

На правах рукописи

Министерство высшего и среднего специального  
образования СССР

Челябинский политехнический институт  
имени Ленинского комсомола

ГАВРИЛОВ Юрий Викторович

АНАЛИТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ  
БИНОВЫХ КАНАВОК ДИСКОВЫМИ ИНСТРУМЕНТАМИ

Специальность 05.02.08 - "Технология машиностроения"

Автореферат диссертации на соискание  
ученой степени кандидата технических  
наук

Челябинск, 1975

Работа выполнена на кафедре "Станки и инструмент" Челябинского политехнического института имени Ленинского комсомола.

Научный руководитель - доктор технических наук, профессор Л.К. Маргулис.

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, профессор В.В. Матвеев,  
кандидат технических наук, доцент Б.К. Шунаев.

Ведущее предприятие - Златоустовский ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени машиностроительный завод.

Автореферат разослан "—" 1975 г.

Защита диссертации состоится 19 ноября 1975 г., в 15<sup>00</sup> часов, в аудитории № 428 на заседании Совета по присуждению ученых степеней машиностроительных факультетов Челябинского политехнического института (г. Челябинск, проспект им. Ленина, 76, главный корпус).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Просим Вас и сотрудников Вашего учреждения, интересующихся темой диссертации, принять участие в заседании Совета.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенных печатью, просим направлять в Совет по адресу: 454044, г. Челябинск-44, проспект им. Ленина, 76, ЧИИ.

УЧЕНЫЙ СИКРЕТАРЬ СОВЕТА  
машиностроительных факультетов

А.Э. Даммер/

Челябинский  
политехнический институт  
БИБЛИОТЕКА

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Особую группу изделий машиностроения составляют детали машин, имеющие винтовые поверхности. К этой же группе относятся режущие инструменты с винтовыми стружечными канавками. При изготовлении этих изделий имеются трудности получения требуемой геометрии винтовых поверхностей. Эти трудности особенно значительны для изделий, имеющих несимметричный профиль винтовых канавок. А для последних дополнительно должна быть обеспечена весьма малая шероховатость режущих винтовых лезвий.

При обработке винтовых поверхностей применяются дисковые инструменты: фрезы, шлифовальные круги. Для получения геометрии винтовых поверхностей без искажений необходимо с достаточно высокой степенью точности определить максимально допустимый диаметр и профиль дискового инструмента, а также параметры его установки относительно обрабатываемого изделия.

В настоящее время эти вопросы для отдельных видов изделий считаются решенными. Значительный вклад в решение этой проблемы сделан советскими учеными Лашневым С.И., Люкиным В.С., Бобровым В.Ф., Кирсановым Г.Н. и др. Однако, единая методика расчета, включающей выбор параметров установок инструмента относительно изделия, отсутствует.

Цель и задачи работы. Данная работа ставит своей целью создание единого метода расчета профиля, максимально допустимого диаметра и параметров установки дисковых инструментов, обеспечивающих получение требуемого профиля в заданном чертежом сечении винтовой поверхности.

Для достижения указанной цели необходимо решить следующие задачи:

1. разработать методику аналитического расчета профиля и параметров установки дисковых инструментов, применяемых для формообразования винтовых канавок с применением метода нормалей;

2. разработать методику аналитического расчета профиля винтовых поверхностей изделий в зависимости от профиля применяемого дискового инструмента.

Новизна работы. Установлено, что применение на практике два вида установки инструмента относительно изделия математически

описываются общими выражениями. Это дало возможность применить метод нормалей и найти решение уравнения линии контакта изделия с инструментом. Решение является общим для широкальных кругов и дисковых фрез, обрабатывающих линейчатые и нелинейчатые винтовые поверхности. На основании этого разработан алгоритм расчета дисковых инструментов для обработки винтовых канавок, предусматривающий применение ЭВМ.

Реализация результатов работы. Разработанная инженерная методика и алгоритм расчета на ЭВМ профилей дисковых инструментов и параметров их установки внедрены на Киевском авиационном и Златоустовском машиностроительном заводах. Она применяется при проектировании инструментов для обработки стружечных канавок винтовых протяжек. На Челябинском станкостроительном заводе эта же методика применена при проектировании дисковых фрез для обработки стружечных канавок специальных сверл и зенкеров.

Применение спрофилированного дискового инструмента в совокупности с установкой его относительно обрабатываемого изделия по параметрам, рассчитанным по предложенной методике, обеспечивает получение винтовых поверхностей с заданной геометрией.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 8 работ, сделано 9 докладов.

Объем работы. Реферируемая работа состоит из введения, пяти глав, списка литературы и приложений. Диссертация включает 135 страниц машинописного текста, 59 рисунков, 5 таблиц, 7 страниц списка литературы (90 наименований).

## АНАЛИТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ПРИМЕНЕНИЮ МЕТОДА НОРМАЛЕЙ К ПРОФИЛИРОВАНИЮ ДИСКОВЫХ ИНСТРУМЕНТОВ

В задачу аналитического исследования включено следующее:

- 1) установление зависимостей для расчета параметров установки дискового инструмента на универсальном оборудовании, обеспечивающие применение выбранного метода профилирования;
- 2) установление зависимостей для определения максимально допустимого диаметра инструмента от параметров установки и обрабатываемой винтовой поверхности;
- 3) установление зависимостей для расчетов координат осевого сечения дисковых инструментов.

## ПАРАМЕТРЫ УСТАНОВКИ ИНСТРУМЕНТОВ ПРИ ОБРАБОТКЕ ВИНТОВЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Для использования метода нормалей при профилировании дисковых инструментов нужна такая установка последних относительно обрабатываемых изделий, при которой ось инструмента располагается в нормальном сечении винтовой поверхности (рис. Iв).

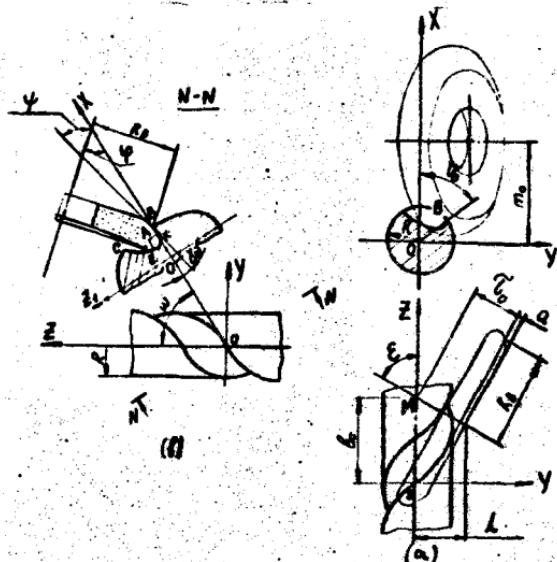


Рис. I

Такой вид установки требует для своего осуществления специальное станочное оборудование. Положение инструмента определяется углом  $\psi$ . При применении универсального оборудования для обработки винтовых поверхностей применяется второй вид установки, когда положение инструмента определяется следующими параметрами:  $\epsilon$  — угол скрещивания,  $T_0$  — межосевое расстояние,  $V_0$  — начальный угол контакта,  $b_0$  — расстояние от начала координат до точки скрещивания осей инструмента и изделия,  $l$  — боковое смещение инструмента (рис. Iа).

Установлена взаимосвязь этих видов установки, обрабатывающих инструментов, которая выражается следующими аналитическими зависимостями:

$$\left. \begin{aligned} \varepsilon &= \arctg \frac{\tan \varphi}{\sqrt{1 + p^2/R^2(1 + \tan^2 \varphi)}}; & v_0' &= \arccos(p/R \operatorname{ctg} \varepsilon) \\ m_0 &= \left(R + \frac{R_B}{\sin \varphi}\right) \cos v_0' & b_0 &= p v_0' + \frac{m_0}{p/R} \sin v_0' \\ T_0 &= R \left[1 + \frac{m_0}{p} \operatorname{ctg} \varepsilon\right] \cos \varphi & L &= (T_0 + a) \sin \varepsilon \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где  $R$  - радиус цилиндра, на котором выполняется винтовая поверхность;  $p$  - винтовой параметр;  $R_B$  - радиус диска инструмента, огибающего винтовую линию на цилиндре с радиусом  $R$ ;

$T_0$  - расстояние от точки скрещивания осей до положения диска инструмента с радиусом  $R_B$  на оси инструмента;  $a$  - толщина нерабочего участка инструмента.

Зависимости (1) показывают, что для определения параметров, установки по второму способу необходимо задаться углом  $\varphi$  наклона оси инструмента и радиусом  $R_B$  дискового инструмента. Последний, как было показано в работах В.Ф. Боброва, зависит от выбранной величины угла  $\varphi$ .

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАДИУСА КРИВИЗНЫ ВИНТОВОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Радиусы дискового инструмента в каждой из точек его осевого сечения должен быть меньше, чем проекции радиусов кривизны обрабатываемой винтовой поверхности на плоскость, перпендикулярную оси инструмента. Получены формулы для определения радиуса кривизны  $R_K$  линейчатой винтовой поверхности, образующая которой составляет положительный угол  $\gamma_N$  с вертикальной осью изделия.

$$R_K = R \left(1 + \frac{p^2}{R^2}\right) \frac{\cos(\varphi + \gamma_N)}{\sin \gamma_N}. \quad (2)$$

Исследование этой (2) зависимости как  $R_K = f(R)$  при  $p = \text{const}$  показывает, что при  $\omega < 45^\circ$  ( $\omega$  - угол наклона винтовой канавки) радиус кривизны участка линейчатой винтовой поверхности, расположенного ближе к оси изделия, больше, чем для участков далее отстоящих. При  $\omega > 45^\circ$  - зависимость обратная. В связи с последним максимально допустимый радиус  $R_B$  инструмента должен быть определен как

$$R_B \leq K_R R_K, \quad (3)$$

где

$$K_R = \frac{1}{1 - \frac{e}{R}} \left[ 1 - \frac{2 - \frac{e}{R}}{1 + \frac{P^2}{R^2}} \cdot \frac{e}{R} \right] - \frac{e}{R} \cdot \frac{\operatorname{tg}(\varphi + \chi_N)}{1 + \frac{P^2}{R^2}} \quad . \quad (4)$$

В формуле (4) размер  $e$  — расстояние от наружной поверхности изделия до центра круговой линии, сопрягающей прямолинейный участок образующей профиля винтовой поверхности с дном канавки.

Зависимости (2, 3, 4) включают, как частный случай, известную формулу для определения диаметра шлифовального круга при заточке зубьев круглых и шлицевых протяжек по передней поверхности. Для данной винтовой поверхности ( $R, P, \chi_N$ ) главным параметром, определяющим максимально допустимый диаметр и параметры установки, является угол  $\varphi$  наклона оси инструмента в нормальном сечении винтовой поверхности.

### АНАЛИТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ПРОФИЛЯ ДИСКОВОГО ИНСТРУМЕНТА С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДА НОРМАЛЕЙ

Обрабатывающий инструмент относится к классу поверхностей вращения и поэтому его профиль определяется при вращении характеристики (линия контакта изделия с инструментом) вокруг оси инструмента. Искусная характеристика есть геометрическое место точек на винтовой поверхности, в каждой из которых нормаль пересекает ось инструмента.

Для линейчатой винтовой поверхности уравнение характеристики получено в виде:

$$f(r) = (B - Cr) \cos \nu - (D + Er) \sin \nu - K = 0, \quad (5)$$

где

$$\left. \begin{aligned} B &= f_1(f_1 f'_1 + f_2 f'_2) - (f_3 - b_o)(P f'_2 - f_1 f'_3) + m_o(P f'_1 + f_2 f'_3) \operatorname{ctg} \varepsilon \\ C &= P(P f'_2 - f_1 f'_3) \\ D &= f_2(f_1 f'_1 + f_2 f'_2) + (f_3 - b_o)(P f'_1 + f_2 f'_3) + m_o(P f'_2 - f_1 f'_3) \operatorname{ctg} \varepsilon \\ E &= P(P f'_1 + f_2 f'_3) \\ K &= (m_o + P \operatorname{ctg} \varepsilon)(f_1 f'_1 + f_2 f'_2). \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

Таблица I

N <sup>o</sup> n/n	Положение прямолинейной образующей	Уравнения образующей	Положение плоскости, в которой задана образующая
1		$f_1 = X = (t-h) + h$ $f_2 = Y = -(t-h) \operatorname{tg} \gamma$ $f_3 = Z = 0$	Перпендикулярное оси OZ винта- торцевое сечение
2		$f_1 = X = (t-h) + h$ $f_2 = Y = 0$ $f_3 = Z = (t-h) \operatorname{tg} \gamma$	Проходит через ось OZ винта- осевое сечение
3		$f_1 = X = (t-h) + h$ $f_2 = Y = -(t-h) \operatorname{tg} \gamma_n \cos w$ $f_3 = Z = -(t-h) \operatorname{tg} \gamma_n \sin w$	Перпендикулярное винтовой кромке- нормальное сечение
4		$f_1 = X = (t-h) + h$ $f_2 = Y = -\alpha$ $f_3 = Z = (t-h) \operatorname{tg} \gamma$	Проходит параллельно оси OZ винта

Здесь (6)  $f_1$ ,  $f_2$ ,  $f_3$  параметрические уравнения прямолинейных образующих (табл. I) и  $f'_1$ ,  $f'_2$ ,  $f'_3$  их производные по параметру ( $t - h$ ).

Уравнение (5) является трансцендентным относительно искомого параметра  $V_i$  — угла контакта. Вычисление его производится в два этапа: 1) — нахождение грубого приближенного значения корня  $V_i$  уравнения (5) и 2) — уточнение найденного грубого приближения по методу Ньютона.

$$V_i = V_c + (10 \div 15^\circ); \quad V'_i = V_i - \frac{f(V_i)}{f'(V_i)} \quad (7)$$

Координаты точек контакта, лежащие на характеристики определяются по формулам

$$\left. \begin{array}{l} x_i = f_{1i} \cos V_i - f_{2i} \sin V_i \\ y_i = f_{1i} \sin V_i + f_{2i} \cos V_i \\ z_i = f_{3i} + p V_i \end{array} \right\} \quad (8)$$

Профиль дискового инструмента определяется рядом точек ( $R_{Vi}$  — радиусом и  $\tilde{T}_i$  — расстоянием диска инструмента от точки скрещивания), координаты которых

$$\left. \begin{array}{l} R_{Vi} = \sqrt{[(z_i - b_o) \sin \varepsilon + y_i \cos \varepsilon]^2 + (x_i - m_o)^2} \\ \tilde{T}_i = -(z_i - b_o) \cos \varepsilon + y_i \sin \varepsilon \end{array} \right\} \quad (9)$$

Назначая ряд уровней ( $t - h$ ); на прямолинейной образующей можно получить соответствующее число пар координат (9) точек профиля инструмента, обрабатывающего линейчатую винтовую поверхность.

При расчете по зависимостям (9) координат профиля дискового инструмента, обрабатывающего круговые участки профиля, последние должны быть заменены семейством прямолинейных образующих, каждая из которых определяет одну точку соответствующего участка профиля параметрами  $\gamma_i$ ,  $(t - h)_i$ ,  $h_i$  (рис. 2).

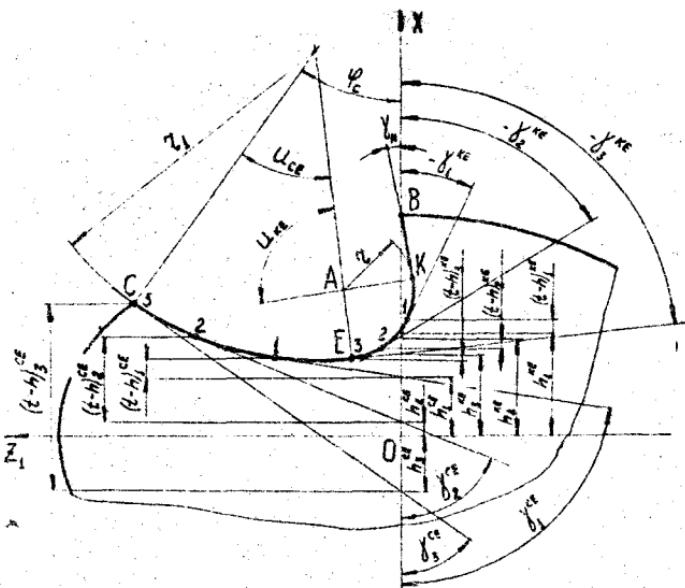


Рис. 2

Такой порядок расчета позволяет без каких-либо графических построений и пересчетов параметров винтовой поверхности в исходное (торцевое) сечение определять координаты профиля обрабатывающего дискового инструмента.

## ПРОФИЛЬ ВЛИТОВОЙ ПОВЕРХНОСТИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПРОФИЛЯ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

При расчете координат профиля винтовой поверхности в зависимости от профиля и размеров дискового инструмента необходимо, чтобы последний удовлетворял следующему условию:

$$R_B \leq 0.8 K_R R \left(1 + \frac{P^2}{R^2}\right) \frac{\sin \delta_1}{\sin \gamma_N} , \quad (10)$$

где  $\Sigma_1$  - профильный угол на инструменте (рис.3)

В случае, если условие (10) не будет выполнено, обработать винтовую поверхность без интерференции режущего инструмента будет невозможно. Для определения координат винтовой поверхности в каком-либо сечении решается уравнение характеристики на конусе, которое имеет вид

$$(m_0 + p \text{ctg} \varepsilon) + (p - m_0 \text{ctg} \varepsilon) \sin \theta + (R_u + \tilde{U} \text{ctg} \psi) \cos \theta = 0. \quad (\text{II})$$

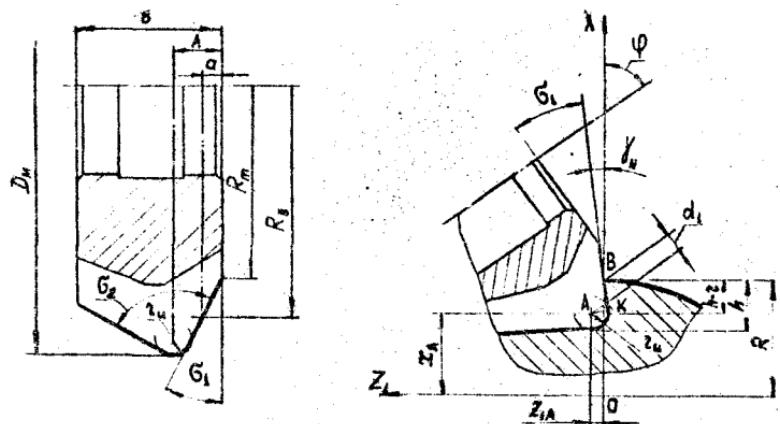


Рис. 3

При криволинейной образующей профиля дискового инструмента для определения координат винтовой поверхности применена аппроксимация круговых участков семейством прямолинейных образующих.

Отсутствие явления интерференции дискового инструмента контролируется путем сравнения в соответствующих плоскостях, совпадающих с положением элементарных дисков инструмента, расстояний от оси инструмента до точек, принадлежащих винтовой линии на цилиндре изделия, с радиусом инструмента в этой же плоскости. Интерференции не будет, если радиус диска инструмента меньше этих расстояний.

Из уравнения (II) выведена зависимость для определения угла наклона касательной на профиле дискового инструмента.

$$\operatorname{tg} \psi = \frac{R_{ti} (x_i + p \operatorname{ctg} \varepsilon) \cos \varepsilon}{y_i (p - m_i \operatorname{ctg} \varepsilon) - t_i (p \sin \varepsilon - x_i \cos \varepsilon)} : \quad (12)$$

Эта зависимость используется для определения углов наклона касательных на концах рабочих участков профиля дискового инструмента.

#### ПРОФИЛИРОВАНИЕ ДИСКОВОГО ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ ОБРАБОТКИ КОНКРЕТНЫХ ВИНТОВЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Результаты аналитических исследований по формообразованию винтовых поверхностей использованы, например, для случая обработки

стружечных канавок, которые имеют несимметричную форму, винтовых протяжек.

## КОНСТРУКТИВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ ПРОСЬЛЬ ВИНТОВОЙ КАНАВКИ

За основное принято нормальное (перпендикулярное направлению винтовых зубьев) сечение винтовой канавки, в котором задан передний угол  $\gamma_m$  на винтовом лезвии. Профиль канавки может иметь одно или двухрадиусную форму (по аналогии с протяжками с концевыми зубьями). Введено понятие коэффициента ширины канавки  $q$ .

Для расчета параметров установки и профилирования дисковых инструментов, обрабатывающих профиль винтовой канавки, принять следующие конструктивные параметры (рис.4): координаты точки А ( $X_A, Z_{1A}$ ), точки С ( $X_C, Z_{1C}$ ), углы  $U_{KE}$  и  $U_{CE}$  на круговых участках профиля KE и CE соответственно, угол  $\Psi_C$  наклона нормали в точке С.

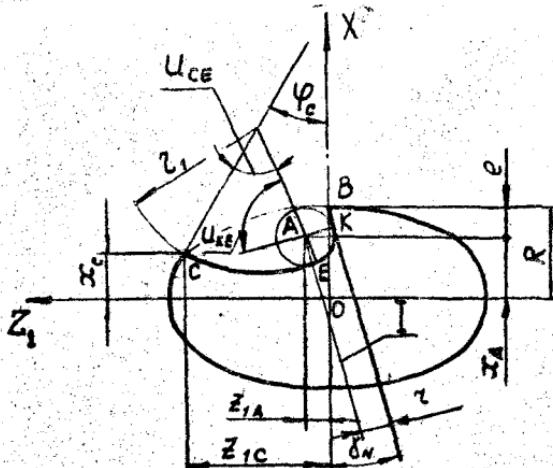


Рис. 4

Расчетные зависимости для указанных параметров следующие:

$$z_{1A} = -(R \sin \gamma_N - r) \frac{\cos \gamma_N}{\cos^2 \gamma_N + \cos^2 \omega_c \sin^2 \gamma_N} + \sqrt{\left[ \frac{(R \sin \gamma_N - r) \cos \gamma_N}{\cos^2 \gamma_N + \cos^2 \omega_c \sin^2 \gamma_N} \right]^2 + \frac{(R - e)^2 \sin^2 \gamma_N - (R \sin \gamma_N - r)^2}{\cos^2 \gamma_N + \cos^2 \omega_c \sin^2 \gamma_N}}; \quad (13)$$

$$x_A = \sqrt{(R - e)^2 - z_{1A}^2 \cos^2 \omega_c};$$

$$z_{1C} = -R \frac{\sin \nu_c}{\cos \omega_c}; \quad x_C = R \cos \nu_c, \quad (14)$$

где  $\nu_c$  определяется при решении трансцендентного уравнения

$$-\frac{2\pi}{n} q \operatorname{ctg}^2 \omega_c = \nu \operatorname{ctg}^2 \omega_c + \sin \nu$$

( $n$  - число винтовых стружечных канавок).

$$U_{ce} = \arccos \left\{ 1 + \frac{r^2 - [(x_A - x_c)^2 + (z_{1A} - z_{1C})^2]}{2 z_1 (1 - r/z_1)} \right\}; \quad (15)$$

$$\varphi_c = 90^\circ - \left\{ \arccos \frac{2r - r^2/z_1 + [(x_A - x_c)^2 + (z_{1A} - z_{1C})^2]}{2 \sqrt{(x_A - x_c)^2 + (z_{1A} - z_{1C})^2}} - \arctg \frac{x_A - x_c}{z_{1A} - z_{1C}} \right\}; \quad (16)$$

$$U_{ke} = 90^\circ + [\gamma_N - (U_{ce} - \varphi_c)]. \quad (17)$$

Зависимости (13+17) являются общими и могут применяться при задании профиля винтовой канавки как в торцевом ( $\omega_c = 0$ ), так и в осевом ( $\omega_c = 90^\circ$ ) сечениях. Для профиля, заданного в нормальном сечении,  $\omega_c = \omega$ .

### МИНИМАЛЬНО ДОПУСТИМЫЙ УГОЛ НАКЛОНА ОСИ ИНСТРУМЕНТА

При формообразовании профиля винтовой канавки, параметрами последней, определяющими угол  $\Phi$  наклона оси инструмента, являются:

- а) при фрезеровании полного профиля - наклон касательных в точках В и С (рис.5); б) при шлифовании части профиля винтовой канавки - координаты точки А (рис.6).

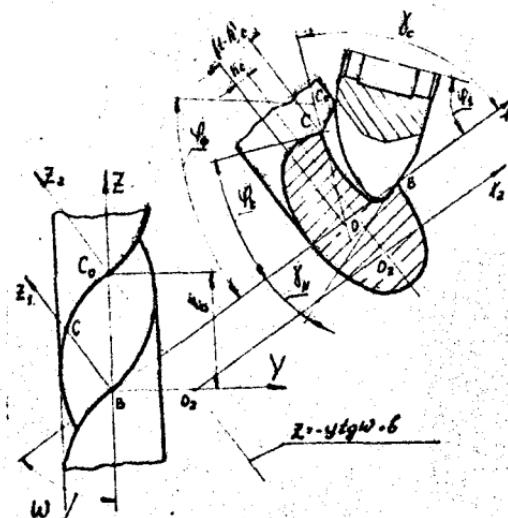


Рис.5

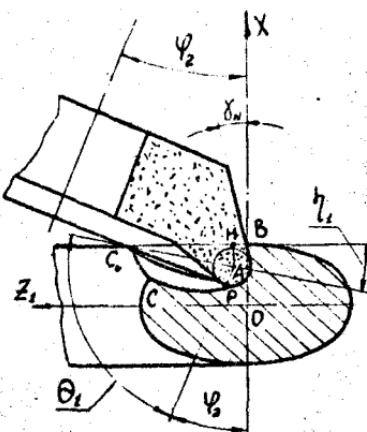


Рис.6

Минимальные значения углов наклона оси инструментов, обеспечивающих применение обрабатывающих инструментов максимально допустимых диаметров, рассчитываются по следующим зависимостям: а - при фрезеровании

$$\varphi_1 = 10^\circ + \alpha \operatorname{arctg} \frac{(\sin \nu_c + ctg \psi_c \cos \omega \cos \nu_c) \cos \omega + ctg \psi_c \sin \omega}{\cos \nu_c - ctg \psi_c \cos \omega \sin \nu_c}; \quad (18)$$

б - при шлифовании

$$\varphi_2 = 90^\circ - \left[ \operatorname{arccos} \frac{z}{\sqrt{(x_A - R)^2 + (z_{1A} - \frac{H}{n} q \sin \omega)^2}} - \operatorname{arctg} \frac{x_A - R}{z_{1A} - \frac{H}{n} q \sin \omega} \right], \quad (19)$$

где  $H$  - шаг винтовой канавки.

Значение угла  $\varphi_1$ , рассчитанное по формуле (18), должно удовлетворять условию  $\varphi_1 < (90^\circ - \gamma_N)$ . В противном случае значение  $\gamma_N$  должно быть уменьшено, но при условии, что требуемая величина переднего угла будет получена на операции шлифования передней поверхности винтовых зубьев.

АЛГОРИТМ РАСЧЕТА ДИСКОВЫХ ИНСТРУМЕНТОВ ДЛЯ  
ОБРАБОТКИ СТРУЖЕЧНЫХ КАНАВОК ВИНТОВЫХ ПРОТЯЖЕК,  
ПРЕДУСМАТРИВАЮЩИЙ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭИМ

Исходными данными для расчета параметров установки и профиля рабочего участка инструмента являются:  $R$  - радиус цилиндра на калибрующей части,  $H$  - шаг винтовой канавки,  $h$  - глубина винтовых канавок,  $n$  - число винтовых канавок,  $r$  - радиус сопряжения передней поверхности винтового зуба с дном канавки,  $\gamma_n$  - передний угол в нормальном сечении.

Блок I - определение геометрических параметров винтовой канавки:  $q$  - коэффициент ширины винтовой канавки,  $r_1$  - радиус кругового участка профиля, оформляющего спицку зуба.

Блок 2 - расчет параметров:  $V_c, x_c, z_{ic}, x_A, z_{ia}, U_{ce}, U_{ke}, \Psi_c$ .

Блок 3 - разбит на два подблока: За и Зб.

Блок За - определение максимально допустимого диаметра дисковой фрезы и параметров ее установки.

Блок Зб - то же самое для шлифовального круга.

Блок 4 - определение координат осевого сечения рабочего участка профиля инструмента (дисковая фреза, шлифовальный круг). Данные этого блока являются исходными для построения лекальной кривой профиля обрабатывающего инструмента.

ВАРИАЦИИ АЛГОРИТМА РАСЧЕТА ПРОФИЛЯ ДИСКОВЫХ  
ИНСТРУМЕНТОВ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ИЗДЕЛИЙ С ВИНТОВЫМИ  
ПОВЕРХНОСТЯМИ

Показана приемственность разработанного алгоритма расчетов профиля и параметров установки дисковых инструментов для обработки стружечных канавок винтовых протяжек, профиль которых задан в нормальном сечении, к другим изделиям. Образующие профили последних могут быть заданы в одной или нескольких плоскостях. В последнем случае рассмотрен вопрос профилирования дисковых фрез для обработки стружечных канавок спиральных сверл. При этом установлено, что максимально допустимый диаметр обрабатывающего инструмента зависит от одного конструктивного параметра (при прочих равных) - смещения главной режущей кромки относительно продольной оси (половина ширины перемычки сверла).

В качестве изделия, профиль обрабатываемой винтовой поверхности которого задан в торцевом сечении, рассмотрены червячные фрезы. А для случая задания профиля в осевом сечении рассмотрены архimedовы червяки.

Показано, что во всех случаях нет необходимости пересчета параметров винтовой поверхности в торцевое сечение, а также полностью исключаются графические построения по определению координат осевого сечения обрабатывающего инструмента.

Методика расчета инструментов, работающих на универсальном (горизонтально-фрезерные и заточные станки) и специальном (заточной станок типа 3662) оборудовании, одна. В последнем случае в расчетах параметры  $\varepsilon$ ,  $v_0$ ,  $m_0$ ,  $b_0$ ,  $T_0$  являются вспомогательными величинами.

### СРАВНЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ РАСЧЕТОВ ПАРАМЕТРОВ УСТАНОВКИ И РАЗМЕРОВ ОБРАБАТЫВАЮЩЕГО ИНСТРУМЕНТА И ИХ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ПРОВЕРКА

Разработанный метод расчета отличается от существующих тем, что все параметры обрабатывающего инструмента являются расчетными. При этом нет необходимости в априорном назначении какого-либо из них. Последнее особенно важно в случае обработки несимметричных профилей винтовых канавок.

Введение угла  $\varPhi$  наклона оси дискового инструмента как главного параметра установки, позволяет применять предложенный алгоритм для инженерных расчетов инструментов, работающих на универсальном (универсальные горизонтально-фрезерные и заточные станки) и специальном (заточной станок типа 3662) оборудовании. При необходимости обработать несимметричный профиль винтовой канавки этот угол рассчитывается по параметрам винтовой поверхности. Для случая обработки симметричных профилей этот же угол принимается равным  $90^\circ$ , что соответствует установке обрабатывающего инструмента вдоль винтовой канавки.

Получены аналитические зависимости для определения максимально допустимого диаметра, профиля и параметров установки дискового инструмента.

Методика расчета едини как для дисковых фрез, так и для шлифовальных кругов.

Проведены эксперименты по обработке винтовых канавок дисковыми инструментами (шлифовальный круг); различного диаметра. Установлено, что невозможно получение требуемого положительного угла  $\gamma_n$  на винтовых режущих зубьях дисковыми инструментами, диаметры которых больше, чем рассчитанные по зависимостям реферирующей работы.

При применении дисковых инструментов, диаметры, профиль и параметры установки которых рассчитаны по разработанной методике, получена требуемая геометрия винтовых канавок.

При этом у винтовых протяжек отсутствуют срезанные режущие кромки, которые в данном случае имеют минимальную шероховатость и максимально приближены к винтовой линии.

#### ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ

1. Установлено, что применяемые на практике два вида установок инструмента относительно изделия математически описываются общими выражениями. Аргументом в этих выражениях является угол наклона оси инструмента в нормальном сечении –  $\Psi$  и радиус дискового инструмента  $R_B$ . Получено аналитическое выражение для определения максимально допустимого диаметра дискового инструмента в зависимости от параметров изделия и угла  $\Psi$ . Показано, что выражение является наиболее общим, включающим известную формулу для определения диаметра шлифовального круга при заточке кольцевых зубьев протяжек.

2. При получении зависимостей п.1 был использован метод нормалей. Это дало возможность найти решение трансцендентного уравнения линии контакта изделия с инструментом. Решение является общим для определения размеров и профиля шлифовальных кругов и дисковых фрез, обрабатывающих линейчатые винтовые поверхности.

3. Для винтовых поверхностей, профиль которых очерчивается круговыми линиями, применение полученных зависимостей по определению координат обрабатывающего инструмента возможно без каких-либо изменений при замене соответствующих участков профиля семейством прямолинейных образующих.

4. Для несимметричных профилей винтовых канавок изделий получены аналитические зависимости по определению минимально допустимых

мого угла  $\varphi$  наклона оси дискового инструмента, который обеспечивает работу максимально допустимым диаметром инструмента для данного изделия.

5. Установлено, что обработка симметричных профилей винтовых канавок является частным случаем в вопросе обработки винтовых поверхностей. При этом главный параметр – угол наклона оси обрабатываемого инструмента в нормальном сечении – принимается равным  $90^\circ$ , что соответствует установке дискового инструмента по винтовой канавке.

6. Разработаны алгоритмы расчета для прямого (профиль инструмента по профилю винтовой канавки) и обратного (профиль канавки по инструменту) профилирования. Таким образом создан метод расчета профилей дисковых инструментов для обработки винтовых канавок, который обеспечивает соблюдение условия, сформулированного В.Ф. Бобровым, об отсутствии явления подрезания. Метод расчета может применяться для любых типов изделий с винтовыми канавками, обработка которых ведется дисковыми инструментами.

Методика расчета внедрена на КИАЗе, Златоустовском машиностроительном и применена на Челябинском станкостроительном заводах. Годовой экономический эффект на один типо-размер изделия составил 240 рублей.

#### МАТЕРИАЛЫ ДИССЕРТАЦИИ ДОКЛАДЫВАЛИСЬ:

1. На XX научно-технической конференции ЧПИ. Челябинск, 1972 г.
2. На семинаре школы передового опыта "Совершенствование технологии изготовления металлорежущего инструмента из быстрорежущих сталей и твердых сплавов". Машиностроительный завод, Иркутск, 1973 г.
3. На научно-технической конференции "Совершенствование процессов резания металлов". Свердловский областной дом техники НТО. Свердловск, 1974 г.
4. На XXII научно-технической конференции ЧПИ. Челябинск, 1974 г.
5. На научно-техническом семинаре "Высокопроизводительный режущий инструмент". Московский дом научно-технической пропаганды им. Ф.Э. Дзержинского. Москва, 1974 г.
6. На IV Всесоюзной межвузовской научно-технической конференции "Научные основы автоматизации производственных процессов в ма-

шестроении и приборостроении", Московское высшее техническое училище им. И.Э. Баумана. Москва, 1975 г.

7. На научно-технической конференции "Совершенствование процессов резания металлов", Свердловский областной дом техники НТО. Свердловск, 1975 г.

8. На XXVII научно-технической конференции ЧИИ. Челябинск, 1975 г.

9. На УШ научно-технической конференции инструментальщиков Западного Урала. Пермь, 1975 г.

#### СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНО В РАБОТАХ:

1. Маргулис Д.К., Гаврилов Ю.В. Параметры инструмента при шлифовании передней поверхности зубьев винтовых протяжек. В сб. тезисов докладов конференции "Совершенствование процессов резания металлов". Свердловск, 1974 г.

2. Маргулис Д.К., Гаврилов Ю.В. Сборная круглая протяжка. Материалы семинара "Высокопроизводительный режущий инструмент". МДНТИ. М., 1974 г.

3. Маргулис Д.К., Гаврилов Ю.В. Аналитическое определение параметров и расчетов настройки инструмента при обработке винтовых поверхностей. Материалы 4-й Всесоюзной межвузовской научно-технической конференции "Научные основы автоматизации производственных процессов в машиностроении и приборостроении". МВТУ им. И.Э. Баумана. М., 1975 г.

4. Маргулис Д.К., Гаврилов Ю.В. Параметры установки дискового инструмента при обработке стружечных канавок винтовых протяжек. В сб. тезисов докладов конференции "Совершенствование процессов резания металлов". Свердловск, 1975 г.

5. Маргулис Д.К., Гаврилов Ю.В. Расчет координат точек рабочего участка дискового инструмента для обработки винтовых стружечных канавок. В сб. тезисов докладов конференции "Совершенствование процессов резания металлов". Свердловск, 1975 г.

6. Маргулис Д.К., Гаврилов Ю.В. Профиль винтовой канавки, обрабатываемой дисковым инструментом. В сб. "Прогрессивные конструкции и методы обработки в инструментальном производстве". Тезисы докладов УШ научно-технической конференции инструментальщиков Западного Урала. Пермь, 1975 г.

7. Маргулис Д.К., Гаврилов Ю.В. Расчет профиля дискового инструмента на ЭВМ. В сб. "Прогрессивные конструкции и методы обработки

в инструментальном производстве". Тезисы докладов УШ научно-технической конференции инструментальщиков Западного Урала.  
Пермь, 1975 г.

8. Гаврилов В.Н., Репьев А.И., Гаврилов Ю.В. Сборная протяжка. Авторское свидетельство СССР на изобретение № 320353.  
Официальный бюллетень № 34, 1971 г.

Г а в р и л о в   Е р ий Викторович

Аналитическое исследование формообразования  
винтовых канавок дисковыми инструментами

Технический редактор А.В.Миних

---

ФБ 05350. Подписано к печати 3/X-75г. Формат бумаги 60x90/16.  
Объём 1,25 п.л. Отпечатано на ротапринте ЧПИ. Тираж 120 экз.  
Заказ № 335/1293