

21 05.0301.13
82 K 821
✓

Министерство высшего и среднего специального
образования СССР

Челябинский политехнический институт
имени Ленинского комсомола

На правах рукописи

Кривонос Анатолий Яковлевич

РАЗРАБОТКА ИНСТРУМЕНТОВ, ОСНАЩЕННЫХ
ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНЫМИ ТВЕРДОСПЛАВНЫМИ РЕЗЦАМИ С НАРУЖНОЙ
ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ПЕРЕДНЕЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ ДЛЯ ЧИСТОВОЙ И ПОЛУ-
ЧИСТОВОЙ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

Специальность 05.03.01 - "Процессы и машины обработки
материалов резанием; автоматические линии"

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Челябинск, 1981

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

Научный руководитель - доктор технических наук,
профессор Д.К.МАРГУЛИС.

Официальные оппоненты: доктор технических наук,
профессор Б.А.КРАВЧЕНКО;
кандидат технических наук,
Б.С.ДЕРГАНОВ.

Ведущее предприятие - Челябинский завод
"СТРОИМАШИНА".

Защита диссертации состоится " _____ " _____ 1981 г.
на заседании специализированного совета Д.053.13.02
челябинского политехнического института имени Ленинского
комсомола.

Адрес: 454044, г.Челябинск, пр.им.В.И.Ленина, 76,
ученый совет ЧПИ (конференц-зал).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ЧПИ.

Автореферат разослан " _____ " _____ 1981 г.

Ученый секретарь
специализированного совета
кандидат технических наук,
доцент



Д.Н.СВИРИДОВ



ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность. В условиях развивающегося производства и дефицита инструментального материала весьма актуальными являются вопросы совершенствования конструкции, технологии изготовления металлорежущего инструмента и его рациональной эксплуатации. Для решения задач по повышению производительности и качества процесса чистовой обработки весьма эффективным является применение инструментов, оснащенных твердосплавными резцами с цилиндрической передней поверхностью. Резцы таких инструментов имеют высокотехнологичную геометрическую форму, массивное лезвие, обладают повышенной механической прочностью и большой размерной стойкостью, обусловливаемую как характером износа, так и возможностью использования круговой режущей кромки по всей длине. Все это позволяет производить чистовую и получистовую обработку деталей на увеличенных подачах.

До настоящего времени аналитические и экспериментальные исследования подобных инструментов не проводились и рекомендаций по их применению в производстве, естественно, не было. В связи с изложенным исследование и совершенствование инструментов с цилиндрической передней поверхностью резцов, предназначенных для чистовой и получистовой обработки наружных, внутренних поверхностей вращения и плоскостей деталей с целью повышения эффективности при решении практических задач по обеспечению качества выпускаемых машин и приборов является, на наш взгляд, весьма актуальным.

Цель работы и задачи исследования. Целью настоящей работы является создание высокоэффективных режущих инструментов с оснащенных твердосплавными резцами с цилиндрической передней поверхностью, исследование условий их рационального применения и разработка рекомендаций по режимам резания, обеспечивающих рост производительности, снижение размерного износа и шероховатостей обработанных поверхностей деталей при чистовом и получистовом точении, фрезеровании и строгании некоторых труднообрабатываемых материалов.

Для достижения указанной цели необходимо решить следующие задачи:

- разработать конструкции инструментов с механическим креплением твердосплавных цилиндрических резцов для произвольной

чистой и получистой обработки наружных и внутренних поверхностей вращения и плоскостей;

- разработать общую методику аналитического расчета геометрических параметров лезвия и выявить характер их изменения по контуру рабочего участка режущей кромки для проходных, расточных, строгальных резцов, расточных головок и торцовых фрез;
- определить зависимость для расчета предельно допустимой глубины резания;
- разработать общую методику аналитического расчета микропрофиля и выявить зависимости для вычисления высоты неровностей, верхнего предела подачи и производительности процесса при чистой и получистой обработке наружных, внутренних поверхностей вращения и плоскостей;
- исследовать влияние геометрических параметров и износа лезвия резцов на образование микропрофиля;
- разработать практические рекомендации по применению рассматриваемых инструментов в производстве.

Научная новизна. Выполнены теоретические и экспериментальные исследования инструментов с новой высокотехнологичной формой передней поверхности резцов, позволяющих существенно повысить производительность процесса чистой и получистой обработки деталей из некоторых труднообрабатываемых материалов. Впервые предложена общая методика и получены аналитические зависимости для расчета геометрических параметров рабочей части токарных проходных, расточных, строгальных резцов, расточных головок и торцовых фрез; разработана математическая модель образования этими инструментами микропрофиля и установлена аналитическая зависимость между высотой неровностей обработанных поверхностей, величиной подачи, диаметром резца и его передним углом.

В процессе экспериментальных исследований установлены характер износа по контуру режущей кромки резца, влияние его и геометрических параметров лезвия на образование стабильного микропрофиля.

Разработаны рекомендации по назначению режимов резания, передних углов и условия рационального применения предлагаемых инструментов для чистой и получистой обработки поверхностей деталей в производстве.

Практическая ценность. В результате исследований инструментов, оснащенных твердосплавными резцами с цилиндрической передней поверхностью, подтвердилась возможность их эффективного применения в производственных условиях при чистовой и получистовой обработке точением и торцовым фрезерованием деталей из некоторых труднообрабатываемых материалов. Применение этих инструментов позволило при обеспечении шероховатости обработанных поверхностей в пределах $R_a = 0,63 \dots 2,5$ мкм повысить производительность в 2...3 раза за счет увеличения подач в 2...10 раз и стойкости в 4...6 раз.

Реализация работы. Разработанные инструменты с цилиндрической передней поверхностью твердосплавных резцов и рекомендации по их применению внедрены на челябинских заводах электромашиностроения, "Строумашинна", Троицком станкостроительной и предприятии ЧФ СКТБ "Оргпримтвердосплав" (г.Чирчик). Суммарный экономический эффект от применения этих инструментов составил более 230 тысяч рублей в год.

Апробация работы. Результаты работы доложены:

- 1) на XXX, XXXI, XXXII и XXXIII научно-технических конференциях (ЧПИ, Челябинск, 1977, 1978, 1979, 1980, 1981 гг.);
- 2) на II зональной научно-технической конференции "Качество поверхности и эксплуатационные свойства деталей машин и приборов" (Новосибирск, 1978 г.);
- 3) на научно-техническом семинаре "Обработка материалов резанием" (МДНТИ им.Дзержинского, Москва, 1979 г.);
- 4) на научно-технической конференции "Новейшие достижения в резании, проектировании и изготовлении режущего инструмента" (УИИ; Свердловск, 1980 г.);
- 5) на Всесоюзной научно-технической конференции "Современные пути повышения производительности и точности металлообрабатывающего оборудования и автоматизация технологических процессов в машиностроении" (Москва, 1980 г.).

Публикации. По результатам исследований опубликовано 17 работ, в открытой печати.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, выводов, изложенных на 130 страницах машинописного текста и содержит 52 иллюстрации, 19 таблиц, список литературы из 133 наименований и приложение.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во Введении показаны актуальность темы диссертационной работы, новые результаты, полученные автором, и приведены основные положения, которые выносятся на защиту.

В первой главе на основании анализа работ В.Ф.Боброва, Г.И.Грановского, Е.Г.Конюялова, А.А.Гуревича, Б.С.Дерганова, А.Н.Резникова, И.С.Кушнера, В.А.Сидоренко, А.В.Соусь, И.Л.Ковина и др. показаны достоинства и недостатки в области применения известных способов чистовой и подчистовой обработки твердосплавными инструментами с прямолинейными и криволинейными режущими кромками.

Несмотря на большой объем исследований процесса чистовой и подчистовой обработки деталей из труднообрабатываемых материалов недостаточно выявлены резервы улучшения конструктивной формы и геометрии рабочей части твердосплавных инструментов.

Большое влияние на качество геометрического состояния обработанных поверхностей оказывает интенсивность, величина и характер износа режущей кромки инструментов при точении и фрезеровании. Анализ работ Н.И.Зорева, В.Н.Подураева, А.И.Исаева, А.Д.Макарова и др. показал, что одним из направлений регулирования износа режущей кромки является управление им с помощью геометрических параметров режущей части инструмента. Кроме этого, выявлена реальная возможность повышения производительности процесса резания труднообрабатываемых материалов и уменьшения величины износа за счет применения твердосплавных инструментов с массивным лезвием, криволинейной режущей кромкой с увеличенным радиусом и отрицательным передним углом. Отмеченные тенденции привели к созданию инструментов, оснащенных твердосплавными резцами с цилиндрической передней поверхностью. У таких инструментов, углы режущего клина рабочего тела резца обеспечиваются путем установки его в корпусе с отрицательным передним углом γ_y .

В связи с отсутствием в имеющейся литературе теоретических и экспериментальных исследований подобных инструментов, что затрудняет их применение в производстве, сформулированы цель и задачи настоящего исследования.

Во второй главе рассмотрены конструктивные особенности инструментов с механическим креплением твердосплавных резцов с

цилиндрической передней поверхностью и выполнены аналитические исследования геометрических параметров их лезвия.

Основной конструктивной особенностью исследуемых инструментов является геометрическая форма резца, представляющая собой высокотехнологичное тело – круглый цилиндр. Боковая поверхность цилиндра выполняет функцию передней поверхности, а основание – задней. Пересечение этих поверхностей образует круговую режущую кромку, используемую по всей длине (рис.1) по мере износа рабочего участка, что многократно увеличивает стойкость инструмента между переточками. Резцы в форме круглых цилиндров позволяют провести унификацию рабочих тел для оснащения простых по конструкции, надежных в работе и удобных в эксплуатации различных инструментов (токарных проходных, расточных, строгальных резцов, расточных головок и торцовых фрез).

Рабочая часть резцов изучаемых инструментов по контуру режущей кромки имеет переменные геометрические параметры. С целью оценки работоспособности лезвия получены аналитические зависимости для определения величин передних и задних углов в любой точке режущей кромки в главных T , нормальных T_N и продольных T_P секущих плоскостях (рис.1,2). Анализ полученных зависимостей показал, что наибольших величин достигают передние (по модулю) и задние углы в идентичных точках режущей кромки в главных секущих плоскостях. Поэтому в этих секущих плоскостях передние и задние углы являются определяющими процесс резания.

В главных секущих плоскостях зависимости для определения передних и задних углов по контуру режущей кромки от вершины резца А до граничной точки В (рис.2) в диапазоне угла контакта Ψ имеют следующий вид:

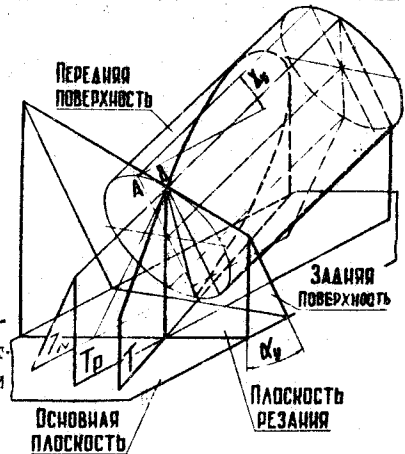


Рис.1. Геометрическое тело резца

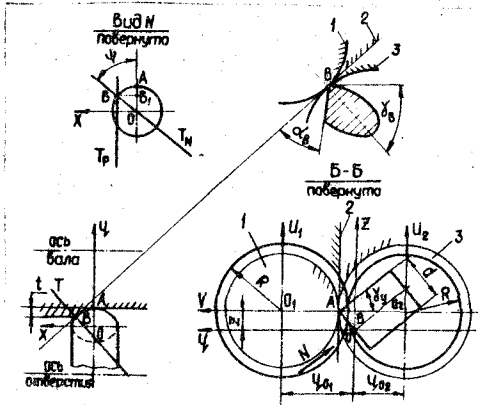


Рис.2. Схема для определения углов γ и α :

- 1 - обтачивание, 2 - обработка плоскостей;
3 - растачивание

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{\operatorname{tg} \delta_y}{\cos^2 \psi \sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \psi \sin^2 \delta_y}} \times$$

$$\times \frac{\frac{2\delta_n \operatorname{tg} \psi}{d} \left[R + t \pm \delta_n (1 - \cos \psi) \right] + \left[R + t \pm \frac{d}{2} \sin \delta_y (1 - \cos \psi) \right] + \frac{d}{2} \cos^2 \psi \frac{\cos \delta_y}{\operatorname{tg} \delta_y} (1 + \operatorname{tg}^2 \psi \sin^2 \delta_y) (1 - \cos \psi)}{\frac{2\delta_n \operatorname{tg} \psi}{d} \left[R + t \pm \delta_n (1 - \cos \psi) \right] + \left[R + t \pm \frac{d}{2} \sin \delta_y (1 - \cos \psi) \right] + \frac{d}{2} \frac{\sin \delta_y}{\cos^2 \psi} (1 - \cos \psi)}$$

или приближенно при $\delta \leq 5\%$

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{\operatorname{tg} \delta_y}{\cos^2 \psi \sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \psi \sin^2 \delta_y}} \left(1 \pm 0,25 \frac{d}{R} \right); \quad (1)$$

$$\operatorname{tg} \alpha = \operatorname{tg} \gamma_y \sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \psi \sin^2 \gamma_y} \times$$

$$\frac{2\delta_n \operatorname{tg} \psi}{d} \left[R \mp t \pm \delta_n (1 - \cos \psi) \right] + \left[R \mp t \pm \frac{d}{2} \sin \gamma_y (1 - \cos \psi) \right] \pm \frac{d}{2} \frac{\cos \gamma_y}{\operatorname{tg} \gamma_y} (1 - \cos \psi)$$

$$\frac{2\delta_n \operatorname{tg} \psi}{d} \left[R \mp t \pm \delta_n (1 - \cos \psi) \right] + \left[R \mp t \pm \frac{d}{2} \sin \gamma_y (1 - \cos \psi) \right] \mp \frac{d}{2} \sin \gamma_y (1 + \operatorname{tg}^2 \psi \sin^2 \gamma_y) (1 - \cos \psi)$$

или приближенно при $\delta \leq 2,5\%$

$$\operatorname{tg} \alpha = \operatorname{tg} \gamma_y \sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \psi \sin^2 \gamma_y} \left(1 \pm 0,1 \frac{d}{R} \right). \quad (2)$$

Верхние знаки в формулах принимаются при вычислении углов для обработки наружных поверхностей вращения, нижние - для обработки внутренних, а без последнего множителя - для обработки плоскостей.

Зависимости для определения кинематических задних и передних углов в главных секущих плоскостях имеют вид:

$$\cos \alpha_k = \sqrt{\frac{4\pi^2 R^2 + S^2 \sin^2 \psi}{4\pi^2 R^2 + S^2}} \cos \left[\alpha - \arctg \left(\frac{S}{2\pi R} \sin \psi \right) \right] \quad (3)$$

$$\gamma_k = \gamma + \alpha - \alpha_k \quad (4)$$

Анализ формул (1, 2, 3 и 4) позволил установить характер изменения задних и передних углов по контуру рабочего участка режущей кромки (рис. 3). При этом соблюдаются следующие соотношения:

$$\alpha_k < \alpha; \quad |\gamma_k| < \gamma;$$

$$\Delta\alpha_i^j = \Delta\gamma_i^j; \quad \frac{\Delta\alpha_i^j}{\alpha_{i_k}} < 0,015; \quad \frac{\Delta\gamma_i^j}{\gamma_{i_k}} < 0,015. \quad (5)$$

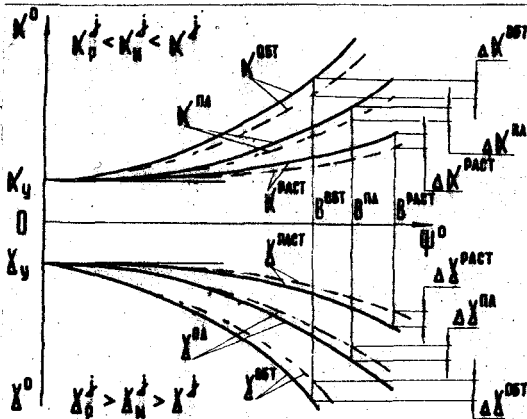


Рис.3. Графики характера изменения углов γ и α в системе координат:
 ———— статической;
 - - - - кинематической

Здесь i — индекс секущей плоскости; j — индекс вида обработки (обт — обтачивание, пл — торцовое фрезерование, раст — растачивание).

Резцы с цилиндрической передней поверхностью имеют переменные значения углов в плане φ , φ_1 и наклона главной режущей кромки λ (рис.4). Зависимости для вычисления этих углов в каждой точке режущей кромки имеют вид:

$$\varphi, \varphi_1 = \arctg \left[\frac{2 \sin \gamma_y}{d \sin \gamma_y - 2t} \sqrt{t(d \sin \gamma_y - t)} \right]; \quad (6)$$

$$\lambda = -\arctg \left[\frac{2 \cos \gamma_y}{d \sin \gamma_y - 2t} \sqrt{t(d \sin \gamma_y - t)} \right]. \quad (7)$$

Вследствие симметричности лезвия резца зависимость для определения главного φ и вспомогательного φ_1 углов в плане одна и та же. Угол наклона главной режущей кромки имеет только отрицательные значения, так как вершина резца является всегда высшей ее точкой.

Таким образом, углы γ , α , φ , φ_1 и λ в каждой точке режущей кромки различны. Их величины зависят от удаленности рассматриваемой точки относительно вершины резца, т.е. угла контакта φ или глубины резания t . Поэтому геометрические параметры лезвия резца накладывают ограничение на величину назначаемой глубины резания. Допустимую глубину резания можно определить по формуле

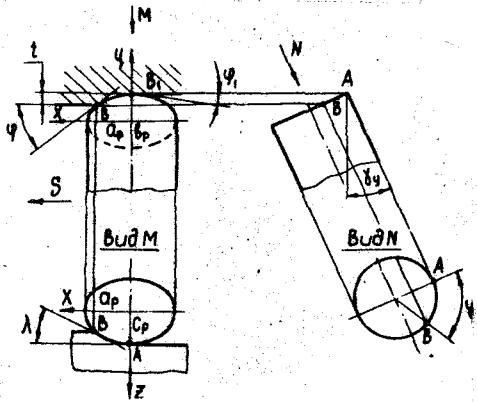


Рис. 4. Схема для определения углов φ , φ_1 и λ

$$t = \frac{d \sin \gamma_y (1 - \cos \varphi)}{2} \pm \frac{d^2 \cos^2 \gamma_y (1 - \cos \varphi)^2}{4 [R + \sqrt{R^2 - d^2 \cos^2 \gamma_y (1 - \cos \varphi)^2}]}, \quad (6)$$

в которой "+" принимается для обтачивания, "-" - для растачивания, а одно первое слагаемое - для обработки плоскостей. Экспериментами установлено, что наибольшее влияние на стойкость лезвия и процесс резания оказывает передний угол. При назначении глубины резания необходимо стремиться к тому, чтобы этот угол не выходил за пределы допустимых величин в граничной точке контакта режущей кромки с обрабатываемым материалом.

Третья глава посвящена исследованиям кинематики формообразования микрорельефа при обтачивании, растачивании, торисвом фрезеровании и строгании инструментами, оснащенными резцами с цилиндрической передней поверхностью (рис. 5).

Характерной особенностью рассматриваемых инструментов является постоянство геометрических параметров после переточек. Это объясняется тем, что заточка резцов осуществляется только по задней поверхности (без изменения диаметра). Кроме того, экспериментальные исследования показали, что в зоне вершины резца,

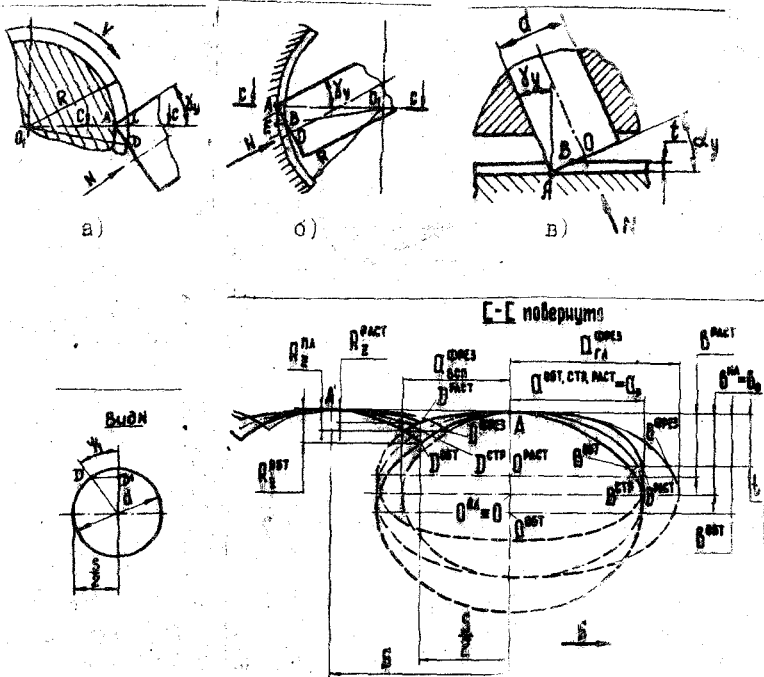


Рис.5. Схемы для определения микропрофиля при обтачивании (а), растачивании (б), торцовом фрезеровании и строгании (в)

формирующей микрорельеф, происходит минимальный износ, вследствие чего обеспечивается получение стабильного микропрофиля.

Одним из важных показателей микропрофиля является высота микронеровностей обработанных поверхностей. Ее теоретическое определение необходимо для решения задачи по ограничению верхнего предела подачи, исходя из заданной шероховатости поверхностей деталей. Чистовая обработка деталей машин рассматриваемыми инструментами производится на увеличенных подачах. Такая возможность объясняется тем, что образование микропрофиля происходит круговой режущей кромкой резца, проекция которой в сечении контура поперечных шероховатостей принимает форму эллипса. На обработанной поверхности остаются гребешки, высота которых зависит

как от величина подачи, так и от геометрических параметров лезвия d и δ .

Теоретическая высота микронеровностей определяется как ордината при пересечении двух эллипсов, смещенных на величину подачи S (см.рис.5):

$$R_{z_{расч}} = \frac{S^2 \sin \delta_y}{2d(1+\sqrt{1-S^2/d^2})} \pm \frac{S^4 \cos^2 \delta_y / [4d^2(1+\sqrt{1-S^2/d^2})]}{R+\sqrt{R^2-S^4 \cos^2 \delta_y / [4d^2(1+\sqrt{1-S^2/d^2})^2]}} \quad (9)$$

Знак "+" принимается при обтачивании, "-" - при растачивании, а одно первое слагаемое - при обработке плоскостей. При анализе формулы (9) на ЭВМ установлено, что с достаточной степенью точности ($\delta = 1\%$) для всех видов обработки в расчетах можно использовать только одно первое слагаемое. Из выражения (9) с учетом поправки формула для определения величины верхнего предела подачи имеет следующий вид:

$$S \leq 2\sqrt{\frac{R_z}{\sin \delta_y} \left(d - \frac{R_z}{\sin \delta_y}\right) / \epsilon} \quad (10)$$

где ϵ - коэффициент, учитывающий отношение действительной высоты неровности к ее расчетному значению.

Оценка геометрического состояния обработанных поверхностей не только по шероховатости, но и по микропрофилю, как показали исследования Шнейдера Ю.Г. и Голубева Ю.М., более полно отражает эксплуатационные свойства деталей машин. С этой точки зрения, образование стабильного микропрофиля резцами с цилиндрической передней поверхностью предполагает повышение долговечности и надежности их работы.

Геометрическая форма микрорельефа, образованного лезвием исследуемого инструмента, не является точной копией режущей кромки, так как микропрофиль рассматривается в плоскости контроля поперечной шероховатости, а режущая кромка не лежит в данной плоскости. Геометрическая линия микропрофиля при точении и торцовом фрезеровании отливается от геометрической линии проекции режущей кромки на основную плоскость (см.рис.5).

Выражение для определения полуосей геометрической линии микропрофиля при точении имеет вид

$$\left\{ \begin{array}{l} a_n = \frac{d}{2} \\ b_n = \frac{d}{2} \sin \gamma_y \pm \frac{S^2 \cos^2 \gamma_y / [2d(1 + \sqrt{1 - S^2/d^2})]}{R + \sqrt{R^2 - S^4 \cos^2 \gamma_y / [4d^2(1 + \sqrt{1 - S^2/d^2})^2]}} \end{array} \right. \quad (II)$$

Здесь "+" принимается при обтачивании, "-" - при растачивании.

Искажение геометрической линии микропрофиля при торцовом фрезеровании происходит только по оси X, поэтому для расчета величин полуосей - главной a_n и вспомогательной a_{n1} , применяют различные выражения:

$$\left\{ \begin{array}{l} a_n, a_{n1} = \frac{d}{2} \pm \frac{S^3 \cos^2 \gamma_y / [2d(1 + \sqrt{1 - S^2/d^2})]}{(2R_\phi \pm S) + \sqrt{(2R_\phi \pm S)^2 + S^4 \cos^2 \gamma_y / [d^2(1 + \sqrt{1 - S^2/d^2})^2]}}; \\ b_n = \frac{d}{2} \sin \gamma_y ; \end{array} \right. \quad (12)$$

где верхние знаки соответствуют главной полуоси, а нижние - вспомогательной; R_ϕ - радиус фрезы по вершинам резцов. Наибольшее влияние на образуемый микропрофиль оказывают параметры γ_y , d и S , рациональные значения которых определены в четвертой и пятой главах.

В третьей главе рассматривается также вопрос о повышении производительности процесса резания по съему металла за единицу времени. Достаточно большой диаметр круговой режущей кромки, высокая механическая прочность резцов рассматриваемых инструментов позволяют устанавливать подачи, увеличенные в 2...10 раз по сравнению с подачами, применяемыми для стандартных и широко-известных инструментов. Все это приводит к значительному увеличению площади поперечного сечения среза и повышению производительности процесса резания при чистовой и получистовой обработке деталей.

Площадь поперечного сечения среза (рис.6)

$$F = \int_{x_H}^{x_B} f_1(x) dx + \int_{x_B}^{x_D} f_2(x) dx. \quad (13)$$

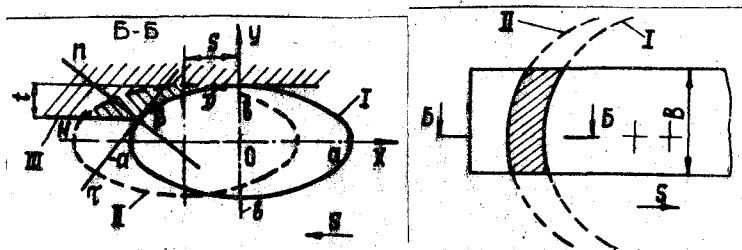


Рис.6. Схемы для определения площади поперечного сечения среза

Производительность процесса резания при точении и торцовом фрезеровании и строгании рассчитывают по формулам:

$$Q_T = 2\pi n F z_c; \quad Q_n = B Z n F, \quad (14)$$

где n - частота вращений шпинделя или двойных ходов в минуту при строгании;

z_c - радиус вращения центра тяжести фигуры

$$z_c = \frac{\iint_F y dx dy}{\iint_F dx dy}. \quad (15)$$

Расчетами установлено, что производительность процесса удаления металла инструментами с цилиндрической передней поверхностью резцов при чистовой и получистовой обработке в 2,5...10 раз выше, чем обычных.

В четвертой главе рассмотрена методика проведения экспериментальных исследований при чистовой обработке коллекторов, якорей малоомощных электрических машин и при торцовом фрезеровании заготовок из стали 33Х2ГСН2М ($\sigma_B \geq 160$ кгс/см²) и чугуна СЧ 21-40 (HB 170...241) инструментом, оснащенным твердосплавными резцами с цилиндрической передней поверхностью.

Износ резцов контролировался по трем параметрам: в зоне граничной точки режущей кромки с обрабатываемым материалом, в зоне вершины лезвия с использованием микроскопа к прибору Виккерса и радиальный (при фрезеровании – торцовый) при помощи индикаторного прибора. Шероховатость обработанных поверхностей определялась на профилометре-профилографе модели 201 завода "Калибр".

Для установления зависимостей износа $h = f(\gamma_y)$ и $h = f(V, S, T)$ при тчении и торцовом фрезеровании спланированы эксперименты, соответственно, однофакторный и трехфакторный ПФЭ³. Полученные при этом экспериментальные зависимости были использованы для разработки математической модели с целью расчета рациональных условий работы исследуемых инструментов. Эта модель позволяет (при условии минимального расхода твердого сплава, достижения максимальной производительности и обеспечения заданных шероховатости и точности размеров) определить следующие рациональные параметры: скорость резания V , подачу S , период стойкости T и диаметр резца d . Критерием для определения названных параметров принят экономический эффект, отнесенный к единице готовой продукции при работе одним резцом (комплексом резцов для многолезвийных инструментов) до полного его износа. Максимальный экономический эффект достигается за счет сокращения затрат на изготовление и эксплуатацию нового инструмента со сравняваемым, т.е. должно соблюдаться условие

$$Z_{iH} + Z_{2H} + Z_{3H} = Z_H \text{ руб.} = \min. \quad (16)$$

Здесь Z_{iH} – затраты по новому инструменту, учитывающие рациональный расход твердого сплава, повышение производительности за счет уменьшения машинного времени и увеличения размерной стойкости инструмента, снижения трудоемкости заточки и доводки резцов.

В результате математической обработки экспериментальных и некоторых нормативных данных получено:

$$Z_H = \frac{A}{V} \left\{ \frac{B}{dT} \left[F(h_B + \Delta h)(d^2 + y) + 1 \right] + \frac{1}{S_z} \right\}; \quad h_B = f(V, S_z, T). \quad (17)$$

Для выделения существования экстремума (минимума) определяются частные производные функции (17):

$$\frac{\partial Z_H}{\partial V} = 0; \quad \frac{\partial Z_H}{\partial S_z} = 0; \quad \frac{\partial Z_H}{\partial T} = 0; \quad \frac{\partial Z_H}{\partial d} = 0, \quad (18)$$

$$\left. \begin{aligned} V &= \frac{1}{b_1}(\delta - U - b_0 - b_2 T); \quad S_z = 2 \sqrt{\frac{R_z}{\varepsilon \sin \chi_y}} \sqrt{\frac{P_1^2}{4} + q_1 \frac{P_1}{2}}; \\ T &= \frac{B F a_1 S_z^2}{d} (d^2 + y); \quad d = \frac{10^3 S_z^2 \sin \chi_y}{4 R_z} \varepsilon; \end{aligned} \right\} (19)$$

где

$$\left. \begin{aligned} A &= \frac{\pi D L_{p.x} \chi_{об}}{6 \cdot 10^4 Z}; \quad B = \frac{375 \chi_3}{\pi \chi_{об}} \sqrt{\frac{10 t \varepsilon}{R_z}}; \quad F = \frac{10^{-6} \pi C_p \rho}{4 \chi_3}; \\ y &= \frac{4 \eta}{10^{-6} \pi C_p \rho H}; \quad P_1 = \frac{b_1 \varepsilon \sin \chi_y}{4 B F a_1 R_z} \left[\frac{a_0 + \Delta h + a_2 (\delta - U - b_0) / b_1}{a_3 b_1 - a_2 b_2} \right]; \\ q_1 &= y^2 \frac{y b_1 \varepsilon \sin \chi_y}{4 B F a_1 R_z} \left[\frac{a_0 + \Delta h + a_2 / b_1 (\delta - U - b_0)}{a_3 b_1 - a_2 b_2} \right] \left[\frac{b_1 F \sin \chi_y}{4 B F^2 a_1 R_z (a_3 b_1 - a_2 b_2)} \right]; \\ U &= P/G + (\Delta y + e) + 1,2 \sqrt{\Delta \delta_{незав}^2 + \Delta \delta_{нагр}^2}. \end{aligned} \right\} (20)$$

В выражениях (19) и (20) приняты следующие обозначения:

- a_i, b_i — коэффициенты, характеризующие условия обработки;
 δ — допуск на размер; R_z — заданная высота микронеровностей, мкм;
 S_z — подача, мм/зуб (при точении — мм/об); D — диаметр детали (фрезы), мм; $L_{p.x}$ — длина перемещения детали или инструмента в направлении подачи, мм; $\chi_{об}$ — стоимость эксплуатации станка в течение 1 часа работы, руб.; χ_3 — стоимость заточки одного резца, руб.;
 C_p — цена за 1 кг твердого сплава, руб.; ρ — плотность твердого сплава, г/см³; η — доплата за изготовление одного резца (комплекта) из твердого сплава, руб.; H — высота рабочей части резца, мм;
 P — сила резания, кг; G — жесткость системы СПИД, кг/мм;
 Δy — погрешность настройки инструмента, мм; e — эксцентриситет, мм; $\Delta \delta_{незав}$ — составляющая мгновенного рассеивания размеров, не зависящая от нагрузки, мм; $\Delta \delta_{нагр}$ — составляющая мгновенного рассеивания размеров, зависящая от нагрузки, мм.

В пятой главе выполнены экспериментальные исследования и произведена их математическая обработка по чистовому точению коллекторов, якорей электрических машин и торцовому фрезерованию заготовок из чугуна и стали исследуемыми инструментами. В результате математической обработки получены экспериментальные зависимости износа лезвия резцов от переднего угла, скорости резания, подачи и времени работы инструмента, а наибольшее — по передней поверхности в зоне граничной точки режущей кромки. Величина износа в этой зоне определяет количество удаляемого твердого сплава при переточках. Наименьшему износу подвергалось лезвие в зоне вершины резца, формирующей микро рельеф обрабатываемой поверхности. Такой характер затупления лезвия резцов привел к принятию критерия оптимального износа, обеспечивающего наибольший срок службы инструмента при наименьшем расходе твердого сплава.

Установленные экспериментальные зависимости были использованы для расчета рациональных условий работы исследуемых инструментов с помощью математической модели (19). При этом получены следующие результаты:

а) для чистового точения коллекторов и соответственно (якорей) электрических машин: $V = 207$ (175) м/мин,
 $S = 0,34$ (0,59) мм/об, $T = 164$ (93) мин, $d = 4$ (5) мм,
 $h_B = 0,45$ (0,4) мм, $\gamma_y = -10^\circ$ (-10°);

б) для торцового фрезерования заготовок из чугуна HB 170...241 (стали $\sigma_B \geq 160$ кгс/мм²): $V = 200$ (62) м/мин;
 $S_z = 0,4$ (0,25) мм/зуб; $T = 78$ (62) мин, $t = 9$ (9) мм,
 $h_B = 0,4$ (0,4) мм, $\gamma_y = -16^\circ$ (-15°). Полученные результаты позволили установить пригодность математической модели (19) и рекомендовать ее для использования при решении технологических задач в производственных условиях.

Обработка практических расчетов и результатов исследований выполнялась на ЭМ "Няри-К".

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ, ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЯ

1. В результате проведенных исследований получены математические зависимости для расчетов геометрических параметров лезвия инструментов, оснащенных резцами с цилиндрической передней поверхностью, применяемые при обработке наружных, внутренних поверхностей вращения и плоскостей.

2. Анализ характера изменения геометрических параметров на дуге контакта режущей кромки со всеми видами обрабатываемых поверхностей свидетельствует об увеличении углов α , φ , φ_1 и уменьшении γ и λ по контуру от вершины резца.

3. При всех видах обработки режущая кромка изнашивается по всей длине рабочего контура, однако наибольший износ лезвия имеет место по передней поверхности в граничной точке режущей кромки с обрабатываемым материалом, а наименьший — в зоне вершины резца.

4. Переточке подвергаются резцы только после износа режущей кромки по всей длине, что в 4...6 раз увеличивает стойкость инструментов по сравнению с широко известными. Количество удаляемого твердого сплава при переточке определяется величиной износа лезвия по передней поверхности в зоне граничной точки.

5. Цилиндрические резцы затачиваются только по задней поверхности (торцу) без изменения диаметра, что обеспечивает получение стабильных геометрических параметров при одинаковых настройках и создает предпосылки для конструирования равнопрочных, равностойких инструментов.

6. Получены математические зависимости для инженерных расчетов допустимых глубин резания при точении, торцовом фрезеровании и строгании.

7. На основании исследования кинематики формообразования поверхностей установлены математические зависимости образования микропрофиля при чистовом точении и обработке плоскостей. Выведены формулы для инженерных расчетов шероховатостей обработанных поверхностей и верхнего предела подачи при обтачивании, растачивании, торцовом фрезеровании и строгании.

8. Теоретическим анализом и экспериментально установлено, что производительность процесса по съему металла за единицу времени и до затупления резцов разработанными инструментами в 2,5... 5 раз выше по сравнению с обычными.

9. В результате использования круговой режущей кромки, высокой механической прочности лезвия, малого износа в зоне вершины резца и неизменности геометрических параметров после переточек рассматриваемые инструменты обеспечивают получение стабильной шероховатости поверхности $R_a = 0,63 \dots 2,5 \text{ мкм}$ при обработке деталей на увеличенных подачах.

10. На основе математической обработки экспериментальных и некоторых нормативных данных получена математическая модель для определения рациональных параметров V, S, T, d при чистовой и получистовой обработке точением, торцовым фрезерованием и строганием.

11. С помощью математической модели рассчитаны рациональные параметры для чистовой обработки коллекторов, якорей электрических машин, торцового фрезерования заготовок из чугуна (HB 170...240) и стали ($\sigma_B \geq 160 \text{ кгс/мм}^2$). Полученные результаты и проверка их в производственных условиях позволили сделать вывод о пригодности математической модели и рекомендовать ее для решения реальных технологических задач.

Теоретические и экспериментальные исследования, выполненные в настоящей работе, позволили внедрить в производство инструменты, оснащенные твердосплавными резцами с цилиндрической передней поверхностью и рекомендации по их применению с годовым экономическим эффектом по четырем предприятиям в сумме более 230 тыс. рублей в год.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНО В РАБОТАХ:

1. Кривонос А.Я. Повышение производительности чистовой обработки отверстий. - В сб.: Технология машиностроения и проблемы прочности, Томск: Изд-во Томского политехн. ин-та, 1978.
2. Кривонос А.Я. Определение глубины резания при строгании резцами в форме круглых цилиндров. - В сб.: Прогрессивная технология чистовой и отделочной обработки № 211. Челябинск: ЧПИ, 1978.
3. Кривонос А.Я. Чистовая обработка роторов и коллекторов электрических машин. - В сб.: Автоматизация технологических процессов в машиностроении. Свердловск: УИИ, 1978.
4. Кривонос А.Я., Ротермель И.А. Повышение производительности процесса чистового точения. - В сб.: Прогрессивная технология чистовой и отделочной обработки № 211. Челябинск: ЧПИ, 1978.

5. Кривонос А.Я. Расчетные неровности при обработке резцами с цилиндрической передней поверхностью. - Известия вузов. Машиностроение, 1978, № 9.

6. Кривонос А.Я. Расточные головки с резцами в форме круглых цилиндров. - В сб.: Прогрессивная технология чистовой и отделочной обработки № 211. Челябинск: ЧПИ, 1978.

7. Кривонос А.Я. Обеспечение однородной шероховатости поверхности отверстий при растачивании. - В сб.: Тезисы докладов на II зональной научно-технической конференции по качеству поверхности и эксплуатационным свойствам деталей машин и приборов. Новосибирск: Изд-во Новосибирского электротехн. ин-та, 1978.

8. Кривонос А.Я. Влияние геометрических параметров круглых резцов при чистовом точении на качество обработанной поверхности. - В сб.: Прогрессивная технология чистовой и отделочной обработки № 211. Челябинск: ЧПИ, 1978.

9. Кривонос А.Я. Аналитическое исследование геометрических параметров резцов с цилиндрической передней поверхностью. - Известия вузов. Машиностроение, 1979, № 9.

10. Кривонос А.Я. Чистовая обработка коллекторов электрических машин. - В сб.: Обработка материалов резанием. М.; Изд-во МДНТП, 1979.

11. Кривонос А.Я., Кондрашева Т.А. Определение геометрических параметров лезвия строгального резца с круглой передней поверхностью. - В сб.: Прогрессивная технология чистовой и отделочной обработки № 249. Челябинск: ЧПИ, 1980.

12. Кривонос А.Я. Расчетные неровности при чистовом строгании резцами с круглой передней поверхностью. - В сб.: Прогрессивная технология чистовой и отделочной обработки № 249. Челябинск: ЧПИ, 1980.

13. Кривонос А.Я. Ограничение глубины резания геометрическими параметрами лезвия при строгании круглыми резцами. - В сб.: Прогрессивная технология чистовой и отделочной обработки № 249. Челябинск: ЧПИ, 1980.

14. Кривонос А.Я. Исследование геометрических параметров инструментов, оснащенных цилиндрическими резцами. - В сб.: Тезисы докладов на межвузовской научно-технической конференции по новейшим достижениям в резании, проектировании и изготовлении режущего инструмента. Свердловск: УПИ, 1980.

15. Кривонос А.Я. Конструкции инструментов с механическим креплением цилиндрических твердосплавных резцов. - В сб.: Тезисы докладов на межвузовской научно-технической конференции по новейшим достижениям в резании, проектировании и изготовлении режущего инструмента. Свердловск: УПИ, 1980.

16. Кривонос А.Я. Влияние геометрических параметров лезвия круглых резцов торцовых фрез на образование микропрофиля. - В сб.: Тезисы докладов на Всесоюзной научно-технической конференции "Современные пути повышения производительности и точности металлообрабатывающего оборудования и автоматизация технологических процессов в машиностроении". М.: Станкин, 1980.

17. Кривонос А.Я. Торцовая фреза с круглыми резцами. - Машиностроитель, 1981, № 2.

Техн. редактор Миних А.В.

ФБ 21203. Подписано к печати 4/У-81 г. Формат бумаги 60x90 I/16.
Объем I, 25 л. л., I уч. - изд. л. ЧИИ. Тираж 100 экз. Заказ № 199/541.