

УДК 621.9.025.12

Н. П. Малевский, Б. Д. Даниленко

## ПРОФИЛИРОВАНИЕ СТРУЖЕЧНЫХ КАНАВОК СПИРАЛЬНЫХ СВЕРЛ

*Рассмотрены вопросы конструирования инструмента второго порядка для образования винтовых стружечных канавок на спиральных сверлах. Профилирование стружечных канавок выполняется на основе метода задания профиля канавки двумя образующими прямыми. Приведены аналитическое и графическое описания профиля канавки и профиля зуба дисковой фасонной фрезы. Даны зависимости для расчета исходных параметров графического построения профиля канавки. Предложен способ оптимизации параметров профиля зуба фрезы.*

**Способы обработки стружечных канавок.** Стружечные канавки на спиральных сверлах изготавливаются следующими способами:

1. Фрезерование на специальном или универсальном фрезерном станке дисковой фасонной затылованной фрезой или острозаточенной фрезой;
2. Вышлифовывание профиля стружечной канавки профилированным абразивным кругом (применяется для сверл малых диаметров);
3. Пластическое деформирование (завивка, продольный или поперечный винтовой прокат);
4. Фрезерование специальной червячной фрезой методом огибания (обкатки);
5. Фрезерование на пятикоординатном фрезерном станке фасонными дисковыми и концевыми фрезами;
6. Вышлифование стружечных канавок на шлифовочно-заточных станках (до пяти управляемых координат) методом последовательных проходов кругами простых форм на цельных стальных, а также твердосплавных заготовках.

В промышленности широкое применение нашел первый способ изготовления стружечных канавок. Пятый способ позволяет резко сократить число типоразмеров формообразующих фрез. Применение шестого способа сдерживается отсутствием в инструментальном производстве достаточного числа станков и их высокой стоимостью.

При профилировании инструмента для получения винтовых канавок необходимо знать параметры торцевого и нормального сечений канавки. Далее приведено описание разработанного в МГТУ им. Н.Э. Баумана метода определения этих сечений.

**Конструктивные элементы сверла, определяющие профиль стружечных канавок.** При профилировании стружечных канавок спиральных сверл используются следующие конструктивные параметры сверла, приведенные в ГОСТ 4010–77: диаметр сверла  $d$ , диаметр сердцевин  $d_c$ , угол наклона винтовой линии  $\omega$ , угол при вершине  $2\phi$ , ширина зуба  $B$  и диаметр по спинкам зубьев  $q$ . Кроме того, для расчетов используются рассчитываемые параметры: шаг винтовой линии  $H = \frac{\pi d}{\operatorname{tg} \omega}$  и винтовой параметр  $p = \frac{H}{2\pi} = \frac{d}{2 \operatorname{tg} \omega}$ .

### **Способы задания винтовой поверхности стружечной канавки.**

*Винтовая поверхность стружечной канавки задана профилем канавочной фрезы* – этот способ профилирования стружечных канавок применяется в инструментальной промышленности. Размеры профиля приведены в нормалах машиностроения.

Особенности способа: параметры канавки не зависят от условий сверления (материала заготовки, вида и размера сверла, точности отверстия и др.); оптимальная (без подреза профиля канавки) установка канавочной фрезы относительно заготовки определяется опытным путем; профиль нормального сечения стружечной канавки приближенно совпадает с профилем канавочной фрезы.

*Винтовая поверхность стружечной канавки задана двумя образующими прямыми.* В предлагаемом, новом способе канавка представлена линейчатой винтовой поверхностью, имеющей простое графическое изображение и точное математическое описание [1, 2].

Метод позволяет: определять размеры канавки в торцевом сечении, когда секущая плоскость перпендикулярна оси сверла; оптимизировать размеры и угловые параметры канавки для конкретных условий сверления; определять профиль канавки в сечении, нормальном направлению винтовой линии на наружном цилиндре сверла; определять профиль канавочной фрезы для фрезерования канавки.

Предлагаемый способ позволяет применять вычислительную технику в режиме САПР. Математическая модель винтовой поверхности стружечной канавки позволяет аналитически определять профили инструментов для других способов получения канавок.

Схема задания линейчатой винтовой поверхности приведена на рис. 1. Плоскость  $M$  касается цилиндра сердцевин  $d_c$  по прямой  $KK$ . В плоскости  $M$  под углами  $\varphi_a$  и  $\varphi_b$  заданы главная ( $F_a$ ) и вспомогательная ( $F_b$ ) образующие винтовой поверхности. При вращении плоскости  $M$  вокруг вертикальной оси  $Z$  с равномерной скоростью и одновременным перемещением образующих поступательно в плоскости  $M$  с постоянным винтовым параметром  $p$  образуется винтовая стружечная канавка. При сложении двух указанных движений любая точка образующих описывает винтовую линию с постоянным

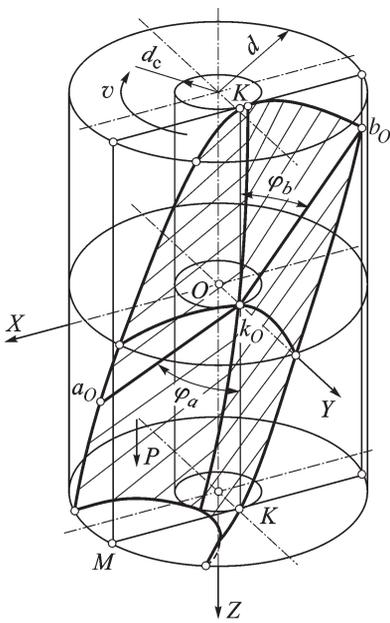


Рис. 1. Схема задания линейчатой винтовой поверхности

шагом  $H$ . Так, точки  $a_O$  и  $b_O$  опишут винтовые линии, расположенные на наружном цилиндре сверла, а точка  $k_O$  — винтовую линию на цилиндре сердцевины (см. рис. 1). Описанным способом можно получить как правую, так и левую винтовые поверхности, для этого необходимо изменить направление вращения плоскости  $M$ . Способ является универсальным и может быть использован для профилирования стружечных канавок других режущих инструментов (зенкеров, концевых и цилиндрических фрез, зенковок и т.д.).

Линейчатая винтовая поверхность и положения образующих в ортогональной системе координат (рис. 2, а). В плоскости  $XY$  (правая проекция) параллельно оси  $X$  приведено исходное положение образующих  $a_O-k_O-b_O$ . В плоскости  $XZ$  (левая проекция) че-

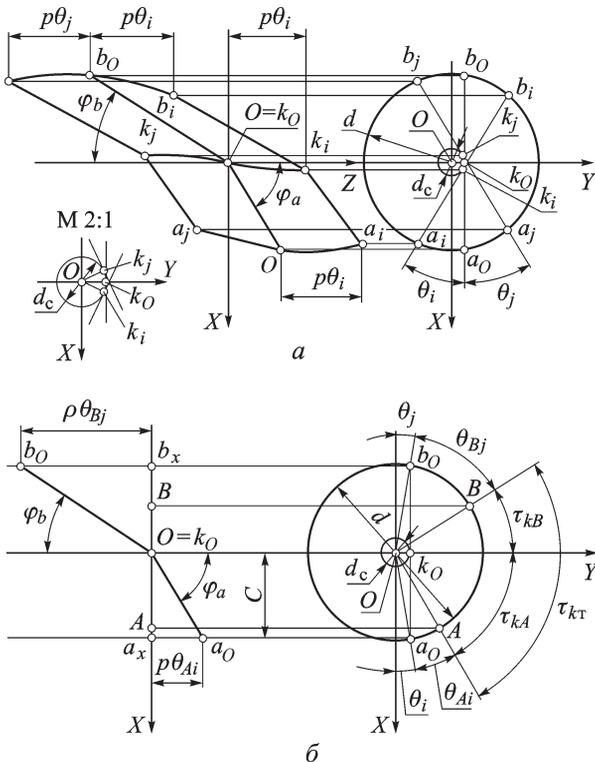


Рис. 2. Линейчатая винтовая поверхность (а) и положения образующих (б)

рез начало координат  $O$  под углами  $\varphi_a$  и  $\varphi_b$  проведены главная  $O-a_0$  и вспомогательная  $O-b_0$  образующие винтовой поверхности.

Правило знаков для угла  $\theta$  поворота образующих принимается следующим: при повороте плоскости  $M$  вокруг оси  $Z$  по часовой стрелке угол  $\theta > 0$ , т.е. имеет положительный знак ( $+\theta_i$ ), и параметры схемы имеют индекс  $i$ ; при повороте плоскости  $M$  вокруг оси  $Z$  против часовой стрелки  $\theta < 0$ , т.е. имеет отрицательный знак ( $-\theta_j$ ), а параметры схемы имеют индекс  $j$ .

При повороте вокруг оси  $Z$  по часовой стрелке на угол  $\theta_i$  образующие займут положение  $a_{i1}k_{i1}b_{i1}$  на правой проекции, а на левой проекции переместятся в положительном направлении на расстояние  $r\theta_i$ . При повороте против часовой стрелки на угол  $\theta_j$  аналогично определяется положение образующих  $a_{j1}k_{j1}b_{j1}$ . Кривые  $a_i a_0 a_j$ ,  $k_i k_0 k_j$  — проекции винтовых линий, расположенные соответственно на цилиндрах диаметром  $d$  и  $d_c$ . Аналитически эти линии являются синусоидами.

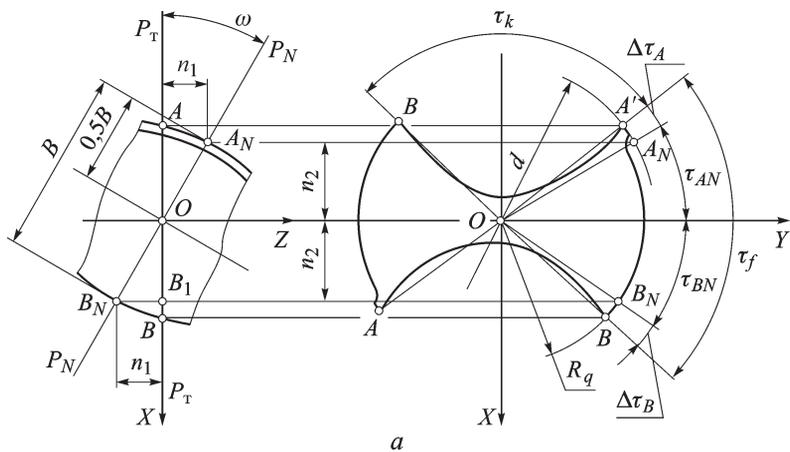
**Расчет центральных углов зуба и стружечной канавки.** Центральные углы  $\tau_i$  и  $\tau_k$  определяются в торцевой плоскости  $P_T$ , перпендикулярной оси сверла (рис. 3, а). Плоскость  $P_T$  обеспечивает строгую определенность решения задачи профилирования: при переносе ее вдоль оси сверла сохраняются постоянными размеры и углы  $\tau_f$  и  $\tau_k$  профиля стружечной канавки. Ширина зуба  $B$  измеряется в плоскости  $P_N$ , т.е. в положении, когда точки  $A_N$  и  $B_N$  расположены симметрично относительно оси сверла — точки  $O$ . Параметры расчета приведены на рис. 3, а, а последовательность расчета — в табл. 1.

Технологические угловые параметры  $\tau_{fT}$  и  $\tau_{kT}$  определяются в плоскости  $P_T$  до выполнения операции обработки спинки сверла (рис. 3, б).

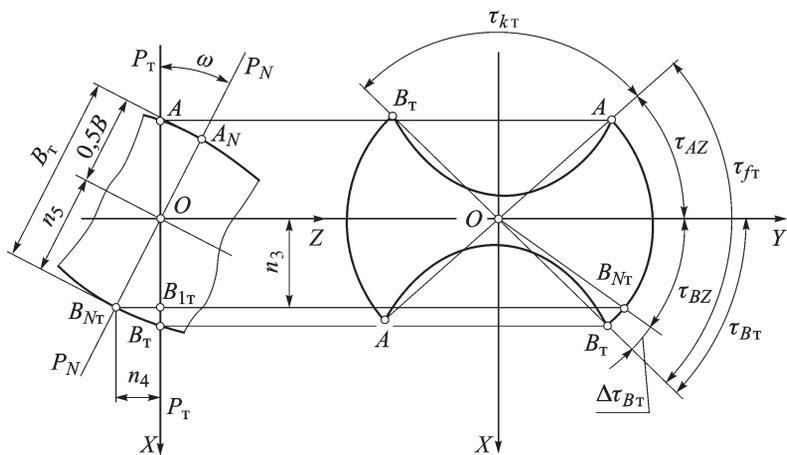
Параметры расчета приведены на рис. 3, б, а последовательность расчета — в табл. 2. Вычисленные размеры  $B_T$ ,  $\tau_{fT}$  и  $\tau_{kT}$  используются при контроле технологической операции.

**Выбор углов наклона образующих** (рис. 2, б). Угол  $\varphi_a$  определяет условие получения прямолинейной главной режущей кромки сверла. Стандартное значение угла при вершине сверла  $2\varphi = 118^\circ$ , тогда  $\varphi_a = \varphi = 59^\circ$ . Расчет угла  $\varphi_b$  приведен в табл. 3 [3].

**Построение линейчатой поверхности винтовой стружечной канавки.** Поворот образующих по часовой стрелке на угол  $\theta_i$  (рис. 4). В плоскости  $XU$  строится начальное положение проекций образующих (прямая  $a_0 k_0 b_0$ ), она поворачивается вокруг оси  $Z$  на угол  $\theta_i$ ; эта прямая занимает последовательные положения от  $a_{i1}$ ,  $k_{i1}$ ,  $b_{i1}$  до  $a_{in}$ ,  $k_{in}$ ,  $b_{in}$ , где  $n$  — число угловых шагов. Суммарный угол поворота обозначается как  $n\theta_i$  и координаты точек —  $a_{in}$ ,  $b_{in}$ . Координаты точки  $k_{in}$  показаны в увеличенном масштабе.



a



б

Рис. 3. Схема расчета центральных углов зуба и стружечной канавки

Таблица 1

Расчет центральных углов зуба и стружечной канавки

Система координат	Элементы схемы	Формулы
XZ	$\Delta O B_N B_1$	$n_1 = 0,5B \sin \omega$
	$n_1, n_2$	$n_2 = 0,5B \cos \omega$
XY	$\angle \Delta \tau_A$	$\Delta \tau_A = \frac{n_1}{p} = 360 \frac{n_1}{H} = 180B \frac{\sin \omega}{H}$
	$\angle \tau_{A\tau}$	$\tau_{AN} = \arcsin \frac{2n_2}{d} = \arcsin \frac{B \cos \omega}{d}$
	$\angle \Delta \tau_B$	$\Delta \tau_B = \frac{n_1}{p} = 360 \frac{n_1}{H} = 180B \frac{\sin \omega}{H}$
	$\angle \tau_{BN}$	$\tau_{BN} = \arcsin \frac{2n_2}{q} = \arcsin \frac{B \cos \omega}{q}$
	$\angle \tau_{AZ}$	$\tau_{AZ} = \tau_{AN} + \Delta \tau_A$
	$\angle \tau_{BZ}$	$\tau_{BZ} = \tau_{BN} + \Delta \tau_B$
	$\angle \tau_f$	$\tau_f = \tau_{AZ} + \tau_{BZ} = \arcsin \frac{B \cos \omega}{d} + \arcsin \frac{B \cos \omega}{q} + 360B \frac{\sin \omega}{H}$
$\angle \tau_k$	$\tau_k = 180 - \tau_f$	

## Расчет технологических угловых параметров

Система координат	Элементы схемы	Формулы
XY	$\angle \tau_{BZ} = \angle \tau_{BN}$ $n_3$	$\tau_{BZ} = \tau_{BN}$ (см. рис. 2, а и б) $n_3 = 0,5d \sin \tau_{BN} = 0,5dB \frac{\cos \omega}{d}$ (табл. 1)
XZ	$\Delta OB_{N_T} B_{1T}$ $n_4, n_5$	$n_4 = n_3 \operatorname{tg} \omega$ $n_5 = n_3 \cos \omega$
XY	$\angle \Delta \tau_{BT}$	$\angle \tau_{BT} = 180 \frac{n_4}{p\pi}$
	$\angle \tau_{BT}$	$\tau_{BT} = \tau_{BZ} + \Delta \tau_{BT}$
	$\angle \tau_{fT}$	$\tau_{fT} = \tau_{BT} + \tau_{AZ} = \tau_{BN} + \Delta \tau_{BT} + \tau_{AN} + \Delta \tau_{TA} =$ $= \arcsin \frac{B \cos \omega}{d} + \arcsin \frac{B \cos \omega}{q} + 180B \frac{\sin \omega}{H} + 180d \frac{\sin \omega}{Hq}$
	$\angle \tau_{kT}$	$\tau_{kT} = 180 - \tau_{fT}$
XZ	$A_N B_{N_T} = B_T$	$B_T = 0,5B + n_5 = 0,5B \left(1 + \frac{d}{q}\right)$

Таблица 3

## Расчет углов наклона образующих

Система координат	Элементы схемы	Формулы
XY	$\Delta Ok_O a_O$ $Oa_O = d/2$ $Ok_O = d_c/2$	$C = 0,5\sqrt{d^2 - d_c^2}$ $\theta_i = \arcsin(d_c/d)$
	$\Delta Ok_0 b_0$	$\theta_j = \theta_I$
XZ	$\Delta Oa_O a_x$ $Oa_x = C$ $a_O a_x$	$a_O a_x = p\theta_{Ai}$ ( $\theta_{Ai}$ в радианах) $\theta_{Ai} = \frac{C}{p} \operatorname{tg} \varphi_a$ $\theta_{Ai} = \frac{57,3C}{p \operatorname{tg} \varphi_a}$ ( $\theta_{Ai}$ в градусах) (1)
XY	$\angle \tau_{kA}$	$\tau_{kA} = 90 - \theta_i - \theta_{Ai}$
	$\angle \tau_{kB}$	$\tau_{kB} = \tau_{kT} - \tau_{kA} = 180 - \tau_{fT} - \tau_{kA}$ ( $\tau_{fT}$ – табл. 2)
	$\angle \theta_{Bj}$	$\theta_{Bj} = 90 - \theta_j - \tau_{kB} = 90 - \theta_j - 180 + \tau_{fT} + \tau_{kA} = \tau_{fT} - 2\theta_j - \theta_{Ai}$ $\theta_{Bj} = \arcsin \frac{B \cos \omega}{d} + \arcsin \frac{B \cos \omega}{q} +$ $+ \frac{180B \sin \omega}{H} + \frac{180d \sin \omega}{Hq} - 2 \arcsin \frac{d_c}{d} - \frac{57,3C}{p \operatorname{tg} \varphi_a}$ (2)
XZ	$\Delta Ob_O b_x$ $Ob_O = C$ $b_O b_x$	$b_O b_x = p\theta_{Bj}$ ( $\theta_{Bj}$ ) $b_O b_x = \frac{p\theta_{Bj}}{57,3}$ ( $\theta_{Bj}$ ) $\varphi_b = \operatorname{arctg} \frac{57,3C}{p\theta_{Bj}}$

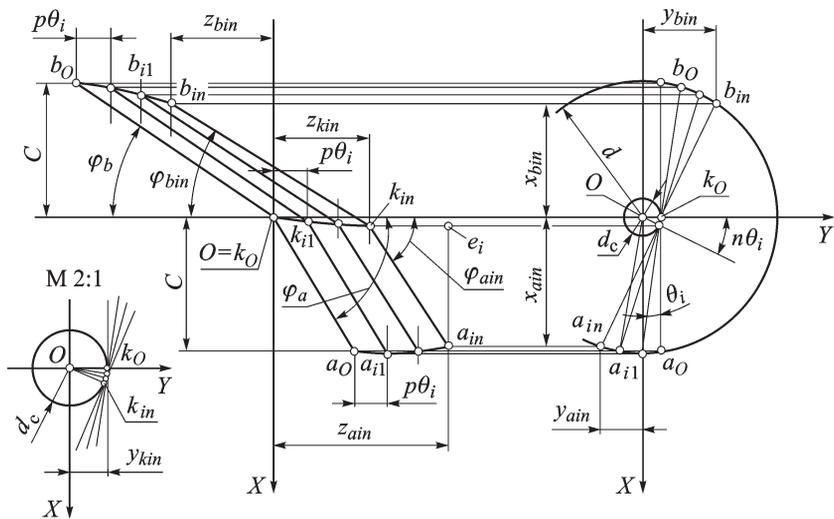


Рис. 4. Схема построения линейчатой поверхности винтовой стружечной канавки при повороте образующих по часовой стрелке

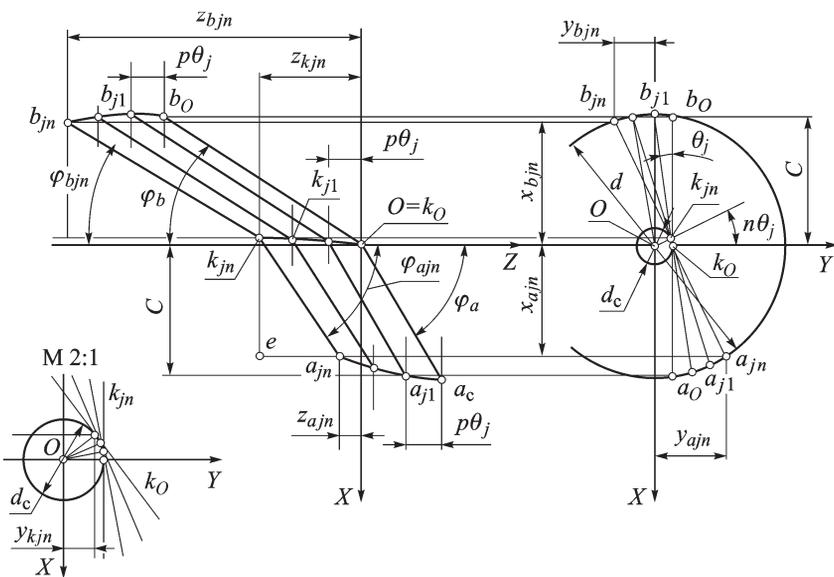


Рис. 5. Схема построения линейчатой поверхности винтовой стружечной канавки при повороте образующих против часовой стрелки

В плоскости  $XZ$  задается положение точки  $O$  ( $k_O$ ) и под углами  $\varphi_a$  и  $\varphi_b$  проводятся образующие. Определяются положения точек  $a_0b_0$ . От начального положения образующих откладываются отрезки, равные осевым шагам  $p\theta_i$  (угол  $\theta_i$  в радианах), параллельно оси  $X$  проводятся отрезки прямых, на которые проецируются точки, причем прямые  $a_{i1}k_{i1}$  и  $k_{i1}b_{i1}$  являются проекциями образующих после поворота на один угловой шаг. Аналогично определяется положение проекций всех образующих на этой проекции. На чертеже проставляются координаты точек  $a_{in}$ ,  $k_{in}$ ,  $b_{in}$ .

Построение стружечной канавки при повороте образующих против часовой стрелки на угловой шаг  $\theta_j$  и перемещении на осевой шаг  $p\theta_j$  выполняется так же (рис. 5).

Углы наклона образующих определяются из треугольников  $\Delta a_{in}k_{in}e_i$  и  $\Delta b_{in}k_{in}f_i$ ; сторона  $a_{in}e_i = C \cos n\theta_i$ , а сторона  $k_{in}e_i = \frac{C}{\operatorname{tg} \varphi_a}$ , тогда

$$\operatorname{tg} \varphi_{ain} = \frac{a_{in}e_i}{k_{in}e_i} = \operatorname{tg} \varphi_a \cos n\theta_i.$$

Аналогично находят  $\operatorname{tg} \varphi_{bin} = \operatorname{tg} \varphi_b \cos n\theta_i$ .

На рис. 6 показан совмещенный чертеж стружечной канавки. Число положительных  $\theta_i$  и отрицательных  $\theta_j$  угловых шагов увеличено до  $n = 7$ , показаны точки  $A$  и  $B$  стружечной канавки (см. рис. 3,  $a$ ) и размеры центральных углов  $\tau_{kA}$ ,  $\tau_{kB}$  (см. рис. 2,  $b$ ), а также торцевая секущая плоскость  $P_T$ .

**Вывод уравнений образующих.** Для образующей  $F_a$  (см. рис. 4, плоскость  $XZ$ , угол  $\theta_i$ ). Уравнение прямой  $a_{in}k_{in}$  имеет вид

$$\frac{z - z_{kin}}{z_{ain} - z_{kin}} = \frac{x - x_{kin}}{x_{ain} - x_{kin}},$$

после преобразования получаем

$$x = (z - z_{kin}) \operatorname{tg} \varphi_{ain} + x_{kin},$$

где  $\operatorname{tg} \varphi_{ain} = \operatorname{tg} \varphi_a \cos n\theta_i$ .

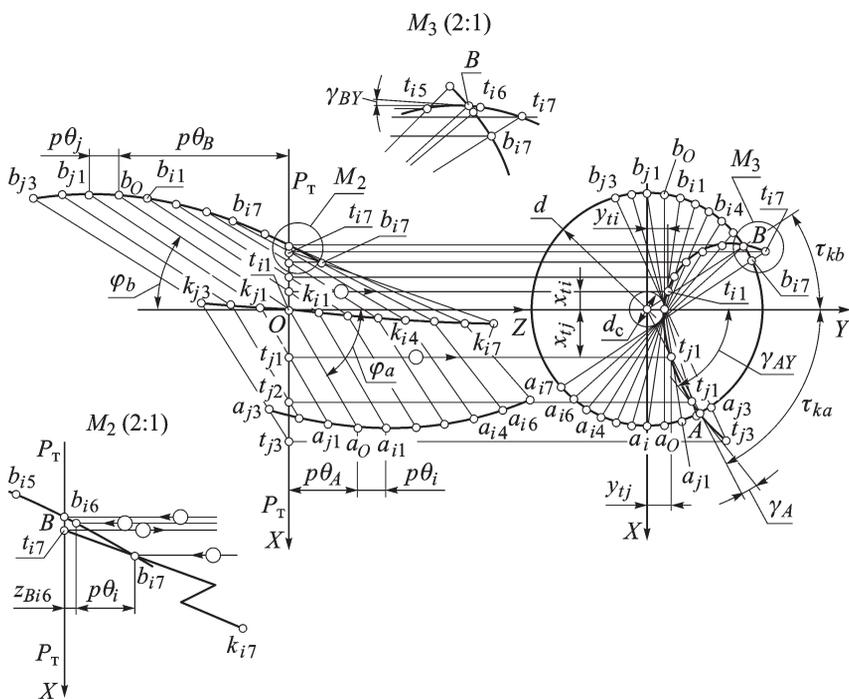


Рис. 6. Совмещенный чертеж стружечной канавки

Для образующей  $F_b$  (см. рис. 5, плоскость  $XZ$ , угол  $\theta_j$ ). Уравнение прямой  $b_{kin}k_{jin}$  имеет вид

$$\frac{z - z_{kjn}}{z_{bjn} - z_{kjn}} = \frac{x - x_{kjn}}{x_{bjn} - x_{kjn}},$$

после преобразования получаем

$$x = (z - z_{kjn}) \operatorname{tg} \varphi_{bjn} + x_{kjn},$$

где  $\operatorname{tg} \varphi_{bjn} = \operatorname{tg} \varphi_b \cos n\theta_j$ .

Для образующих  $F_a$  и  $F_b$  (см. рис. 4 и 5, плоскость  $XY$ , угол  $\theta_0$ ). Уравнение прямой  $a_{in}b_{in}$  можно представить как

$$y - y_{kin} = -(x_{kin} - x) \operatorname{tg} n\varphi_i,$$

уравнение прямой  $a_{jn}b_{jn}$  — как

$$y - y_{kjn} = (x_{kjn} - x) \operatorname{tg} n\varphi_j.$$

Полученные уравнения образующих приведены в табл. 4, а координаты точек — в табл. 5.

**Графоаналитическое определение профиля торцевого сечения стружечной канавки** (см. рис. 6). В системах координат  $XY$  и  $XZ$

Таблица 4

**Уравнения образующих стружечной канавки**

Образующая	Угол	Формула
$F_a$	$\theta_i$	$x = (z - z_{kin}) \operatorname{tg} \varphi_a \cos n\theta_i + x_{kin}$
	$\theta_j$	$x = (z - z_{kjn}) \operatorname{tg} \varphi_a \cos n\theta_j + x_{kjn}$
$F_b$	$\theta_i$	$x = (z - z_{kjin}) \operatorname{tg} \varphi_b \cos n\theta_i + x_{kjin}$
	$\theta_j$	$x = (z - z_{kajn}) \operatorname{tg} \varphi_b \cos n\theta_j + x_{kajn}$
$a_{in}k_{in}$	$\theta_i$	$y = (x_{kin} - x) \operatorname{tg} n\theta_i + y_{kin}$
$b_{jn}k_{jn}$	$\theta_j$	$y = (x_{kajn} - x) \operatorname{tg} n\theta_j + y_{kajn}$

Таблица 5

**Координаты точек торцевого профиля стружечной канавки**

Координаты	Формулы	Координаты	Формулы
Для $a_{in}$		Для $k_{in}$	
$x_{ain}$	$0, 5d_c \sin n\theta_i$	$x_{kin}$	$0, 5d_c \sin n\theta_i$
$y_{ain}$	$0, 5d_c \cos n\theta_i - C \sin n\theta_i$	$x_{kjin}$	$0, 5d_c \cos n\theta_i$
$z_{ain}$	$p(n\theta_i + \theta_A)$	$x_{kajn}$	$p n\theta_i$
Для $b_{jn}^*$		Для $k_{jn}^*$	
$x_{ajjn}$	$0, 5d_c \sin n\theta_j - C \cos n\theta_j$	$x_{kajn}$	$0, 5d_c \sin n\theta_j$
$y_{ajjn}$	$0, 5d_c \cos n\theta_j + C \sin n\theta_j$	$y_{kajn}$	$0, 5d_c \cos n\theta_j$
$z_{ajjn}$	$p(\theta_B - n\theta_j)$	$z_{kajn}$	$p n\theta_j$

\* угол  $\theta_j$  — величина отрицательная

проводятся проекции образующих. В торцевой плоскости  $P_T \equiv XY$  ( $\equiv -$  знак совмещения) отмечаются все точки пересечения образующих ( $t_{i1}, t_{j1}$  и т.д.). Полученные точки проецируются на соответствующие образующие (знаком  $\circ \rightarrow$  показано определение положения точек).

Положение точки  $t_{i7}$  на плоскости  $XZ$  определяется согласно виду  $M_2$  (см. рис. 6). Образующая  $b_{i7}k_{i7}$  продлевается до пересечения с плоскостью  $P_T$  в точке  $t_{i7}$ , координата  $Z_{qi} = p(7\theta_a - \theta_b)$ .

Положение точки  $t_{i7}$  на плоскости  $XY$  определяется согласно виду  $M_3$  (см. рис. 6). Образующая  $b_{i7}k_{i7}$  продлевается за пределы окружности диаметра сверла, показываются точки  $t_{i5}, t_{i6}, t_{i7}$ , проводится линия стружечной канавки и касательная в точке  $B$  под углом  $\gamma_{BY}$ .

**Аналитическое определение размеров торцевого профиля стружечной канавки.** Расчет координат в плоскости  $XZ$ . Уравнение проекций главной образующей  $F_a$  имеет следующий вид:

$$x = (z - z_{kin}) \operatorname{tg} \varphi_a \cos n\theta_i + x_{kin};$$

$$x = (z - z_{kjn}) \operatorname{tg} \varphi_a \cos n\theta_j + x_{kjn}.$$

Уравнение проекций вспомогательной образующей  $F_b$  можно представить как

$$x = (z - z_{kin}) \operatorname{tg} \varphi_b \cos n\theta_i + x_{kin};$$

$$x = (z - z_{kjn}) \operatorname{tg} \varphi_a \cos n\theta_i + x_{kjn}.$$

Расчет координат в плоскости  $XY$ . Уравнение проекций главной образующей  $a_{in}b_{in}$ , имеет вид

$$y = (x_{kin} - x) \operatorname{tg} n\theta_i + y_{kin},$$

уравнение проекций вспомогательной образующей  $a_{jn}b_{jn} -$

$$y = (x_{kjn} + x) \operatorname{tg} n\theta_j + y_{kjn}.$$

Уравнение секущей плоскости представим следующим образом:

$$XY \equiv P_T Z = 0.$$

Координаты точек  $t_{in}, t_{jn}$  определяются из табл. 6.

Таблица 6

**Определение размеров торцевого профиля стружечной канавки аналитическим методом**

Точка	Координата
$t_{in}$	$x_{tin} = x_{kin} - z_{kin} \operatorname{tg} \theta_b \cos n\theta_i$
	$y_{tin} = (x_{kin} - z_{tin}) \operatorname{tg} n\theta_i + y_{kin}$
$t_{jn}$	$x_{tjn} = x_{kjn} - z_{kjn} \operatorname{tg} \theta_a \cos n\theta_j$
	$y_{tin} = (x_{kjn} - z_{tjn}) \operatorname{tg} n\theta_j + y_{kjn}$

**Расчет угловых параметров в точках  $A$  и  $B$  торцевого сечения стружечной канавки.** Координаты точки  $A(x_A, y_A)$  определяются как

$x_A = \frac{d}{2} \sin \tau_{kA}$  и  $y_A = \frac{d}{2} \cos \tau_{kA}$ ; размер  $\tau_{kA}$  приведен в табл. 3.

Расчет угла наклона  $\gamma_{AY}$  в точке  $A$ . Уравнение кривой  $AK_0$  в параметрической форме имеет вид

$$x_A = -\frac{d_c}{2} \sin \theta_A + C \cos \theta_A;$$

$$y_A = \frac{d_c}{2} \cos \theta_A + C \sin \theta_A,$$

а угол  $\theta_A$  находится по формуле (1) из табл. 3.

Производные, заданные параметрически:

$$x'_A = -\frac{d_c}{2} \cos \theta_A + p \operatorname{tg} \varphi_a (\cos \theta_A - \theta_A \sin \theta_A);$$

$$y'_A = -\frac{d_c}{2} \sin \theta_A + p \operatorname{tg} \varphi_a (\sin \theta_A - \theta_A \cos \theta_A).$$

Угол наклона  $\gamma_{AY} = \operatorname{arctg} \frac{x'_A}{y'_A}$ ;  $\gamma_A = \tau_{kA} - \gamma_{AY}$ ;  $\tau_{kA} = \operatorname{arcsin} \frac{2x_A}{d}$ .

Расчет угла наклона касательной  $\gamma_{BY}$  в точке  $B$ . Запишем:

$$x_B = -\frac{d_c}{2} \sin \theta_B + C \cos \theta_B;$$

$$y_B = \frac{d_c}{2} \cos \theta_B + C \sin \theta_B.$$

Угол  $\theta_B$  находится по формуле (2) из табл. 3.

Производные, заданные параметрически, имеют следующий вид:

$$x'_B = -\frac{d_c}{2} \cos \theta_B + p \operatorname{tg} \varphi_b (\cos \theta_B - \theta_B \sin \theta_B);$$

$$y'_B = -\frac{d_c}{2} \sin \theta_B + p \operatorname{tg} \varphi_b (\sin \theta_B - \theta_B \cos \theta_B).$$

Угол наклона определяется как  $\gamma_{BY} = \operatorname{arctg} \frac{x'_B}{y'_B}$ .

**Определение положения смещенной секущей плоскости  $P_c$**  (рис. 7). В плоскости  $XY$  точки  $A$  и  $B$  перемещаются по окружности вокруг оси  $Z$  на угол  $\theta_c$  в положения  $A_c$  и  $B_c$ , в которых центральные углы  $\tau_{kAc}$ ,  $\tau_{kBc}$  и координаты  $y_{Ac}$  и  $y_{Bc}$  равны, а координаты  $x_{Ac}$  и  $y_{Bc}$  равны по абсолютной величине. Математически эти требования выражаются следующими формулами:

$$\theta_c = 0,5 (\tau_{kA} - \tau_{kB});$$

$$\tau_{kAc} = \tau_{kA} - \theta_c = 0,5 (\tau_{kA} + \tau_{kB});$$

$$\tau_{kBc} = \tau_{kB} - \theta_c = 0,5 (\tau_{kB} - \tau_{kA}).$$

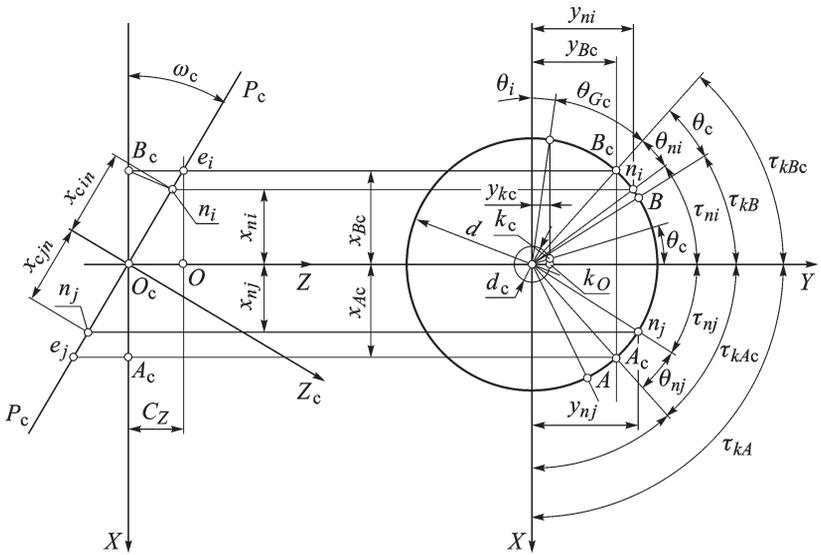


Рис. 7. Схема определения положения смещенной секущей плоскости

Формулы для расчета углов  $\tau_{kA}$  и  $\tau_{kB}$  приведены в табл. 3. Координаты точек  $A_c$  и  $B_c$ :

$$y_{Ac} = y_{Bc} = 0,5d \cos(\tau_{kAc}); \quad (3)$$

$$|x_{Bc}| = x_{Ac} = 0,5d \sin(\tau_{kAc}); \quad (4)$$

$$\theta_{nj} = \frac{x_{Ac} \sin \omega}{p};$$

$$\theta_{ni} = \frac{x_{Bc} \sin \omega}{p};$$

$$\tau_{nj} = \tau_{kA} - \theta_c - \theta_{ni};$$

$$\tau_{ni} = \tau_{kB} + \theta_c - \theta_{nj}.$$

Поворот на угол  $\theta_c$  против часовой стрелки в плоскости  $XZ$  приводит к смещению плоскости  $P_c$  относительно начала координат  $O$  на отрезок  $C_Z$  в отрицательном направлении оси  $Z$ :

$$C_Z = \theta_c p = 0,5(\tau_{kA} - \tau_{kB}).$$

Через точку  $O_c$  под углом  $\omega_c = \omega$  проводится след секущей плоскости  $P_c$  и определяются размеры отрезков:

$$x_{cin} = 0,5d \frac{\sin \tau_{ni}}{\cos \omega};$$

$$x_{cjn} = 0,5d \frac{\sin \tau_{nj}}{\cos \omega}.$$

**Построение нормального сечения стружечной канавки (рис. 8).** Повторяется чертеж стружечной канавки (см. рис. 6). Число угловых шагов следующее: положительных —  $8\theta_i$ , отрицательных —  $(5\theta_j)$ .

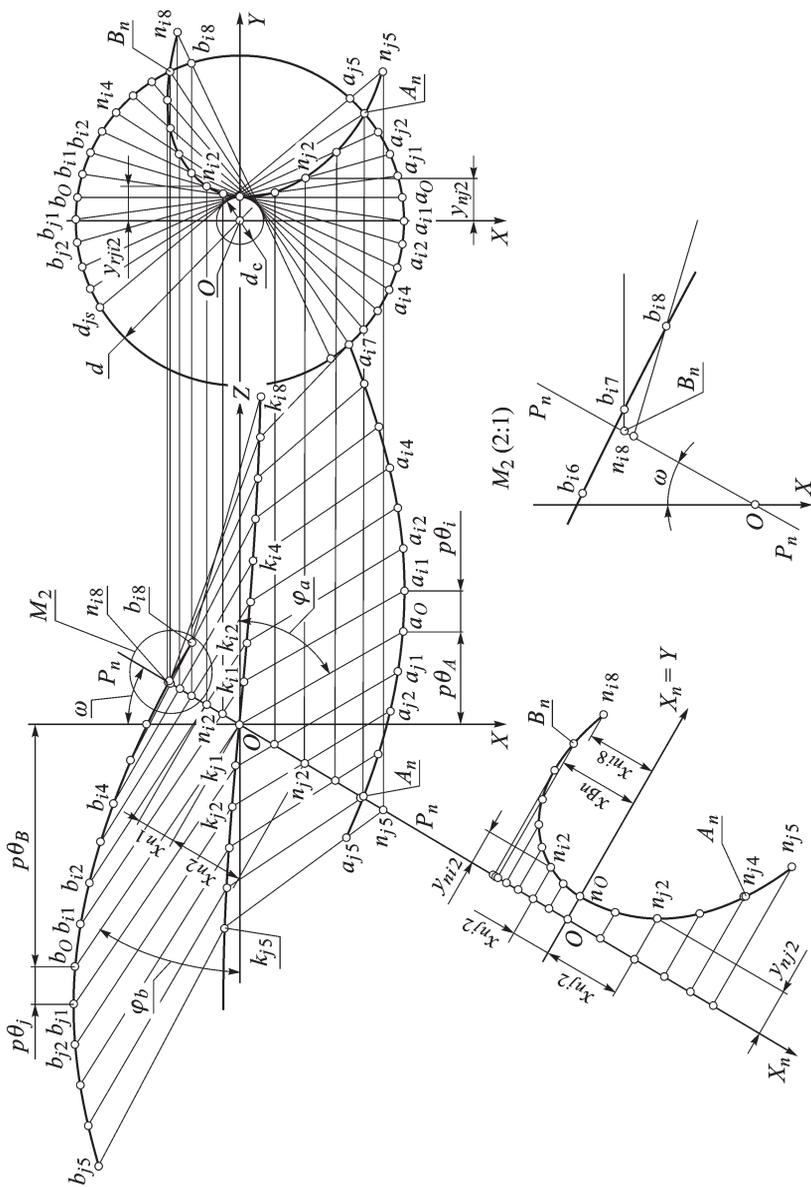


Рис. 8. Схема построения нормального сечения стружечной канавки

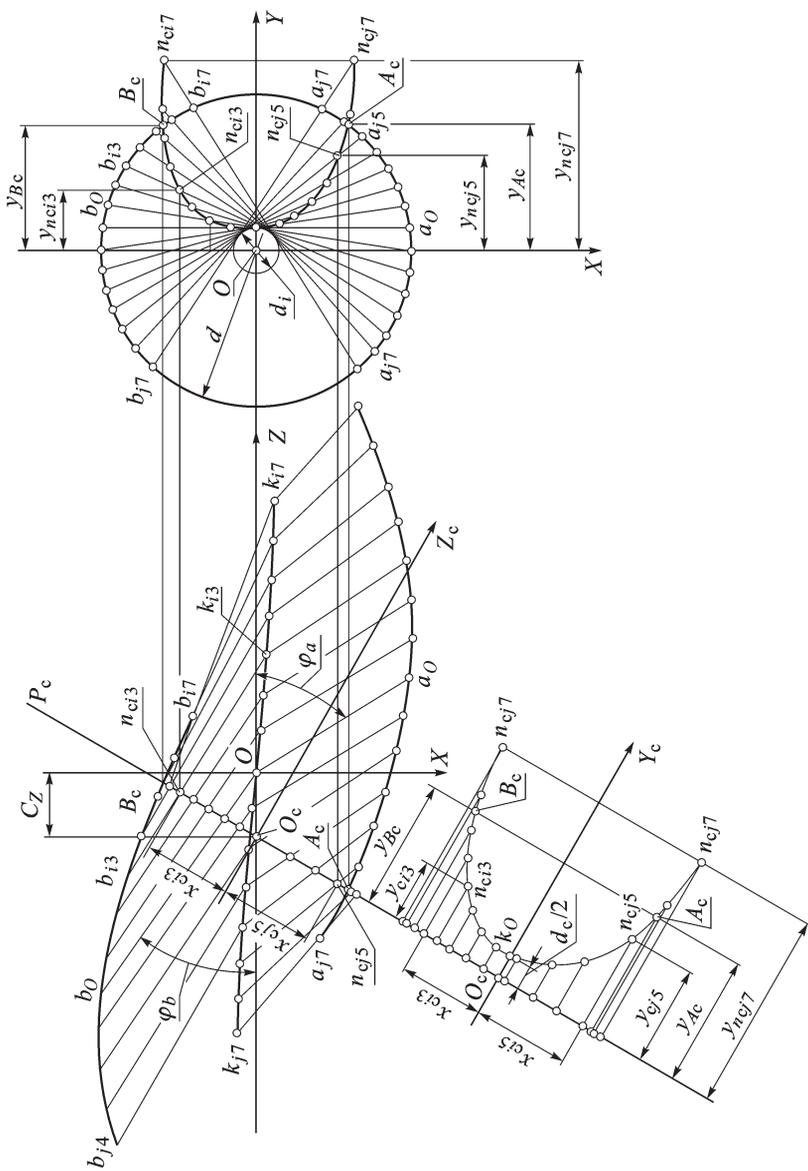


Рис. 9. Схема построения чертежа смещенного нормального сечения

Проводится след секущей плоскости  $p_n$  (в плоскости  $XZ$ ), отмечаются точки пересечения образующих с секущей плоскостью  $n_{in}, n_{jn}$  (индекс  $n$  — порядковый номер точки), на чертеже обозначаются точки  $n_{i2}, n_{i8}, n_{j2}, n_{j5}$ , указываются размеры  $x_{ni2}$  и  $x_{nj2}$ .

Определяются точки проекции нормального сечения профиля стружечной канавки (в плоскости  $XY$ ) и проводится контур профиля. Положение точек  $A_n$  и  $B_n$  находят приближенно как пересечение контура стружечной канавки с окружностью радиусом  $d/2$ .

Проставляются координаты  $y_{ni2}$  и  $y_{nj2}$ .

Строится контур стружечной канавки в плоскости  $X_n Y_n$  по координатам  $x_{nin}, x_{njn}, y_{nin}, y_{njn}$ . Видно, что профиль канавки в области точки  $B_n$  является закрытым, что исключает возможность обработки фасонными дисковыми фрезами или профилированными абразивными кругами.

В целях получения приемлемого для обработки профиля стружечной канавки необходимо переместить секущую плоскость в отрицательном направлении оси  $Z$  на некоторую величину  $C_Z$ , и в этом случае полученный профиль канавки обеспечит в точках  $A_n$  и  $B_n$  примерно одинаковые углы наклона по отношению к оси  $Y$ .

**Построение чертежа смещенного нормального сечения  $P_c$**  (рис. 9).

В плоскости  $XZ$  отмечаются точки пересечения образующих со следом плоскости  $P_c$  (указаны  $n_{ci3}, n_{cj5}$ ) и проставляются координаты точек  $x_{ci3}$  и  $x_{cj5}$ .

В плоскости  $XY$  строится проекция смещенного профиля, определяются ординаты  $y_{nci3}, y_{ncj5}, y_{nci7} = y_{ncj7}$ . По известным размерам  $y_{Ac}, y_{Bc}$  (см. формулы (3) и (4)) определяется положение точек  $A_c$  и  $B_c$ .

В плоскости  $X_c Y_c$  по координатам точек  $n_{cin}(x_{cin}, y_{cin}), n_{cjn}(x_{cjn}, y_{cjn})$  строится смещенный профиль стружечной канавки (индекс  $n$  означает порядковый номер углового шага).

Видно, что полученный профиль стружечной канавки в смещенном сечении будет удовлетворять условиям работы дискового инструмента для канавок при условии, если профиль зуба этого инструмента в осевом сечении будет совпадать с профилем канавки в смещенном сечении. Практически это приведет к необходимости установки дискового инструмента на станке со смещением в направлении оси заготовки сверла на величину  $C_Z$ .

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

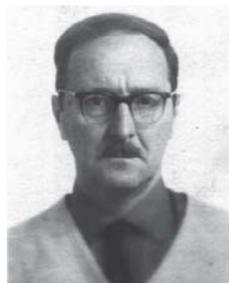
1. Малевский Н. П. Расчет профиля винтовых канавок спиральных сверл: Учеб. пособ. / Под ред. Б.Д. Даниленко. – М.: МВТУ им. Н.Э. Баумана, 1977. – 14 с.
2. Малевский Н. П. Проектирование стружечных канавок зенкеров: Учеб. пособ. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. – 20 с.

3. Малевский Н. П., Даниленко Б. Д. Подготовка исходных данных для графического определения профиля зуба дисковой фрезы для канавки сверла // Изв. вузов. Машиностроение. – 2008. – № 1.

Статья поступила в редакцию 10.09.2008

Николай Петрович Малевский родился в 1920 г., окончил МВТУ им. Н.Э. Баумана в 1952 г. Доцент кафедры “Инструментальные системы машиностроительных производств” МГТУ им. Н.Э. Баумана. Автор 75 научных работ и учебно-методических пособий по вопросам расчета и конструирования режущих инструментов, а также нового метода описания профиля винтовых стружечных канавок режущих инструментов с помощью двух образующих.

N.P. Malevskii (b. 1920) graduated from the Bauman Moscow Higher Technical School in 1952. Assoc. professor of “Tooling Systems of Machinery Productions” department of the Bauman Moscow State Technical University. Author of 75 publications and teaching-methodical books in the field of design and construction of cutting tools. Author of a new method of description of profiles of helical clearance grooves of cutting tools using two generatrices.



Борис Дмитриевич Даниленко родился в 1936 г., окончил МВТУ им. Н.Э. Баумана в 1960 г. Доцент кафедры “Инструментальные системы машиностроительных производств” МГТУ им. Н.Э. Баумана. Автор более 220 научных работ в области конструирования режущих инструментов и разработки нормативов режимов резания для различных видов механической обработки.

B.D. Danilenko (b. 1936) graduated from the Bauman Moscow Higher Technical School in 1960. Assoc. professor of “Tooling Systems of Machinery Productions” department of the Bauman Moscow State Technical University. Author of more than 220 publications in the field of construction of cutting tools and development of standards of cutting modes for various types of machining.

