

М 173739

Министерство высшего и среднего специального образования СССР

Московское
ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени
высшее техническое училище им. Н. Э. Баумана

НА ДОМ
НЕ ВЫДАЕТСЯ

КАЗАКОВ В. А.

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖУЩИХ СВОЙСТВ
ТВЕРДОСПЛАВНЫХ РЕЗЦОВ ПРИ ОБРАБОТКЕ
УГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ И СЕРОГО ЧУГУНА

(Специальность 05.171—Теория обработки резанием)

Диссертация написана на русском языке

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Работа выполнена на кафедре «Теория механической обработки и инструментов» Московского высшего технического училища им. Н. Э. Баумана.

Научный руководитель—

канд. техн. наук, доцент Зверев Е. К.

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, профессор Подураев В. Н.

кандидат технических наук, ст. научн. сотрудник Андреев В. Н.

Ведущее предприятие— Всесоюзный научно-исследовательский и проектный институт тугоплавких металлов и твердых сплавов. «ВНИИТС».

Автореферат разослан 1972 г.

Защита диссертации 1972 г.
на заседании ация и
механизация

Отзывы на диссертацию ренные
печатью, прошито 05, 2-я
Бауманская, 5 М.

С диссертацией МВТУ.

Секретарь
кандидат

М 173739

анов

Пятилетний план развития народного хозяйства СССР на 1971-1975 годы предусматривает увеличение выпуска продукции машиностроения и металлообработки в 1,7 раза.

Для успешного решения поставленной задачи большое значение имеет инструментальная оснастка, в которой одним из важнейших элементов является режущий инструмент. От степени его совершенства и качества в значительной степени зависит режим работы, который обеспечивает высокую производительность, возможность автоматизации технологических процессов и низкую себестоимость обработки.

В настоящее время в металлообрабатывающей промышленности резцы, оснащенные пластинками твердого сплава, имеют преобладающее применение (более 80% всего количества резцов).

Поэтому изыскание путей, способствующих совершенствованию конструкции и качества инструментов, при всё возрастающей интенсификации процесса резания, является одним из основных направлений научных исследований в области обработки резанием.

К основным направлениям изыскания путей совершенствования конструкции и качества твердосплавных резцов относятся оптимизация геометрических параметров режущей части для конкретных условий обработки и получение износостойких рабочих поверхностей инструмента в процессе экономически целесообразных методов заточки и доводки.

Диссертация состоит из семи глав, общих выводов и рекомендаций по работе, приложения и списка литературы, на которую имеются ссылки в работе, содержащего 97 названий.

В первой главе дан литературный обзор основных работ по выбору марок твердого сплава, геометрическим параметрам режущей части резцов, способам обработки рабочих поверхностей и методам исследования режущих свойств инструментов.

На основе анализа литературных и производственных данных были намечены следующие основные задачи исследования:

1. Выявить влияние ряда геометрических параметров режущей части резцов на стойкость и скорость резания.
2. Установить рациональные методы заточки и доводки резцов для конкретных условий обработки с учетом стойкостных технологических и экономических показателей.
3. Выявить возможность и целесообразность доводки твердосплав-

ФУНДАМЕНТАЛЬНАЯ

МГУ
им. Н. Я. Баумана
БИБЛИОТЕКА

I

М 173739



ных резцов кругами из кубического нитрида бора (эльбора) и уточнить ряд вопросов по абразивной заточке.

4. Установить влияние марки твердого сплава на стойкость и другие технико-экономические показатели при обработке серого чугуна.

Целью работы является, на основании исследований I...4, получение научно-обоснованных рекомендаций по увеличению стойкости и скорости резания при точении типовых конструкционных материалов резцами, оснащенными твердосплавными пластинками.

В главе второй и приложении описана методика исследования.

В основу методики положено комплексное исследование явлений сопровождающих процесс резания (износ, шероховатость обработанной поверхности, температура, составляющие силу резания и др.).

Решение поставленных основных задач в работе было осуществлено теоретическими и экспериментальными исследованиями и экономическим анализом эффективности принятых методов обработки рабочих поверхностей резца.

В теоретических исследованиях рассмотрены следующие вопросы: оценка режущих свойств резцов по зависимости изменения изношенной массы твердого сплава от длины пути резания; метод планирования экстремальных экспериментов - последовательное симплексное планирование; расчет (формула) возможного количества переточек резца с учетом заточки; допустимая величина (критерий) износа резца с учетом стойкостных, технологических и экономических показателей; измерение (схема) составляющих силы резания с использованием кремниевых тензорезисторов при питании постоянным током; установление и обработка экспериментальных данных - методы математической статистики, тригонометрический ряд Фурье и степенные функции; программа для расчета массы изношенной твердосплавной режущей части резца на электронно-вычислительной машине "М-220" и др.

Экспериментальные исследования включали:

- изучение влияния абразивной, алмазной и эльборовой обработки на радиус округления режущего лезвия и шероховатость рабочих (режущих) поверхностей и лезвий;
- установление режима бездефектной обработки абразивными кругами твердого сплава ТЗ0К4 и доводки различных марок твердого сплава кругами из эльбора;

- проведение микроскопических и рентгеноструктурных исследований рабочих поверхностей резца;
- установление характера зависимости стойкости резцов от значений ряда геометрических параметров режущей части;
- исследование влияния различных методов заточки и доводки на режущие свойства резцов, шероховатость обработанной поверхности, температуру резания и составляющие силу резания;
- микрорентгеноспектральный анализ обработанной поверхности, дна лунки на передней поверхности резца и прирезцовой поверхности стружки;
- установление влияния марки твердого сплава на режущие свойства резцов при обработке серого чугуна и др.

Для комплексного изучения процесса резания при экспериментальных исследованиях была создана установка включающая спроектированные и изготовленные: инструмент — специальный резец, приспособления — универсальную установку для фиксации состояния рабочих поверхностей резца и обработанной поверхности без съема со станка, установку для измерения шероховатости обработанной поверхности непосредственно на станке, транзисторный компенсационный стабилизатор напряжения постоянного тока для питания токарного тензометрического динамометра с кремниевыми тензорезисторами, державки для заточки и доводки пластинок твердого сплава и др.

Приведены обоснование выбора материала заготовки и инструмента, режима резания и условий работы.

В главе третьей приведены данные по обрабатываемым материалам, инструменту, оборудованию, приспособлениям и приборам.

Обрабатываемым материалом для исследований были приняты наиболее распространенные в машиностроении конструкционные материалы: углеродистая сталь марки 45 одной партии ($\sigma_s = 73,1 \dots 74$ кг/мм², НВ203...207) и серый чугун марки СЧ24-44 одной плавки ($\sigma_s = 24,4 \dots 28,6$ кг/мм², НВ229...235). Однородность обрабатываемого материала устанавливалась на основании химических, механических и структурных данных, и в процессе опытов.

Конструкция резца — составной с накладным стружколомателем, разъемным соединением перетачиваемой пластинки твердого сплава марок Т15К6, Т30К4, ВК8 и ВК4, виброгасителем и устройством для фиксации температуры резания. Резцы имели установленные экспери-

ментально геометрические параметры режущей части - α , γ , α_1 , остальные $\varphi = 60^\circ$, $\varphi_1 = 30^\circ$, $\lambda = 0$, $\tau = 0,7$ мм. Для обеспечения идентичности одной марки твердого сплава в состоянии поставки из одной партии был произведен отбор последних по физико-механическим и др. свойствам;^{х)} с последующим контролем их при стойкостных исследованиях.

Приводится характеристика токарного станка модели И-230, заточного станка модели ЗВ642, токарного динамометра, устройство для фиксации износа и шероховатости обработанной поверхности и др..

Разработанная схема измерения составляющих силу резания с питанием постоянным током и использованием кремниевых тензорезисторов позволяет осуществлять бесступенчатое изменение чувствительности тензомостов динамометра, устранить нестабильность положений нулевых отметок гальванометров, обеспечить работу аппаратуры без длительного предварительного нагрева и устранить из схемы усилитель.

Контроль геометрических параметров, качества поверхностей и лезвий после заточки твердосплавных пластинок осуществлялся соответствующими приборами (МБС-2, МИИ-4, МИС-II, "Калибр-201", МИИ-8М и др.).

Устройства, приспособления, приборы и аппаратура прошли соответствующую проверку и тарировку.

В главе четвертой изложены результаты исследования процесса заточки абразивными и алмазными кругами и доводки пастой с карбидом бора, алмазными и эльбор кругами при работе без жидкости и жестком креплении пластинок.

Опыт работы показывает, что заточка абразивными кругами, при обеспечении качества рабочих поверхностей, по сравнению с алмазной заточкой, характеризуется большей трудоемкостью и необходимостью строгого соблюдения рационального режима резания, зависящего от марки твердого сплава. Абразивная заточка при повороте круга относительно затачиваемой поверхности на $1^\circ \dots 1,5^\circ$ и расположении затачиваемой поверхности ниже оси круга, более эффективна и обеспечивает лучшее качество рабочих поверхностей (ше-

х) Исследования проведены во ВНИИТСе.

роховатость, плоскостность и др.). Например, установлено, что стабильную качественную заточку твердосплавных резцов марки ТЗ0К4 обеспечивают только абразивные круги (КЗ940МЗ) на бакелитовой связке при следующем режиме резания: $V = 12$ м/сек; $S_n = 0,10$ мм/дв.х.; $S_{пр} = 1...1,5$ м/мин.

Алмазная заточка, по сравнению с абразивной обеспечивает получение качественных рабочих поверхностей на всех марках твердого сплава, в том числе и на труднообрабатываемых ТЗ0К4 и ВК4.

Доводка рабочих поверхностей твердосплавных резцов обеспечивается широко распространенными методами (пастой с карбидом бора и алмазными кругами), но и возможна кругами из эльбора.

Использование при доводке рабочих поверхностей кругов из эльбора характеризуется высоким классом чистоты — VII и выше, очень высоким удельным расходом эльбора (в 10 и более раз большим по сравнению с синтетическим алмазом) — 15,8...102,5 мг/г в зависимости от марки твердого сплава и низкой производительностью — режим резания: $V = 18$ м/сек; $S_n = 0,005$ мм/дв.х.; $S_{пр} = 1$ м/мин.

Анализ существующих рекомендаций и проведенные эксперименты позволили принять приведенные в табл. I режимы заточки и доводки.

Таблица I

Метод заточки или доводки	Марка твердого сплава	Характеристика круга	Режим работы V м/сек	S_n мм/дв.х.	$S_{пр}$ м/мин
Заточка:					
- абразивная	Т15К6	КЗ940МЗК5	15	0,04	
	ВК8				1...1,5
	ТЗ0К4	КЗ940МЗБ	12	0,10	
	ВК4	КЗ925МЗК5		0,03	
- алмазная	все	АСО100/180 Б1-100%	18	0,025	1...1,5
Доводка:					
- пастой и карбидом бора	все	85%карбида бора зернистостью 3+15% парафина			
- алмазным кругом	все	АСО 50/40Б156-50%	20	0,01	1...1,5
- кругом из эльбора	все	Л80/63КБ-100%	18	0,005	1,0

В главе пятой приведены результаты исследований геометрических параметров режущей части твердосплавных резцов.

Установлено, что зависимость стойкости твердосплавных резцов от параметров α , γ , α_1 , φ_1 , τ носят экстремальный характер.

Оптимальные значения углов α , γ и α_1 установлены на основании экспериментов и уточнений методом последовательного симплексного планирования и приняты следующие: при точении стали - $\alpha = 8^\circ$; $\gamma = 15^\circ$; $\alpha_1 = 5^\circ$ и при - чугуна - $\alpha = 8^\circ$; $\gamma = 5^\circ$; $\alpha_1 = 6^\circ$.

Выявлена зависимость. "Скорость резания - стойкость, вспомогательный угол в плане и радиус при вершине τ ". Зависимость $V = f(T; \varphi_1; \tau)$ может быть выражена следующей формулой:

$$V = \frac{C \tau^\alpha}{T^m \varphi_1^\gamma}, \text{ м/мин}$$

Значения постоянных коэффициентов, показателей степеней и пределы использования приведены в табл. 2.

Таблица 2

Обрабатываемые марки	Марка твердого сплава	Пределы использования	C	α	γ	m
Сталь 45	T15K6	$T \leq 100$ мин	523,9	0,165	0,11	0,29
Чугун серый СТ24-44	BK8	$\tau \leq 3$ мм; $\varphi_1 \geq 10^\circ$	162,7	0,05	0,05	0,17

Отмечено, что при угле $\varphi_1 < 10^\circ$ и $\tau > 3$ мм наблюдаются выборачивания и происходит разрушение или скол лезвия.

Исследование влияния ширины фаски на передней поверхности резца показали, что она должна быть не более величины подачи, дальнейшее увеличение размера фаски приводит к уменьшению стойкости резца и увеличению шероховатости обработанной поверхности.

В главе шестой и приложении приведены результаты исследования влияния методов заточки и доводки на режущие свойства твердосплавных резцов.

Изучение износа резцов в процессе резания позволило константировать, что износ протекает по всем рабочим поверхностям и во многом зависит от находящийся в контакте обрабатываемого и инструментального материала, а также метода заточки и доводки.

Топографии износа, полученные в результате измерений и обработки фотографий изношенной части резцов в процессе экспериментов позволили выявить изменение параметров износа во времени. Так, например, при точении стали твердосплавными резцами марок Т15К6 и Т30К4 на главной задней поверхности резца, кроме площадки износа относительно равной ширины образуется в ее конце клинообразное углубление, развивающееся вследствие локального износа повышенной интенсивности, а - серого чугуна твердосплавными резцами марок ВК8 и ВК4 на задних поверхностях образуются площадки износа с максимальной шириной располагаемой у вершины резца.

Установлено, что зависимости глубины лунки от скорости резания носят экстремальный характер.

Результаты микрорентгеноспектрального анализа (выполнены на микрохиманализаторе MS-46 фирмы "САМЕСА" - Франция)^{х)} показывают, что дно лунки износа передней поверхности резца покрыто обрабатываемым материалом, а на прирезцовой поверхности стружки и на обработанной поверхности имеются частицы твердого сплава размером 1-1,5 мкм. Можно предположить, что преобладающим видом износа твердосплавных резцов является износ истиранием, сопровождающийся адгезией пары материалов, находящихся в контакте, с последующим диспергированием частиц инструментального материала. Исследования^{хх)} поверхностного слоя рабочих поверхностей, обработанных различными методами, показали, что абразивная заточка предопределяет наличие дефектного слоя с искаженной структурой на рабочих поверхностях резца, превышающего на порядок глубину дефектного слоя после алмазной обработки.

Математическая обработка кривых износа позволила установить зависимость линейной величины износа (h_i), а так же массы изношенной части резца (M_i) от пути резания (L):

$$h_i(M_i) = C_i \cdot L^{x_i} \text{ мм (мг)}$$

^{х)} Исследования проведены в ЦИИИ АвтоЗИЛА.

^{хх)} Исследования проведены на кафедре "Термическая обработка" МВТУ и во ВНИИТСе.

Величины C_i и α_i зависят в нашем случае, от метода заточки и доводки.

Анализ кривых износа и отображающих их зависимостей позволили установить, что величины значения α_i у резцов с абразивной заточкой и доводкой пастой с карбидом бора больше, чем у резцов с алмазной заточкой и алмазной или эльборовою доводкой.

В связи с этим сделано предположение о наличии спонтанного эффекта при износе резцов с различными методами заточки и доводки. Он заключается в том, что дефекты рабочих поверхностей с абразивной заточкой и доводкой обеспечивают нарастающий повышенный износ не только при начальном этапе работы, но и во всем периоде износа резца.

Спонтанный эффект при износе режущего инструмента с различным исходным состоянием рабочих поверхностей может служить подтверждением существующих положений о технологической наследственности.

За количественную характеристику режущих свойств резцов с различными методами заточки и доводки приняты величины интенсивности нарастания линейной величины износа и изношенной массы твердого сплава, выражаемых формулой

$$\frac{dh_i(M_i)}{dL} = C_i \alpha_i L^{\alpha_i - 1} \text{ мм/м} \left(\frac{\text{мм}}{\text{м}} \right).$$

Зависимости, построения по интенсивности нарастания массы износа, по сравнению с интенсивностью нарастания линейной величины износа, позволяют более точно установить рациональный метод заточки и доводки.

Наименьшая величина интенсивности износа резцов по массе имеет место при заточке и доводке алмазными кругами (точение с $S = 0,20 \text{ мм}$), а также при абразивной заточке и алмазной доводке (точение с $S \geq 0,4 \text{ мм}$).

Абразивная заточка резцов обуславливает повышение величин составляющих силу резания, температуры резания и шероховатости обработанной поверхности по сравнению с алмазной заточкой. Это объясняется повышенным трением и деформацией металла в процессе резания из-за больших величин радиусов округления лезвий и шероховатости рабочих поверхностей резцов с абразивной заточкой.

В отношении шероховатости рабочих поверхностей резцов после заточки и доводки считалось, что достаточным является обеспечение заданного класса чистоты независимо от метода обработки (ГОСТ 5688-61).

Проведенные исследования показывают, что одинаковые по шероховатости поверхности резцов имеют различные режущие свойства. Результаты исследования приведены ниже.

Метод заточки и доводки	<u>КЗ</u> 0	<u>КЗ</u> КЗ	<u>КЗ</u> К6	<u>КЗ</u> АС	<u>КЗ</u> Л	<u>АС</u> АС	<u>АС</u> Л
Класс чистоты поверхности	▽ 8		▽ 10		▽ 11		▽ 12
Марка обрабатываемого материала	стойкость резца, %						
Марка твердого сплава							
<u>Сталь 45</u>							
Т15К6	0,64	0,78	I		I,38		I,46
<u>СЧ 24-44</u>							
ВК8	-	-	I		I,19		I,31

Это объясняется тем, что шероховатость сама по себе не может характеризовать физическое состояние поверхностного слоя металла. У поверхностей с одинаковой конечной шероховатостью могут быть различные степени наклепа, неодинаковые характер и величина остаточных напряжений и т.д.

Следовательно, основным фактором, предопределяющим режущие свойства резцов, при равной чистоте рабочих поверхностей, является метод заточки и доводки.

Аппроксимация зависимостей Т-V проведена при установленном критерии затупления (максимальная ширина площадки износа на главной задней поверхности) резца с учетом стойкостных, технологических (суммарная продолжительность работы резца и шероховатость обработанной поверхности) и экономических (технологическая себестоимость операции и норма выработки) показателей: сталь 45 - 0,3 мм и серый чугуны СЧ 24-44 - 1,2 мм.

Исследование режущих свойств резцов, заточенных и доведенных различными методами в широком диапазоне скорости резания показали, что зависимость "скорость резания и стойкость" при обработке сталей носит экспериментальный характер и - серого чугуна - - монотонный характер.

Для адекватного математического описания экстремальных зависимостей $T-V$, полученных при обработке стали, применен тригонометрический ряд Фурье вида

$$f(x) = a_0 + a_1 \cos x + \dots + b_1 \sin x + \dots + b_5 \sin 5x$$

а также установлены оптимальные скорости резания:

$$- V = 60 \text{ м/мин} \quad \text{при} \quad t \times S = 2 \times 0,4 \text{ мм}^2$$

$$- V = 200 \text{ м/мин} \quad \text{при} \quad t \times S = 1 \times 0,2 \text{ мм}.$$

Установленные зависимости $L-V$ подтверждают более рельефно наличие экстремумов.

Математическое описание зависимости $V-T$ степенной функцией

вида $V = \frac{C}{T^m}$ при обработке стали возможно только для узкого диапазона скоростей резания, а при чугуне - во всем исследованном диапазоне скоростей.

Установлены зависимости "скорость резания - стойкость" в узком диапазоне скоростей резания для различных методов заточки и доводки при обработке стали и чугуна. Ниже приведены значения поправочных коэффициентов на стойкость резца

Марка обрабатываемого материала	Сталь 45		СЧ 24-44	
Сечение срезаемого слоя, мм ²	2x0,4	1x0,2	2x0,5	
Марка твердого сплава	Т15К6	Т30К4	ВК8	ВК4
Метод заточки и доводки	Поправочный коэффициент			
Абразивная заточка и доводка	1	1	1	1
Абразивная заточка с алмазной или эльборовою доводкой	1,38	1,18	1,19	1,21
Алмазная заточка с алмазной или эльборовою доводкой	1,46	1,92	1,31	1,25

Значения поправочных коэффициентов верны для частного случая ($T = 45$ мин), так как показатель степени $-m$ при стойкости резца зависит от метода заточки и доводки.

Выявлено влияние марок твердого сплава на режущие свойства резца при обработке чугуна: стойкость твердосплавных резцов марки ВК4 ^{3,4,6} ~~выше~~ стойкости резцов марки ВК8 в 1,8 раза.

Глава седьмая содержит результаты расчетов технико-экономической эффективности методов заточки (переточки) и доводки.

Технико-экономический эффект от метода заточки и доводки определяется уменьшением расхода резцов за счет увеличения их стойкости при постоянной скорости резания и снижением затрат на резцы для выполнения данного объема работ, связанных со снятием изношенной части рабочих поверхностей резца.

Экономическими исследованиями установлено, что абразивная заточка (при строгом соблюдении режимов и условий работы) и алмазная доводка твердосплавных резцов, изношенных при точении типовых конструкционных металлов (сталь марки 45 и серого чугуна марки СЧ 24-44) с подачей равной или более 0,40 мм по сравнению с другими исследованными методами обработки рабочих поверхностей обеспечивает определенный экономический эффект.

К примеру, в наших условиях оптимальный вариант заточки и доводки дает экономический эффект, отнесенный к 1 кг твердого сплава, для ВК8 - 47,34 руб. и Т15К6 - 74,2 руб. Анализ результатов экономических расчетов показывает увеличение экономического эффекта алмазной заточки и доводки, по сравнению с абразивной заточкой и алмазной доводкой, с уменьшением величины снимаемого припуска с изношенных рабочих поверхностей резца, работавших с подачей менее 0,3 мм.

Общие выводы и рекомендации

Проведенные теоретические и экспериментальные исследования позволили сделать следующие общие выводы и рекомендации:

I. Предложенная методика комплексного экспериментального исследования обеспечивает количественную и качественную оценку происходящих в процессе резания явлений (износ, температура, составляющие силу резания, шероховатость обработанной поверхности и др.) и экономически эффективна (сокращение времени, металла и инстру-

мента).

2. Для обеспечения идентичности исходных режущих свойств резцов целесообразно производить контроль физико-механических свойств (HRC, удельный вес и др.) пластинок твердого сплава в состоянии поставки с последующей сортировкой их, а также в процессе проведения стойкостных опытов по принятой методике.

3. Опорные плоскости твердосплавных пластинок, подкладок и гнезд державок составных резцов с разъемным соединением должны быть доведены с целью получения плоскостности. Это обеспечивает повышение стойкости резцов до 25%.

4. Разработанные схемы измерения составляющих силу резания, универсальное приспособление для контроля износа резца в процессе резания без съема его со станка, установка для измерения шероховатости обработанной поверхности с базированием на станке и др. и использованные в экспериментальной установке обеспечило получение точных результатов и сократило время на проведение экспериментов.

5. Установлено влияние различных методов и условий заточки и доводки на качество рабочих поверхностей (шероховатость, глубина дефектного слоя и др.) и лезвий резца. Заточка абразивными кругами, по сравнению с алмазными кругами, характеризуется большей трудоемкостью и необходимостью строгого соблюдения режима резания, зависящего от характеристики круга и марки твердого сплава. Алмазная обработка существенно изменяет процесс формирования поверхностного слоя твердых сплавов по сравнению с абразивной. Глубина дефектного слоя (с искаженной структурой) при абразивной заточке составляет 50...70 мкм, а при алмазной — 5...10 мкм. Доводка твердосплавным кругом из эльбора зернистостью 80/63 неэффективна.

6. Вид и характер износа твердосплавных резцов во многом зависит от метода обработки их рабочих поверхностей и сопровождается: микровыкрашиваниями (частичек твердого сплава) лезвий и налипками обрабатываемого материала на задних и передней поверхностях. Микрорентгеноспектральным анализом установлено: дно лунки износа передней поверхности резца покрыто обрабатываемым материалом, наличие частиц (размером до 2 мкм) материала инструмента на прирезной поверхности стружки и на обработанной поверхности

при работе твердосплавными резцами по стали.

7. Степень нарастания износа задней рабочей поверхности резца после абразивной обработки, по сравнению с алмазной, выше не только в начальный период резания, но и во всем интервале периода резания. Показано, что оценка режущих свойств резцов, базируемая на изменении величины отношения массы изношенной части резца к пути резания, позволяют более точно выявить влияние различных методов заточки и доводки по сравнению с линейной величиной износа по задней поверхности. Установлены зависимости линейной величины износа и массы изношенной части резца от пути резания. На основании оценки закономерностей износа сделано предположение о наличии спонтанного эффекта при износе резца с различными методами заточки и доводки.

8. Критерий затупления резца рекомендуется устанавливать с учетом стойкостных технологических и экономических показателей.

9. Установлены оптимальные углы α , γ и α_1 при обработке стали и чугуна.

10. Показано, что последовательное симплексное планирование позволяет вести направленный поиск оптимальных значений одновременно нескольких параметров, сокращая при этом количество экспериментов.

11. Установленная зависимость "скорость резания - стойкость, вспомогательный угол в плане (свыше 5°) и радиус при вершине (менее 3 мм)". Рекомендуется для твердосплавных резцов общего назначения принимать вспомогательный угол в плане не менее 10° и радиус при вершине не более 3 мм.

12. Зависимость "скорость резания - стойкость" в широком диапазоне скоростей резания при обработке стали носит экстремальный характер и серого чугуна является монотонной. Математическое описание установленных зависимостей при обработке стали адекватно аппроксимировано тригонометрическим рядом Фурье и степенной функцией вида $V = \frac{C}{T^m}$ только для узкого диапазона скоростей резания, а при обработке чугуна - во всем диапазоне скоростей резания. Выявлено оптимальное значение скоростей резания при обработке стали. Поэтому в нормативных материалах при обработке сталей следует указывать для каждого сечения фрезеваемого слоя только оптимальное значение скоростей резания, которое обеспе-

чивает максимальную стойкость резца. Поправочные коэффициенты, характеризующие влияние метода заточки и доводки, должны учитывать период стойкости резца. Установлено влияние марки твердого сплава при обработке серого чугуна.

13. Установлено, что основным фактором, предопределяющим режущие свойства резцов, является метод заточки и доводки, а не исходный класс чистоты рабочих поверхностей.

14. Абразивная заточка по сравнению с алмазной несколько увеличивает составляющие силу резания, температуру резания и шероховатость обработанной поверхности.

15. Рациональными по технико-экономическим показателям методами заточки (переточки) и доводки резцов, оснащенных твердым сплавом, являются при съеме припуска с рабочих поверхностей:

- а) равного или более 0,3 мм – абразивная заточка и алмазная доводка;
- б) менее 0,3 мм – алмазная заточка и доводка.

Материалы по диссертации были доложены и обсуждались на ряде научно-технических конференций, а также использованы некоторыми предприятиями и институтами.

Основное содержание работы опубликовано в статьях:

- 1. Оптимальная геометрия твердосплавных резцов при наружном продольном точении серого чугуна, "Известия вузов, Машиностроение", 1970, № 2.
- 2. Измерение сил резания с использованием кремниевых тензорезисторов, "Известия вузов. Машиностроение", 1970, № 5.
- 3. Оптимальная геометрия твердосплавных резцов при точении стали 45, Вестник машиностроения, 1971, № 4.
- 4. Установка для контроля износа резца в процессе резания (в соавторстве с Покровским В.П.) НИИМАШ, 1971, № 8.
- 5. Контроль шероховатости поверхности крупногабаритных деталей на токарном станке, НИИМАШ, 1971, № 10.