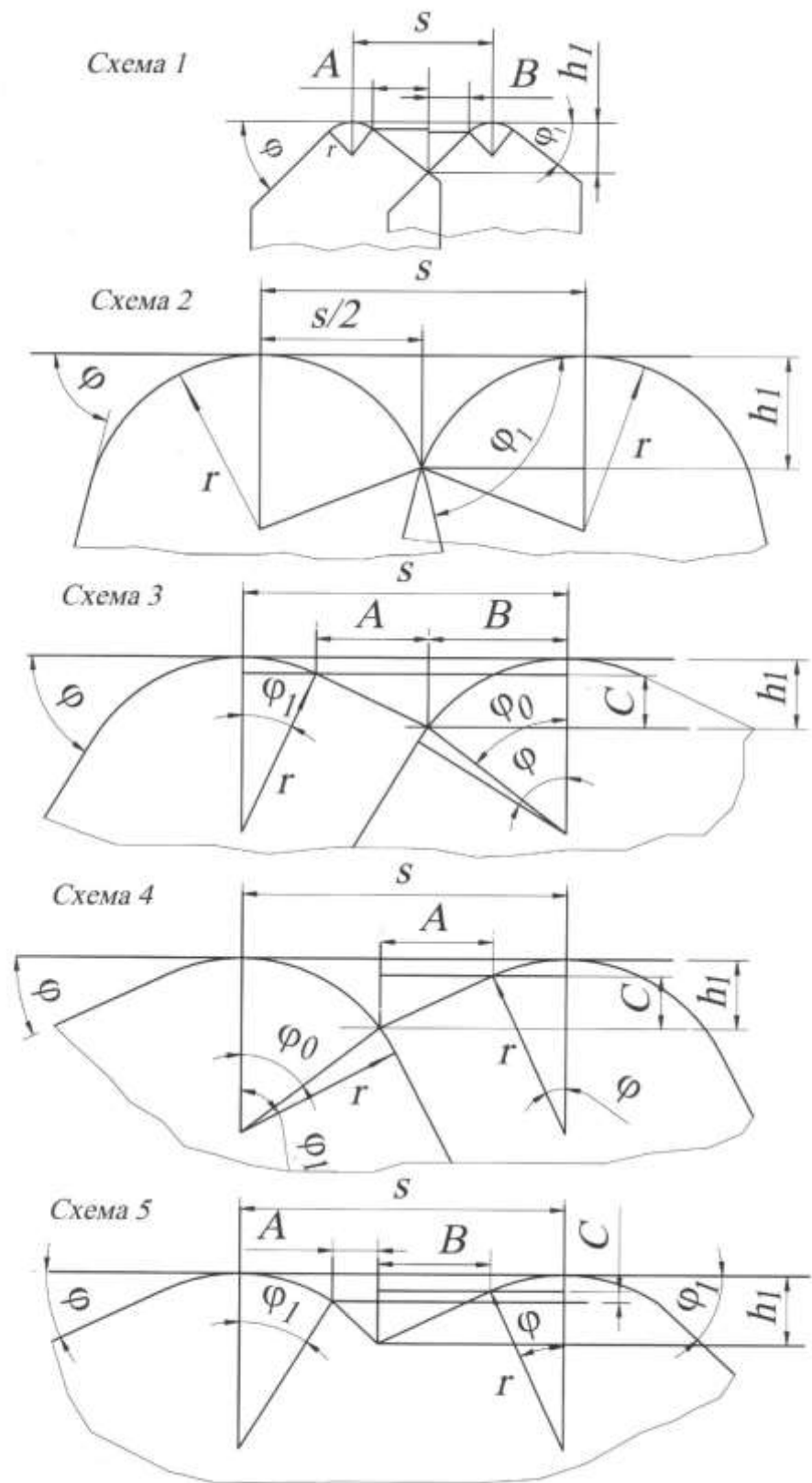
где  $\rho$  – радиус округления вспомогательной кромки, мкм;  $\tau_s$  – прочность материала на сдвиг;  $\sigma_t$  – предел текучести. Прочность материала на сдвиг для сталей можно принять по соотношению:  $\tau_s = 0,75\sigma_b$ , где  $\sigma_b$  – условный предел прочности при растяжении.

Составляющая неровностей профиля  $h_4$  принята равной параметру шероховатости режущей кромки и зависит от технологии заточки, то есть  $h_4 = R_{zb}$ .

Суммарная шероховатость обработанной поверхности в соответствии с выражением **Ошибка! Источник ссылки не найден.**, а также с учетом влияния скорости резания и износа принимает вид:

$$R_z = (h_1 + h_2 + h_3 + h_4) K_v (1 + K_h h_z), \quad (0.15)$$

где коэффициент  $K_v = 3,5v^{-0,25}$  учитывает влияние скорости;  $K_h = 0,96$ .



**Рис. 2.14**

Схемы для расчета кинематической составляющей профиля шероховатости