

11491-137  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СССР ПО НАРОДНОМУ ОБРАЗОВАНИЮ

МОСКОВСКИЙ ОРДЕНА ЛЕНИНА, ОРДЕНА ОКТЯБРЬСКОЙ РЕВОЛЮЦИИ И  
ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМ. Н. Э. БАУМАНА

---

На правах рукописи

УДК 621.9.013: 681.52

Фролов Михаил Владимирович

РАЗРАБОТКА МЕТОДИЧЕСКОГО И МАТЕМАТИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ  
САПР И ОПТИМИЗАЦИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ РЕЗЦОВ  
С МЕХАНИЧЕСКИМ КРЕПЛЕНИЕМ СМЕННЫХ МНОГОГРАННЫХ ПЛАСТИН

Специальность 05.03.01 - Процессы механической и  
физико-технической обработки, станки и инструменты

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Москва - 1990 г.

МТУ

Работа выполнена в Московском ордена Ленина, ордена  
Октябрьской Революции и Ордена Трудового Красного Знамени  
государственном техническом университете им. Н. Э. Баумана

Научный руководитель - кандидат технических наук, профессор  
ПОПОВ С. А.

Официальные оппоненты - доктор технических наук, профессор  
ЮЛИКОВ М. И.

- кандидат технических наук  
ИПАТОВ Н. С.

Ведущая организация - НИО ВНИИинструмент

Защита состоится "25" 06 1990 года на заседании

спе  
т  
Московском государс-  
Э. Баумана по адресу:  
ом 5.

библиотеке МТУ им.

мпляре, заверенн  
есу.

1990 г.

НТБ МТУ им. Н. Э. Баумана



1491157

Фролов М. В. Разработка мето

М 491 1594

Р. К. МЕЩЕРЯКОВ

п. л. Тираж 100 экз.  
ия МТУ им. Н. Э. Баумана

Справка N 577

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Основными направлениями экономического и социального развития СССР до 2000 года предусматривается широкое применение высокопроизводительных, ресурсосберегающих технологий. Важнейшей задачей является ускорение научно-технического прогресса путем комплексной механизации и автоматизации производства, что достигается в машиностроении за счет увеличения удельного веса автоматизированного оборудования, в том числе ГАП и станков с ЧПУ. Эффективная эксплуатация этого оборудования невозможна без создания совершенной инструментальной оснастки, обладающей повышенной надежностью, обеспечивающей экономичное, трудосберегающее использование прогрессивной техники, что обуславливает все более возрастающую роль инструмента, среди которого доля токарного инструмента составляет в среднем более двадцати процентов. Использование в качестве режущих элементов инструмента сменных многогранных пластин (СМП) позволяет гарантировать точность обработки; неизменность геометрических параметров; сократить операцию переточки, а также время на замену инструмента; обеспечить многократную экономию твердого сплава.

М 491157

Одним из основных элементов резцов с механическим креплением СМП являются их геометрические параметры, которые в отличие от перетачиваемых резцов не могут быть получены независимо друг от друга, а определяются формой пластины и ее положением в корпусе инструмента. Выбор геометрических параметров должен обеспечивать максимальную стойкость инструмента в заданных условиях обработки. В настоящее время отсутствуют критерии и рекомендации по выбору оптимального сочетания геометрических параметров при проектировании специального инструмента, а также оценки качества или определения областей применения стандартного инструмента в заданных условиях обработки. Повышение качества и сокращение сроков проектирования, сокращение количества ИТР достигается за счет использования систем автоматизированного проектирования (САПР).

С целью эффективного осуществления проектирования инструмента с использованием ЭВМ, требуется создание соответствующих методик и математических моделей, основой которых должны являться основные закономерности взаимодействия инструмента с обрабатываемым материалом.

Целью работы является разработка методик, моделей и алгоритмов расчетов, позволяющих произвести научно-обоснованное назначение геометрических параметров резцов с механическим креплением СМП, обеспечивающих повышение стойкости, улучшение качества обработанной поверхности, определить параметры ориентации пластины в корпусе инструмента и тем самым обеспечивающих снижение затрат на проектирование и эксплуатацию инструмента.

Методы исследования. В работе использовались основные положения теории резания, элементы матричной алгебры, численных методов и многокритериальной оптимизации. Расчетная часть выполнялась с применением ЭВМ "Электроника 100-25". Экспериментальные исследования проводились на станках модели 1К52 и 1М61П с использованием в основном стандартных приборов и оснастки.

#### Научная новизна.

1. Разработаны алгоритмы, методики и модели расчета геометрических параметров резцов с механическим креплением СМП, а также назначения параметров ориентации СМП в корпусе инструмента.

2. Разработаны математические модели взаимосвязи между зависимыми геометрическими параметрами резца с механическим креплением СМП и параметрами процесса обработки: составляющими силы резания и скоростью износа по задней поверхности.

3. Предложен обобщенный критерий позволяющий: выбрать наилучшее сочетание переднего и заднего углов инструмента, обеспечивающее максимальную стойкость по задней поверхности в заданных условиях обработки; производить оценку или выбор инструмента со стандартной геометрией для заданных условий обработки.

Практическая ценность. На основании проведенных теоретических и экспериментальных исследований:

1. Создан пакет подпрограмм для реализации разработанных алгоритмов расчета, позволяющих: назначить оптимальное сочетание геометрических параметров резцов с механическим креплением СМП, обеспечивающее максимальную стойкость в заданных условиях обработки; обеспечивающих снижение затрат на проектирование и эксплуатацию инструмента.

2. Разработаны методика определения областей применения стандартного инструмента и рекомендации по его использованию, обеспечивающие максимальную стойкость для заданных условий обра-

ботки.

Реализация в промышленности. Пакет прикладных подпрограмм, разработанный на основании предложенных методик моделей и алгоритмов внедрен на ММЮ "Знамя революции" с ожидаемым годовым экономическим эффектом 16680 руб. Результаты исследований внедрены также в виде технических предложений по разработке конструкций державок резцов с механическим креплением СМП на п/я Г-4240.

Реализация в учебном процессе. Материалы диссертационной работы положены в основу учебных пособия и программы расчета на ЭВМ, а также руководства к проведению лабораторной работы "Моделирование силовых зависимостей при точении"; учебной программы расчета на ЭВМ геометрических параметров инструмента в кинематической системе координат. Пособия и программы используются для обучения студентов по курсам "Спецглавы физики резания" и "Основы формообразования" в МГТУ им. Н.Э.Баумана.

Результаты работы внедрены также в лабораторный практикум кафедры "Металлорежущие станки и инструменты" Мариупольского металлургического института.

Апробация работы. Материалы диссертационной работы докладывались и обсуждались на научно-технических семинарах кафедры МГ-1 "Металлорежущие станки" МГТУ им. Н.Э.Баумана в 1987-1990 гг.; на Третьей областной конференции молодых ученых, специалистов, новаторов производства, организаторов НТМ - Запорожье, 1988 г.; научно-практической конференции "Повышение эффективности технологических процессов машиностроительных производств" - Барнаул, 1989 г.; республиканской научно-технической конференции "Прогрессивные методы обработки труднообрабатываемых материалов" - Мариуполь, 1989 г.

Публикации. Основные результаты диссертационной работы изложены в четырех печатных работах и научно-техническом отчете.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, шести глав, основных выводов, списка использованных источников 125 наименований, 7 приложений. Содержит 135 страниц основного машинописного текста, 15 таблиц, 122 рисунка. Общий объем диссертации 289 страниц.

На защиту выносятся:

1. Разработка методического и математического обеспечения

САПР резцов с механическим креплением СМП, включающего методики расчета геометрических параметров резцов с механическим креплением СМП и выбора параметров ориентации пластин в корпусе инструмента.

2. Математические модели выбора оптимального сочетания геометрических параметров по критерию максимальной стойкости.

3. Результаты теоретического анализа разработанных моделей.

4. Результаты экспериментальной проверки разработанных методик и моделей.

5. Результаты внедрения разработанных методик, моделей, алгоритмов и подпрограмм в промышленности и учебном процессе.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность темы диссертационной работы, формулируется научная новизна и приводятся основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе рассматриваются основные элементы структуры и принципы положенные в основу САПР режущего инструмента. Проводится анализ существующих конструкций механизмов крепления СМП по жесткости, точности базирования СМП, экономичности использования твердого сплава, широте номенклатуры применяемых пластин и др. Анализируются области применения различных механизмов крепления и пластин различной формы. Анализ работ по данной проблеме позволил сформулировать основные технические требования к элементам резца с механическим креплением СМП: форма передней поверхности и режущей кромки пластины должны обеспечивать надежное стружкодробление и стружкозавивание; конструкция узла крепления - наибольшую жесткость в заданных условиях обработки, требуемую точность при повороте и смене пластины; геометрические параметры - наибольшую стойкость.

Проведенный обзор показывает, что конструкцию узла крепления и форму пластины наиболее целесообразно выбирать путем решения задачи типа "поиск" с применением таблиц соответствия. В частности, в условиях тонкой и чистовой обработки наилучшими показателями обладают конструкции в которых крепление производится

винтом через отверстие либо прихватом сверху, а при черновой обработке - рычагом через отверстие.

Проанализированы методики назначения рациональных геометрических параметров. Эти методики разработаны для перетачиваемого инструмента и не учитывают специфику инструмента, оснащенного СМП, а именно взаимозависимость геометрических параметров. Здесь же показано, что выбор оптимального сочетания геометрических параметров является значительным резервом повышения стойкости инструмента, в то же время в литературе отсутствуют четкие рекомендации по его выбору с учетом условий обработки.

Анализ методик расчета геометрических параметров резцов с механическим креплением СМП показывает, что в большинстве случаев они носят частный или упрощенный характер, в них отсутствуют указания на выбор приоритетов тех или иных геометрических параметров, а также возможность производить расчеты в кинематической системе координат.

Проведен анализ различных моделей процесса резания, учитывающих как геометрические параметры режущей части, так и условия обработки. Показано, что при использовании физических моделей, описывающих основные закономерности процесса резания, возникают значительные трудности при определении некоторых параметров входящих в них. В отличие от физических моделей, в моделях построенных на основе теории размерностей и подобия используются стандартные физико-механические и теплофизические характеристики обрабатываемого и инструментального материалов. Они требуют минимального числа экспериментов, либо вообще не требуют их для своего использования. Одной из основных теоретических величин, позволяющей определить другие параметры, является угол наклона условной плоскости сдвига  $\Phi$ . Для определения тангенса этого угла использовано критериальное уравнение проф. Силина С.С.:

$$B_T = \frac{m P_e \eta}{F \epsilon D P (1 - \sin \chi)^4} \quad (1)$$

Здесь:  $P_e = V a_1 / a$ ,  $F = \lambda_p \beta_0 \epsilon_0 / \lambda$ ,  $D = a_1 / b_1$ ,

где  $V$  - скорость резания, м/с;  $a_1$ ,  $b_1$  - соответственно толщина и ширина срезаемого слоя, м;  $a$  - коэффициент температуропроводности, м<sup>2</sup>/с;  $\lambda_p$ ,  $\lambda$  - коэффициенты теплопроводности инструментального и обрабатываемого материалов соответственно, Вт/(м·К);

$\beta_0$  - угол заострения резца, рад;  $\varepsilon_0$  - угол при вершине резца, рад;  
 $\gamma$  - передний угол резца.

Выполненное в работе сравнение результатов расчетов по формуле (1) с экспериментальными данными, полученными различными авторами (В. Ф. Бобров, М. Ф. Полетика, Oxley P. L., Н. Н. Зорев и др.) показало, что формула (1) качественно отражает влияние свойств материалов, режимов резания и геометрических параметров на Вт. В ряде случаев целесообразно для более точной количественной характеристики в расчет ввести поправочный коэффициент  $k_B$ :  $B = k_B V_t$ . Сравнение расчетных и экспериментальных данных также позволило уточнить некоторые значения множителя  $m$  и показателей степени в формуле (1):  $\{m, n, k, p, q\} = F(P_e, N_t)$ , где  $N_t = F D^{0.3} (1 - \sin \gamma)^{0.25} / \sqrt{P_e}$ .

Проанализированы ограничения, накладываемые на геометрические параметры. Так, в частности, показано, что предпочтительным значением угла наклона главной режущей кромки  $\lambda$  является то, при котором угол схода стружки  $\varphi_c$  равен нулю. Однако его значение, в то же время, не должно превышать  $6^\circ$ :

$$\begin{cases} \lambda_{\max} = \lambda & \text{при } \varphi_c = 0 \\ |\lambda| < 6^\circ \end{cases} \quad (2)$$

Эти ограничения обеспечивают непопадание стружки на обработанную поверхность, что предохраняет ее от царапин и повреждений, незначительное изменение сил и температур резания, а также равномерную нагрузку на режущую кромку.

На основании проведенного анализа были сформулированы цель и задачи исследования.

Вторая глава посвящена разработке методик расчета геометрии и выбора параметров ориентации пластины в корпусе резца с механическим креплением СМП.

Геометрические элементы пластины задаются ее передним углом  $\gamma_0$ , задним углом  $\alpha_0$ , углом наклона главной режущей кромки  $\lambda_0$  и углом при вершине  $\varepsilon_0$ . Исходя из этих параметров задаются уравнения передних и задних (главных и вспомогательных) поверхностей, главной и вспомогательной режущих кромок. Положение пластины задается тремя параметрами ориентации:  $\nu$ ,  $\tau$  и  $\theta$ , что позволяет получить независимо друг от друга главный угол в плане  $\varphi$  и пару других геометрических параметров ( $\alpha - \alpha'$ ,  $\alpha - \lambda$ ,  $\lambda - \alpha'$  и др.). Преобразование координат при повороте пластины описы-

вается двумя матрицами:

$$A_0 = \begin{pmatrix} \cos \nu & \sin \nu & 0 \\ -\sin \nu & \cos \nu & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad A = \begin{pmatrix} \ell_1 & m_1 & n_1 \\ \ell_2 & m_2 & n_2 \\ \ell_3 & m_3 & n_3 \end{pmatrix}, \quad (3)$$

здесь  $\ell_i = f\ell_i(\tau, \theta)$ ,  $m_i = fm_i(\tau, \theta)$ ,  $n_i = fn_i(\tau, \theta)$ .

Уравнения координатных плоскостей в инструментальной системе координат задаются в соответствии с определениями ГОСТ 25762-83 "Обработка резанием. Термины, определения и основные понятия".

Предусмотрена возможность замены плоской передней поверхности участком цилиндрической (в случае прямолинейной режущей кромки) или тороидальной (в случае криволинейной режущей кромки) поверхности.

Преобразование координат из инструментальной системы в статическую или кинематическую описывается матрицами  $A_s$  и  $A_k$ . При этом предусматривается возможность расчетов в кинематической системе координат в случае обработки криволинейных поверхностей.

Геометрические параметры инструмента определяются как углы между соответствующими плоскостями также в соответствии с определениями ГОСТ 25762-83.

Решать обратную задачу по предложенной методике, т.е. определять параметры ориентации, обеспечивающие получение заданной геометрии, наиболее целесообразно численным методом путем минимизации целевой функции вида:

$$F(a_1, a_2) = (a_1 - b_1)^2 + (a_2 - b_2)^2 \rightarrow 0, \quad (4)$$

где  $a_1, a_2$  - фактические значения двух геометрических параметров при некоторых значениях  $\tau$  и  $\theta$ ;  $b_1, b_2$  - требуемые значения тех-же геометрических параметров.

При этом производится выбор соотношения между передним и задним углами, связанными зависимостью:

$$\gamma = \alpha_0 + \gamma_0 - \alpha \quad (5)$$

а также между углом наклона главной режущей кромки и вспомогательным задним углом  $\alpha'$  с учетом ограничений накладываемых на

углы, и в частности ограничения (2).

Здесь же приводится сравнение экспериментальных и теоретических зависимостей, предложенных Н. Н. Зоревым и В. Ф. Бобровым, угла схода стружки  $\varphi_c$  от подачи, глубины резания и угла  $\lambda$ .

Геометрические параметры реза снабженного пластиной с радиусом при вершине  $r$  в различных точках радиусного участка режущей кромки имеют различные значения. Переменной является также и толщина срезаемого слоя. Для проведения расчетов в этом случае, особенно при малых глубинах резания, рядом авторов (С. Bus, Degner W. и др.) предлагается пользоваться величиной средней или эквивалентной толщины срезаемого слоя:

$$a_m = A_m / b_m, \quad (6)$$

где  $A_m$  - площадь срезаемого слоя,  $b_m$  - ширина срезаемого слоя. Исходя из этого понятия может быть получена величина эквивалентного угла в плане  $\varphi_m$ , определяющего расчетное сечение в котором толщина срезаемого слоя равна средней и где следует задавать все геометрические параметры:

$$\varphi_m \approx \arcsin(a_m / S) = \arcsin(t / b_m), \quad (7)$$

где  $S$  - подача, мм/об;  $t$  - глубина резания, мм.

Определение аналогичного угла для вспомогательной режущей кромки позволяет заменить резец с радиусом при вершине эквивалентным резцом с острой вершиной. На основании этого были предложены зависимости для определения параметров срезаемого слоя и геометрических параметров инструмента, являющиеся наиболее общими.

Разработаны алгоритмы для реализации предложенных методик и моделей.

В третьей главе производится выбор и обоснование критериев оптимизации геометрических параметров. В качестве критериев выбраны главная составляющая силы резания  $P_z$ , характеризующая процесс резания с точки зрения его энергетики и скорость износа по задней поверхности. Для оптимизации геометрии по составляющей  $P_z$  предложено использовать зависимость:

$$P_z = \tau_\phi A_m (1 + 1/B) + N/\mu, \quad (8)$$

где  $\tau_\phi$  - сопротивление обрабатываемого материала пластическо-

му движению, МПа;  $N$  - нормальная сила, действующая на заднюю поверхность, Н;  $\mu$  - коэффициент трения на задней поверхности. Для силы  $N$ , действующей на заднюю поверхность неизношенного резца получена зависимость:

$$N = H_y E \sqrt{b_m H_y / (\kappa \sin \alpha)} / (1 - \sigma^2), \quad (9)$$

где  $E$  - модуль упругости, МПа;  $\sigma$  - коэффициент Пуассона;  $H_y$  - величина упругого оттеснения обрабатываемого материала вследствие наличия радиуса округления режущей кромки  $\rho_0$ . Для расчета составляющих  $P_x$  и  $P_y$  предложено использовать зависимости:

$$P_x = [\tau \varphi A_m (1/B - 1) + N] \sin \varphi_m, \quad (10)$$

$$P_y = [\tau \varphi A_m (1/B - 1) + N] \cos \varphi_m. \quad (11)$$

Для оптимизации по скорости износа по задней поверхности был получен критерий, качественно отражающий влияние геометрии на скорость износа, соответствующего участку нормального износа:

$$H_h = K_n^{q/2} / R, \quad (12)$$

здесь  $R = \sin \alpha \sin(\alpha + \beta_0) / \sin \beta_0$ ,  $K_n$  - параметр определяющий влияние переднего угла на температуру задней поверхности.

Показатель степени  $q$  определяется как:  $q = 1/(n \cdot \epsilon)$ , здесь  $n$  - показатель степени в зависимости Тейлора  $VT^n = C$ , где  $V$  - скорость резания,  $T$  - стойкость,  $C = \text{const}$ . Показатели степени  $x$  и  $\epsilon$  определяют соответственно степень влияния на температуру резания параметра  $K_n$  и скорости резания  $V$ .

В результате анализа литературных данных были получены ориентировочные значения показателя степени  $q$ .

Выражение для параметра  $K_n$  было получено из зависимостей, предложенных А. Н. Резниковым:

$$K_n = b^* \sin \varphi [(1 + 1/B)(\ell_a \sin \gamma) - (1/B - 1) \cos \gamma] / B^{q/2} \quad (13)$$

$$b^* = 1 / (1 + 1,33 \ell_a \sqrt{\sin \varphi / \sqrt{Pe}}), \quad (14)$$

где  $\ell_a$  - коэффициент утолщения стружки:  $\ell_a = (\cos \gamma + B \sin \gamma) / B$ .

Наличие двух критериев оптимизации приводит к необходимости решения задачи многокритериальной оптимизации и поиска обобщен-

ного критерия оптимизации. В качестве такого критерия была выбрана целевая функция в форме линейной свертки Карлина:

$$K = \alpha_P \bar{P}_z + \alpha_H \bar{H}_h, \quad (15)$$

где  $\alpha_P$  и  $\alpha_H$  - весовые коэффициенты, удовлетворяющие условиям:  $\alpha_P > 0$ ,  $\alpha_H > 0$ ,  $\alpha_P + \alpha_H = 1$ ;  $\bar{P}_z$  и  $\bar{H}_h$  - значения критериев, определяемые соотношениями естественной нормализации:

$$\bar{P}_z = (P_z - P_{zmin}) / (P_{zmax} - P_{zmin}) \quad (16)$$

$$\bar{H}_h = (H_h - H_{hmin}) / (H_{hmax} - H_{hmin}), \quad (17)$$

Первоначально было принято допущение о равнозначности критериев, т.е.  $\alpha_P = \alpha_H = 0,5$  и проведено сопоставление расчетных результатов с литературными данными. Как показало сравнение, качественный характер зависимости стойкости инструмента от взаимосвязанных геометрических параметров совпадает с качественным характером функции  $T_1 = 1/K$ , поскольку стойкость определяется не только скоростью износа, но и зависит от величины начального износа, соответствующего участку приработки кривой износа, хрупкого и пластического разрушения режущей кромки.

Здесь же проанализировано влияние режимов на положение экстремумов функций  $P_z$ ,  $H_h$  и  $T_1$ , рассмотрен вопрос о расчете хрупкой прочности пластины, предлагается алгоритм и подпрограмма для оптимизации геометрии по указанным критериям.

В четвертой главе изложены методики проведения экспериментальных исследований, представлена структура и методика получения исходных данных необходимых для проведения расчетов по предложенным моделям.

В качестве основных обрабатываемых материалов, используемых в экспериментальных исследованиях выбраны: электротехническая сталь 2137, нержавеющая сталь 12Х18Н9Т, алюминиевый сплав Д16Т и медь МО6. Экспериментальные работы на таких материалах позволяют оценить применимость предложенных моделей для различных групп обрабатываемых материалов. В качестве инструментальных материалов приняты наиболее распространенные представители двух основных групп твердых сплавов - ВК8 и Т15К6.

Для измерения составляющих силы резания используется резец

с наклеенными на него тензометрическими датчиками. Такой резец позволяет измерить две составляющие силы резания -  $P_x$  и  $P_z$ .

Для измерения температуры резания используется метод естественной термопары. Результаты тарировки различных естественных термопар показали, что связь между термо-ЭДС (ТЭДС) и температурой прямопропорциональная, следовательно степень влияния тех или иных параметров на температуру резания может быть определена по их влиянию на ТЭДС.

Дается описание установки для исследования процесса трения методом физического моделирования, методика и результаты измерения радиуса округления режущей кромки.

Пятая глава посвящена экспериментальной проверке предложенных методик и моделей. Как показали результаты экспериментов, проведенных при обработке сталей 2137 и 12Х18Н9Т, сплава Д16Т, меди МОБ, зависимости для расчета составляющих силы резания как качественно так и количественно отражают влияние на них режимов резания, свойств обрабатываемого материала и положения пластины. С целью проверки возможности применения указанных зависимостей для более широкого диапазона обрабатываемых материалов были получены зависимости  $P_z$  от подачи и скорости резания при обработке молибдена. Как показали исследования, зависимость для  $P_z$  в данном случае может применяться при  $V > 1$  м/с. В ходе исследований также были получены значения коэффициента  $k_v$ .

Оценка величины коэффициента трения на задней поверхности, входящей в формулу для расчета  $P_z$ , для различных пар контактирующих материалов, была произведена методом физического моделирования на установке трения, путем аппроксимации полученных зависимостей уравнением вида:

$$\mu = C \mu p_m^{-a} V^b \exp(-cV) \quad , \quad (18)$$

где  $p_m$  - среднее давление на контактирующих поверхностях, МПа; а также методом экстраполяции на нулевую толщину срезаемого слоя. Методом экстраполяции оценивалась и величина нормальной силы  $N$ :

$$\text{при } A_m = 0: \quad \mu = P_{z0} \sin \varphi_m / P_{x0}, \quad N = P_{x0} / \sin \varphi_m. \quad (19)$$

Были проведены также исследования по влиянию положения пластины на шероховатость обработанной поверхности.

Для оценки модели качественного влияния геометрических параметров на скорость износа по задней поверхности были получены зависимости ТЭДС от скорости резания, переднего угла и критерия Кп. Обработка результатов экспериментов позволила получить значения показателей  $x$ ,  $\epsilon$  и  $q$ , входящих в уравнение (12). Так при обработке твердым сплавом ВК8 стали 12Х18Н9Т -  $\epsilon = 0.35$ ,  $x = 0.27$ ,  $q = 14.3$ , а при обработке меди М06 -  $\epsilon = 0.6$ ,  $x = 0.48$ ,  $q = 6.3$ .

По полному факторному эксперименту были проведены исследования влияния заднего и переднего углов на скорость износа по задней поверхности, которая определялась как тангенс угла наклона участка нормального износа кривой износа. С целью выявления раздельного влияния переднего и заднего углов на скорость износа исследования были проведены для случая обработки сталей 2137 и 12Х18Н9Т резацами с напайными пластинами ВК8. Для условий экспериментов были рассчитаны значения функции  $Hh$ . Исходя из предположения, что функция  $Hh$  качественно отражает влияние геометрии на скорость износа, а следовательно:

$$V_i = C \cdot Hh_i, \quad (20)$$

где  $V_i$  - скорость износа, мм/мин;  $C = \text{const}$ , были получены значения коэффициентов  $C$ :

$$C = \frac{\sum_{i=1}^n V_{i3} Hh_i}{\sum_{i=1}^n Hh_i^2}, \quad (21)$$

где  $V_{i3}$  - экспериментальное значение скорости износа, мм/мин.

Сравнение полученных таким образом экспериментальных и расчетных значений, а также проверка адекватности модели по критерию Фишера подтвердили совпадение качественного характера зависимостей скорости износа и функции  $Hh$  от геометрических параметров.

Исследование влияния положения пластины на стойкость инструмента проводилось на сталях 2137 и 12Х18Н9Т, которые обрабатывались резацами с механическим креплением СМП твердого сплава Т15К6. В качестве критерия стойкости был выбран износ по задней поверхности в пределах значений до 0,2...0,3 мм, как при отделочных методах обработки, либо скол режущей кромки, приводящий к выходу инструмента из строя. Резцы оснащались пластиной с  $\epsilon_0 = 80^\circ$  и  $\gamma_0 = 25^\circ$ , их задние углы составляли 5, 7 и 10 градусов. Как показали исследования, при обработке стали 2137 на следующих режи-

мах:  $t=0.15$  мм,  $S=0.09$  мм/об,  $V=2$  м/с, максимальная стойкость наблюдается при  $\alpha = 10^\circ$  и составляет 50 мин. Для сравнения, при  $\alpha = 5^\circ$  -  $T=3$  мин, а при  $\alpha = 7^\circ$  -  $T=40$  мин. Для стали 12X18H9T максимальная стойкость была отмечена при  $\alpha = 7^\circ$  - 45 мин, при  $\alpha = 5^\circ$  она составила 25, а при  $\alpha = 10^\circ$  - 35 мин.

Значение стойкости сравнивалось с величиной функции  $T_1$ . Как показывает сравнение, большему значению стойкости соответствует большее значение  $T_1$ , т.е. функция  $T_1$  качественно отражает влияние геометрических параметров на стойкость инструмента. Отмечена связь между величиной составляющей силы резания  $P_z$  и величиной начального износа  $h_0$ , соответствующего окончанию участка приработки кривой износа.

Разработанная методика может быть использована не только для проектирования инструмента, но и для выбора стандартного инструмента наиболее близкого к оптимальному по своим геометрическим параметрам. Выбор осуществляется исходя из условия:

$$|K_i - K_{min}| \rightarrow \min, \quad (22)$$

где  $K_i$  - значение целевой функции  $K$  для инструмента со стандартной геометрией.

Исходя из условия (22) были получены некоторые области режимов резания применения стандартного инструмента для обработки сталей 2137 и 12X18H9T.

В шестой главе приведены результаты внедрения предложенных методик, моделей и алгоритмов.

Они реализованы в виде пакета прикладных подпрограмм, который был внедрен на ММПО "Знамя революции". Пакет подпрограмм предназначен для расчета и проектирования резцов с механическим креплением трехгранных и четырехгранных пластин без отверстия с креплением прихватом сверху. Пакет осуществляет: выбор пластин из заводской номенклатуры, определение рациональной геометрии, расчет параметров ориентации пластин в корпусе инструмента, выбор элементов крепления и вспомогательных элементов (опорных пластин, прихватов, накладных стружколомов, винтов) из заводской номенклатуры, выбор сечения державки и расчет конструктивных элементов узла крепления и гнезда под пластину.

Представлен расчет ожидаемого экономического эффекта от

внедрения пакета подпрограмм. Экономический эффект складывается из экономии в области проектирования и экономии в области производства и эксплуатации инструмента и составляет 16680 руб в год.

Приведены результаты испытаний предлагаемых методик и моделей в условиях ММПО "Знамя революции" при обработке жаропрочного сплава ЭИ-69, в ходе которых была подтверждена возможность их использования для оптимизации геометрических параметров резцов с механическим креплением СМП по критерию максимальной стойкости. В ходе проведения испытаний было отмечено повышение стойкости за счет оптимизации геометрии на 15...30 процентов по сравнению со стандартным инструментом.

Результаты работы внедрены также в виде техпредложений по разработке конструкций резцов с механическим креплением СМП на п/я Г-4240.

На основании предложенных методик, моделей и алгоритмов расчета геометрических параметров в инструментальной, статической и кинематической системах координат, параметров срезаемого слоя и составляющих силы резания были составлены учебное пособие и руководство к проведению лабораторных работ "Моделирование силовых зависимостей при точении", программы расчета на ЭВМ составляющих силы резания и геометрических параметров инструмента в кинематической системе координат, используемые для проведения лабораторных работ и практических занятий по курсам "Спецглавы физики резания" и "Основы формообразования" в МГТУ им. Н.Э. Баумана. Результаты работы внедрены также в лабораторный практикум кафедры "Металлорежущие станки и инструменты" Мариупольского металлургического института.

#### ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Дано решение актуальной научной и практической задачи разработки методик, моделей и алгоритмов выбора взаимосвязанных геометрических параметров резцов с механическим креплением СМП на основании: рассмотрения связи между геометрическими параметрами и их влияния на стойкость инструмента; экспериментальной проверки полученных критериев оптимизации; экономического анализа эффективности применения полученных моделей и алгоритмов для проектирования резцов с механическим креплением СМП.

2. Сформулированы основные технические требования к элементам реза с механическим креплением СМП: форма передней поверхности и режущей кромки пластины должны обеспечивать надежное стружкодробление и стружкозавивание; конструкция узла крепления - наибольшую жесткость в заданных условиях обработки и требуемую точность при повороте и смене пластины; геометрические параметры - наибольшую стойкость.

3. Предложены: универсальная методика расчета геометрических параметров резов с механическим креплением СМП и методика назначения наилучшего их сочетания, состоящая в выборе соотношения между главным задним и передним углами, а также между вспомогательным задним углом и углом наклона главной режущей кромки с учетом ограничений накладываемых на эти углы; единые зависимости для определения параметров срезаемого слоя и геометрических параметров при наличии радиуса при вершине пластины.

4. В качестве критериев оптимизации геометрических параметров резов с механическим креплением СМП предложено использовать главную составляющую силы резания  $P_z$ , характеризующую процесс резания с точки зрения его энергетики и скорость износа по задней поверхности. Как показывают результаты экспериментальных исследований, разработанные модели могут быть использованы для количественной и качественной оценки влияния геометрических параметров на составляющую  $P_z$  и скорость износа.

5. В качестве обобщенного критерия оптимизации предложено использовать целевую функцию в форме линейной свертки Карлина функций силы и скорости износа. Сравнение расчетных зависимостей с результатами литературных и экспериментальных данных показывает, что качественный характер зависимости стойкости инструмента от взаимосвязанных геометрических параметров совпадает с качественным характером функции  $T_1$ , обратной свертке функций главной составляющей силы резания  $P_z$  и скорости износа по задней поверхности.

6. Увеличение заднего и уменьшение переднего угла при обработке сталей 2137 и 12Х18Н9Т приводит к повышению шероховатости обработанной поверхности. Аналогичные зависимости для меди МОБ и сплава Д16Т имеют минимум при значении заднего угла близкого к тому, которое обеспечивает минимум составляющей  $P_z$ .

7. Полученные методики, модели и алгоритмы позволяют определить для заданных пластины, обрабатываемого и инструментального материалов оптимальную область режимов резания применения резцов с различной стандартной геометрией, что позволяет снизить их номенклатуру.

8. Реализован пакет прикладных подпрограмм, разработанный на основе предложенных методик, моделей и алгоритмов, позволяющий осуществлять выбор рациональных геометрических параметров инструмента, производить расчет конструктивных элементов корпуса.

9. При внедрении пакета подпрограмм на ММПО "Знамя революции" получен ожидаемый экономический эффект в размере 16680 руб в год. Результаты исследований внедрены в виде технических предложений по разработке конструкций державок резцов с механическим креплением СМП на п/я Р-4240, а также в учебном процессе МГТУ им. Н.Э.Баумана и Мариупольского металлургического института.

Основные положения диссертации опубликованы в работах:

1. Фролов М. В. Расчет геометрических параметров резца с механическим креплением сменных многогранных пластин // Известия ВУЗов. Машиностроение. - 1989. - N 1. - С. 122-125

2. Фролов М. В. Критерии оптимизации геометрических параметров резцов с механическим креплением сменных многогранных пластин // Отделочно-чистовые методы обработки и инструменты автоматизированных производств: Межвузовский сборник. - Барнаул, 1989 - С. 18-20

3. Фролов М. В., Львова Е. В. Расчет параметров процесса резания с глубиной соизмеримой с радиусом при вершине резца // Известия ВУЗов. Машиностроение. - 1989. - N 9. - С. 127-130

4. Фролов М. В. Математическое моделирование при выборе геометрии резцов с механическим креплением сменных многогранных пластин // Прогрессивные методы обработки труднообрабатываемых материалов: Тез. докл. республ. научн. - техн. конф. - Мариуполь, 1989. - С. 109-111

