

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ СССР
МОСКОВСКОЕ ОРДЕНА ЛЕНИНА, ОРДЕНА ОКТЯБРЬСКОЙ РЕВОЛЮЦИИ
И ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ ВЫСШЕЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ
УЧИЛИЩЕ ИМ. Н.Э. БАУМАНА

На правах рукописи

Грубый Сергей Витальевич

УДК 621. 941. 1

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТОКАРНОЙ ОБРАБОТКИ СТАЛЕЙ
РЕЗЦАМИ ИЗ БЕЗВОЛЬФРАМОВЫХ ТВЕРДЫХ СПЛАВОВ

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

Москва, 1984

Работа выполнена в Московском ордена Ленина, ордена Октябрьской революции и ордена Трудового Красного Знамени высшем техническом училище имени Н.Э. Баумана

Научный руководитель — кандидат технических наук,
доцент ЗВЕРЬЕВ В.К.

Официальные оппоненты — доктор технических наук,
профессор БЛИКОВ М.И.

— кандидат технических наук,
с.н.с. АНДРЕЕВ В.Н.

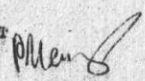
Ведущее предприятие — Московский автомобильный завод
им. И.А. Лихачева (ПО ВИА)

Защита состоится " октябрь 1984 г. на заседании специализированного Совета по технологии машиностроения К 053.15.15 МВТУ им. Н.Э. Баумана по адресу: 107005, Москва, 2-я Бауманская улица, дом 5.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке МВТУ им. Н.Э. Баумана.

Ваш отзыв на автореферат в одном экземпляре, заверенный печатью учреждения, просим направлять по указанному адресу.

Автореферат разослан " _____ " _____ 1984 г.

Ученый секретарь Совета
кандидат технических наук, доцент  Р.К. МЕЩЕРЯКОВ

Л-7460

Подп. к печ. 12. VII. 84. Заказ 1255 Объем I п.л. Тираж 100 экз.

Типография МВТУ, 107005, Москва Б-5, 2-я Бауманская ул., 5.

АКТУАЛЬНОСТЬ ПРОБЛЕМЫ вытекает из важнейших задач однадцатой пятилетки, определенных XXVI съездом КПСС: увеличение производительности труда, повышение качества и снижение себестоимости выпускаемой продукции. Одним из направлений выполнения поставленных съездом задач является совершенствование процессов обработки резанием за счет рационального использования инструментов прогрессивных конструкций, оснащенных современными инструментальными материалами. К числу таких инструментов относятся резы токарные сборные проходные с механическим креплением сменных многогранных пластин из безвольфрамовых твердых сплавов. Производство режущих пластин из безвольфрамовых твердых сплавов организуется в широком масштабе в соответствии с "Основными направлениями экономического и социального развития СССР на 1981-85 годы и на период до 1990 года".

Использование резов, оснащенных безвольфрамовыми твердыми сплавами, позволит снизить расход дефицитных вольфрамосодержащих инструментальных материалов, в отдельных случаях повысить производительность обработки и стойкость инструмента, улучшить экономические показатели и уменьшить себестоимость продукции. Однако практическое применение указанных резов затруднено из-за отсутствия научно обоснованных рекомендаций по их рациональному использованию, условиям эксплуатации и нормам износа. Поэтому разработка рекомендаций, обеспечивающих повышение эффективности обработки резами из безвольфрамовых твердых сплавов, является актуальной научной задачей.

Цель работы — установление основных положений, условий и зависимостей, обеспечивающих повышение эффективности непрерывного и прерывистого наружного продольного точения сталей резами, оснащенными пластинами из безвольфрамовых твердых сплавов (БВТС).

Объекты и методы исследования. В соответствии с поставленной целью объектами исследования являются: резы токарные сборные проходные с механическим креплением сменных многогранных пластин из различных марок БВТС; заготовки из конструкционных углеродистых и низколегированных сталей (марка, вид термообработки); условия работы (непрерывное и прерывистое наружное продольное точение, СОЖ). Достижение поставленной цели осуществляется путем реализации разработанных общей и частных методик проведения теоретических, экспериментальных, технико-экономиче-

ских исследований, конструкторских разработок, практического применения результатов. В исследованиях использовались аналитические, расчетно-экспериментальные и экспериментальные (по однофакторной и многофакторной схемам) методы. Автоматизация расчетов и анализ результатов осуществлялись при использовании ЭВМ.

Научная новизна. Установлены математические модели сил резания, скорости и стойкости резцов на основании теоретико-экспериментального анализа моделей в соответствии с разработанной общей блок-схемой исследований и выявлены основные предпосылки определения полиномиальных уравнений регрессии. Изучены особенности износа резцов и сопутствующие признаки, установлен критерий затупления и определена максимально допустимая его величина на основе лабораторных и производственных исследований. Проведен анализ сил, действующих на резец при несвободном резании, и характера взаимодействия заготовки и резца в условиях прерывистого течения. Выявлены пути снижения динамической силы и повышения стойкости резцов. Предложены аналитические зависимости для расчета параметров сечения срезаемого слоя и угла схода стружки, которые определяют взаимную связь силовых и стойкостных зависимостей. Установлены зависимости влияния факторов основных и дополнительных на стойкость, скорость резания, составляющие силы, шероховатость обработанной поверхности, мощность, энергозатраты.

Практическая ценность. Получены научно обоснованные рекомендации по эффективному применению и рациональной эксплуатации резцов с многогранными пластинами из БТС при наружном продольном тчении конструкционных углеродистых и низколегированных сталей. Предложены обобщенные формулы для расчета стойкости, скорости резания, составляющих силы, шероховатости обработанной поверхности. Определены условия, обеспечивающие повышение производительности обработки и стойкости резцов.

Реализация результатов работы. На основании полученных рекомендаций осуществлено внедрение резцов токарных сборных проходных, оснащенных сменными многогранными пластинами из БТС, на токарных операциях при обработке заготовок из сталей в основном производстве ПО ЗИЛ. Подтвержденный годовой экономический эффект составил 25,5 тысячи рублей.

Апробация работы. Основные положения работы доложены и обсуждены на четырех научно-технических семинарах кафедры "Теория

механической обработки и инструмента" МВТУ им. Баумана за период 1980-1983 гг.; на Всесоюзной научно-технической конференции "Проблемы производства и применения твердых сплавов" - Орджоникидзе, 1981 г.; на XXVI научной конференции Кузбасского политехнического института - Кемерово, 1982 г.; на научно-технической конференции молодых специалистов и творческой молодежи ЗИЛ - Москва, 1983 г.; на Всесоюзной конференции "Повышение производительности и качества механообработки на машиностроительных предприятиях Сибири и Дальнего Востока" - Иркутск, 1983 г.

Объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, семи глав, общих выводов, списка литературы и приложений. Работа изложена на 143 страницах машинописного текста, содержит 30 таблиц, 100 рисунков, список литературы из 96 наименований. Общий объем работы составляет 257 страниц.

В первой главе анализируется состояние вопроса по наружному продольному течению заготовок резцами, оснащенными БТС. Установлено, что в проведенных ранее работах основные вопросы не изучены или изучены недостаточно: общая и частные методики не предложены, а комплексные исследования по рациональному использованию резцов не проведены; вид математических моделей не установлен; исследование процесса несвободного резания не проведено; закономерности износа не раскрыты и критерий затупления резцов не обоснован; возможность использования резцов при прерывистом тчении не изучена; обобщенные формулы отсутствуют; способы повышения режущих свойств требуют уточнения и другие.

Во второй главе изложены методики исследований, предусматривающие разработку рекомендаций по рациональному применению резцов. В методиках согласно выводов аналитического обзора поставлена цель и сформулированы основные задачи исследований: установить вид математических моделей сил резания и стойкости резцов; изучить особенности износа и обосновать критерий затупления; исследовать процесс резания (силы, сход стружки, контактные нагрузки); установить обобщенные зависимости влияния исследованных факторов на стойкость, составляющие силы, энергозатраты, шероховатость обработанной поверхности; выявить пути повышения режущих свойств резцов; определить работоспособность резцов при прерывистом тчении; провести технико-экономическое обоснование результатов работы и осуществить практическое применение резцов

в поточно-массовом производстве.

Общая методика предусматривала проведение комплексных исследований и устанавливала направление отдельных частных методик, определяющих условия и методы теоретических и экспериментальных исследований. Экспериментальные исследования выполнялись в лабораторных (МВТУ им. Баумана, ИО ЗИЛ) и производственных (ПО ЗИЛ) условиях.

Металл заготовок, использованных в исследованиях - стали конструкционные углеродистые марок 20, 45, 55Ш, 60 и легированные различных групп марок 12Х2Н4А, 25ХТМ, 25ХТМТ, 40Х, 40ХШ, 40ХШ. Заготовки - валы обрабатываемых сталей подвергались термической обработке - нормализации или отжигу. Заготовки стали марки 40Х дополнительно термообработывались по режимам закалки и отпуска.

Исследования проводились резами сборными проходными конструкциями ЗИЛ с механическим креплением типа "косая тяга" сменных многогранных пластин с отверстием и стружколомающими канавками. В контрольных опытах использовались резы конструкции Инструментального ВНИИ и ВАЗ. Резы оснащались пластинами режущими различных форм из БВТС марок КНТ16, ТН20 - основные опыты и КНТ20, ТН20 (СВС), СТММ-ЗБ, маловольфрамового сплава ТВ-4 и вольфрамосодержащих сплавов Т5К10, Т14К8, Т15К6 - контрольные опыты. Материал пластин опорных - БВТС марки ТН50 и сплав ВК15.

Экспериментальные исследования выполнялись на специальном и универсальных токарных станках. Обработка заготовок осуществлялась по схемам наружного продольного точения. В состав созданной экспериментальной установки входили специальные оптико-механические устройства для фотографирования износа и измерения линейных параметров по передней и задним поверхностям. Изношенные поверхности пластин исследовались на растровых электронных микроскопах (РЭМ) "Стереоскан S-180" и "Камебакс МВ1", оснащенных микрорентгеноспектральными анализаторами. Составляющие силы резания измерялись динамометром УДМ-600. Шероховатость обработанной поверхности изучалась с помощью микроскопа МИС-II и профилографов "Калибр". Измерение мощности электродвигателя станка производилось ваттметром Н348, э.д.с. резания регистрировалась потенциометром постоянного тока.

В третьей главе исследовались и установлены математические модели сил резания и стойкости резцов. С этой целью разработана

специальная методика и предложена общая блок-схема теоретико-экспериментальных исследований, характерной особенностью которых является совместный анализ моделей общепринятых (степенной и показательно-степенной) и разрабатываемых (полиномиальных), и последовательное уменьшение погрешностей уравнений за счет уточнения моделей и коэффициентов. Учитывая, что модели степенная и показательно-степенная в достаточной степени изучены, разрабатывались предпосылки определения полиномиальных моделей.

Полиномиальные модели рассматривались в рамках общей функции

$$y_i = \varrho(\underline{x}_i) + e_i = \sum_{j=0}^k B_j f_j(\underline{x}_i) + e_i; \quad i=1, 2, \dots, N, \quad (1)$$

где N - число экспериментальных точек, k - количество неизвестных коэффициентов, e_i - суммарная ошибка, \underline{x}_i - матрица-столбец входных переменных, $f_j(\underline{x})$ - известные функции (алгебраические полиномы).

Исследовались полиномиальные модели: неполная квадратичная (без квадратов взаимодействий факторов); полная второго порядка; неполная третьего порядка (без кубов, квадратов и тройных взаимодействий); неполная третьего порядка (без кубов и тройных взаимодействий); полная кубическая.

При выборе планов проведения опытов по многофакторной схеме учитывались возможные желательные свойства - симметричность, ортогональность, ротатабельность, равномерность, композиционность, экономичность, а также соответствие основным критериям оптимальности. Расчет коэффициентов моделей осуществлялся по алгоритмам метода наименьших квадратов (МНК)

$$B = (X^T X)^{-1} X^T Y = M^{-1} X^T Y = L Y, \quad (2)$$

где матрицы Y - результатов наблюдений, B - коэффициентов, X - условий эксперимента, M , M^{-1} , L - табличные; и метода стохастической аппроксимации (МСА)

$$B_{\tau} = B_{\tau-1} + \gamma_{\tau} f(\underline{x}_i) [y_{\tau i} - B_{\tau-1}^T f(\underline{x}_i)]. \quad (3)$$

где $\gamma_1, \dots, \gamma_{\tau}$ - последовательность неотрицательных чисел, τ - номер приближения.

При анализе погрешностей искомым уравнениям регрессии счита-

лось, что погрешности возникают из-за несоответствия выбранной модели действительной (систематическое отклонение), а также вследствие ошибки воспроизводимости отдельного опыта (случайное отклонение). Средние по области планирования отклонения анализировались с помощью выражений:

- систематическое

$$W^2 = N^{-1} \sum_{i=1}^N [f^T(\underline{x}_i) \underline{B} - \eta(\underline{x}_i)]^2; \quad (4)$$

- случайное

$$Q^2 = N^{-1} S_3^2 \sum_{i=1}^N f^T(\underline{x}_i) \underline{M}^{-1} f(\underline{x}_i) = N^{-1} S_3^2 \sum_{i=1}^N d_i, \quad (5)$$

где d_i - коэффициент дисперсии, S_3^2 - средняя дисперсия опыта;
- общее $S^2 = W^2 + Q^2 = W^2 + S_3^2 d_{cp}$. (6)

В качестве критерия планирования принималось условие минимизации общего отклонения: $S^2 \rightarrow \min$. Достижение критерия планирования осуществлялось путем последовательного усложнения модели, добиваясь уменьшения систематического отклонения (4). Случайное отклонение уменьшалось при выборе эффективных планов, обеспечивающих минимальное значение d_{cp} , и в некоторых случаях за счет реализации алгоритма МСА.

Установлено, что модель полная второго порядка с наибольшей точностью из возможных полиномиальных моделей определяет составляющие силы резания. При этом систематическое отклонение является малой величиной и выполняется принятый критерий планирования. Представление поверхности отклика как геометрических образов исследуемых функций, а также анализ погрешностей позволили выявить ограничения для уравнений регрессии составляющих R_x и R_y в области малых глубин резания и подач. При этом полиномиальные уравнения справедливы в более узком диапазоне факторов, чем степенные.

С целью выявления наиболее точных полиномиальных уравнений стойкости осуществлялось последовательное усложнение моделей путем перехода от неполной квадратичной к полной кубической. Установлено, что в рамках моделей второго порядка погрешности уравнений уменьшаются с последовательным применением планов: ПФЭ 2^3 , Бокса - Бенкена, Бокса B_3 , ПФЭ 3^3 , однако средние отклонения значительно превосходят соответствующие дисперсии опыта и не дос-

тигается принятый критерий планирования.

Для уравнений третьего порядка характерно значительное уменьшение отклонений при использовании эффективных планов проведения опытов и алгоритма МСА. При этом отклонения приближаются к дисперсиям опыта и для модели полной третьего порядка достигается принятый критерий планирования. Анализ показал совпадение с высокой точностью стойкостных кривых расчетных по полиномиальным уравнениям и экспериментальных в широком диапазоне скоростей резания. Вместе с тем в области высоких скоростей резания при стойкостях менее 90 мин возможно осуществить переход к более простой и удобной для практического использования показательно-степенной модели.

В результате выполненных теоретико-экспериментальных исследований и проведенного анализа погрешностей установлены математические модели для резцов, оснащенных пластинами из БВТС: степенная, показательно-степенная, полиномиальные второго и третьего порядков. Указанные модели предназначены для аппроксимации основных многофакторных зависимостей износа, составляющих силы, стойкости, скорости, шероховатости обработанной поверхности. При монотонном характере исследуемых зависимостей целесообразно использовать модель степенную и полиномиальную второго порядка, при экстремальном - показательно-степенную и полиномиальную третьего порядка.

Принимая во внимание возможность и простоту учета дополнительных факторов поправочными коэффициентами, рекомендованы для практического применения математические модели: составляющие силы - степенная; стойкость и скорость - показательно-степенная.

В четвертой главе изучен износ резцов, сопутствующие признаки и обоснован критерий затупления. Установлено, что на передней поверхности пластин образуется лунка и видны следы направления скольжения стружки, а на задних поверхностях - площадка износа, ширина которой неравномерна по величине вдоль главной, переходной и вспомогательной поверхностей. Отмечается изменение состояния режущих кромок и лезвия в процессе изнашивания: увеличение радиуса округления кромки, ее опускание и последующее оснивание на отдельных участках. Разрушение кромок приводит к появлению микросколов по рабочим поверхностям лезвия и поломкам пластин. При работе на интенсивных режимах, когда стойкость резцов составляет менее 10 мин, отмечается пластическая деформация

режущего клина. В условиях прерывистого течения увеличение линейного износа задних поверхностей происходит до значений 0,15 ... 0,2 мм, затем вследствие разрушения режущих кромок наблюдаются сколы и поломки пластин.

Следует отметить, что интенсивность износа, как показали наблюдения, при несвободном резании резцами с многогранными пластинами в основном зависит от размеров криволинейного участка режущей кромки, параметров сечения срезаемого слоя, угла схода стружки, средних контактных нагрузок. С целью анализа особенностей износа резов с многогранными пластинами при несвободном резании проведены теоретические исследования.

Изучены геометрические параметры резов на криволинейном участке режущей кромки и определены формулы для расчета углов $\alpha_i, \beta_i, \psi_i, \lambda_i$ в точке кромки в зависимости от известных углов установка пластины в корпусе γ_A, ψ, η и угловой координаты μ_i .

Предложено выражение для расчета угла схода стружки по передней поверхности сменной многогранной пластины

$$\eta_c = \eta - \arccos \left(\frac{\sqrt{v_c}}{\sqrt{v_{2c}}} \right) + \Delta \quad \text{град}, \quad (7)$$

где Δ учитывает влияние стружколомающей канавки; $\sqrt{v_c}, \sqrt{v_{2c}}$ - проекции суммарного вектора скорости схода стружки на оси координат в передней плоскости. Расчетные углы схода стружки с достаточной точностью совпадают с экспериментальными, измеренными на изношенных пластинах.

Определены параметры срезаемого слоя для несвободного резания при участии в работе прямолинейного и (или) радиусного участка режущей кромки: эффективная толщина, ширина и действительная площадь среза $a_{\text{эф}}, b_{\text{эф}}, f_d$, и предложены формулы для их расчета, например, эффективной толщины

$$a_{\text{эф}} = \left[\sum_{i=1}^k \frac{\sin \psi_i}{\cos(\eta_c + \mu_i)} + \frac{m \sin \psi}{\cos \eta_c} \right] \frac{s}{k+m} \text{ мм}, \quad (8)$$

где k - количество участков суммирования на радиусном участке кромки, m - эквивалентное количество участков суммирования на прямолинейном участке.

При изучении контактных нагрузок рассмотрена для случая несвободного резания общая схема сил, действующих на контактных поверхностях лезвия. Показана связь между силами в плоскости

схода стружки P_N, P_{τ_1} и действующими ей перпендикулярно P_{τ_2} , и составляющими силы резания P_x, P_y, P_z в виде матричного уравнения, а также предложена программа для решения уравнения на ЭВМ. Проведен расчет и анализ средних контактных нагрузок нормальных и касательных на поверхностях передней и задней по силам в плоскости схода стружки и экспериментально установленным приращением составляющих силы резания от износа $\Delta P_x, \Delta P_y, \Delta P_z$. Установлено, что средние нормальные контактные нагрузки в исследованных диапазонах режимов резания не превышают значений: на передней поверхности 430 МПа, на задней - 650 МПа и уровень контактных нагрузок указывает на возможность взаимного переноса частиц инструментального и обрабатываемого материалов в результате адгезии.

Расчет напряжений на передней поверхности пластины за пределами контактной зоны стружки проводился по сосредоточенным силам, приложенным на некотором расстоянии от режущей кромки, и показал, что напряжения растяжения возрастают с увеличением износа, глубины резания и подачи и могут служить причиной потери прочности резов.

Результаты теоретических исследований подтвердили наблюдаемые особенности износа резов из БВТС при несвободном резании.

Исследование изношенных поверхностей режущих пластин с помощью РЭМ позволило установить на передней и задних поверхностях присутствие обрабатываемого металла в виде частиц или наливов. Наличие и характер расположения наливов и частиц металла на изношенных поверхностях лезвия позволили предположить возникновение адгезионных сил схватывания и вызванный ими взаимный перенос инструментального и обрабатываемого материалов, а также выделить, как основную, роль адгезионных явлений в общем механизме износа резов, оснащенных БВТС.

Критерий затупления резов был установлен в результате лабораторных и производственных опытов на основании анализа линейных параметров (кривых износа), изношенной массы, сопутствующих признаков, возникающих сколов и поломок пластин от величины износа. Для периода нормального изнашивания получена обобщенная формула износа главной задней поверхности пластин из сплава КНТ16

$$h_{37A} = \frac{3,48 \cdot v^{1,80} \cdot t^{0,88} \cdot s^{2,053}}{e^{7,6275}} K'_{\text{нпм}} +$$

$$+ \tau \left(\frac{2,04 \cdot 10^{-6} \cdot \sqrt{2,16} \cdot t^{0,49} \cdot e^{11,014 S}}{S^{2,529}} K_{\text{ннм}}'' \cdot K_{\text{нсож}}'' \right) \text{ мм}, \quad (9)$$

где коэффициенты: $K_{\text{ннм}}'' = 0,41$, $K_{\text{ннм}}'' = 0,31$ - на марку ТН20; $K_{\text{нсож}}'' = 0,48$.

Установлено, что изменение остальных линейных параметров износа, изношенной массы и сопутствующих признаков находится в непосредственной связи с $h_{\text{згл}}$. Поэтому в качестве критерия затупления для резцов из БТС при обработке сталей различных марок целесообразно принять ширину площадки износа $h_{\text{згл}}$. Максимально допустимая величина принятого критерия затупления устанавливалась на основании определения минимума суммарного удельного расхода пластин из-за износа, поломок и сколов и составляет для пластин из сплава марки КНТ16 0,5 мм.

В пятой главе приведены результаты исследования сил резания в условиях непрерывного и прерывистого точения и изучены мощность и энергозатраты.

При непрерывном точении установлен характер влияния глубины, подачи, скорости на составляющие силы резания. Показано, что при увеличении износа резца или использовании СОЖ вид и характер зависимостей, и интенсивность влияния глубины, подачи и скорости на составляющие силы сохраняются. Составляющие силы практически одинаковы для исследованных марок сталей в нормализованном или отожженном состоянии ($\sigma_B \leq 800$ МПа) и значительно увеличиваются при обработке сталей в состоянии закалки и отпуска ($\sigma_B = 840 \dots 1085$ МПа). Силы резания для резцов с пластинами из БТС меньше, чем для резцов с пластинами из сплава марки Т15К6.

Для условий прерывистого наружного продольного точения теоретически исследован характер изменения площади срезаемого слоя на участке врезания резца в заготовку и выхода. Показано, что скорость нарастания (спадания) площади среза является комплексным параметром, учитывающим изменение площади в зависимости от режима резания и геометрических параметров заготовки и резца.

Характер взаимодействия заготовки и резца исследовался путем решения и анализа дифференциального уравнения вынужденных колебаний для системы инструмента на участке врезания и установившегося резания. На участке врезания вертикальная составляющая силы резания задавалась в аналитической форме с учетом ее отставания от изменения площади среза. Динамическое воздействие заго-

товки на резец оценивалось по коэффициенту динамичности K_D , который изменяется в пределах от 1,04 до 1,97 в зависимости от геометрического параметра заготовки w_0 . Динамическая сила, равная $P_D = K_D \cdot P_{z \max}$, снижается с увеличением разности $w_0 - \sqrt{v_z}$, где $\sqrt{v_z}$ - передний угол резца в плоскости, перпендикулярной направлению подачи, w_0 - угол наклона плоскости встречи заготовки к оси Y .

Установлены обобщенные формулы составляющих силы резания, например, для резцов с пластинами формы 02114-100412 ($\psi = 90^\circ$) из сплава марки КНТ16

$$P_z = 1658,1 \cdot v^{-0,10} \cdot t^{0,93} \cdot S^{0,74} (1+h_3)^{z_p} \cdot K_{\text{ом}} \cdot K_{\text{то}} \cdot K_{\text{сож}} \cdot K_{\text{ннм}} \cdot K_D \text{ Н}; \quad (10)$$

$$P_y = 989,7 \cdot v^{-0,16} \cdot t^{0,45} \cdot S^{0,78} (1+h_3)^{z_p} \cdot K_{\text{ом}} \cdot K_{\text{то}} \cdot K_{\text{сож}} \cdot K_{\text{ннм}} \text{ Н}; \quad (11)$$

$$P_x = 766,3 \cdot v^{-0,23} \cdot t^{1,02} \cdot S^{0,59} (1+h_3)^{z_p} \cdot K_{\text{ом}} \cdot K_{\text{то}} \cdot K_{\text{сож}} \cdot K_{\text{ннм}} \text{ Н}, \quad (12)$$

где поправочные коэффициенты: $K_{\text{ом}}$ - на марку стали (для исследованных марок сталей примерно равны 1,0); $K_{\text{то}}$ - вид термообработки стали (табл. I); $K_{\text{сож}}$ - влияние СОЖ, для P_z , P_y , P_x соответственно 0,93, 0,90, 0,93; $K_{\text{ннм}}$ - на сплав КНТ16 - 1,00, на сплав ТН20 для P_z , P_y , P_x соответственно 0,97, 0,87, 0,99; K_D - коэффициент динамичности.

Таблица I

Вид термообработки	P_z		P_y		P_x	
	$K_{\text{то}}$	Z_p	$K_{\text{то}}$	Z_p	$K_{\text{то}}$	Z_p
нормализация	1,00	0,36	1,00	1,39	1,00	1,10
отжиг	1,03	0,36	1,01	1,39	0,97	1,10
закалка, отпуск 600 °C	1,13	0,48	1,21	1,76	1,15	1,30
закалка, отпуск 500 °C	1,11	0,48	1,21	2,26	1,13	1,96
закалка, отпуск 400 °C	1,30	0,59	1,50	3,81	1,37	3,61

Формулы (10) - (12) справедливы при $v = 0,43 \dots 4,0$ м/с, $t = 0,7 \dots 6,0$ мм, $S = 0,15 \dots 0,53$ мм/об, $h_3 = 0 \dots 0,75$ мм.

В шестой главе приведены результаты стойкостных исследований. Изучено влияние износа, скорости резания, глубины, подачи, формы пластин, марки БТС, СОЖ, условий работы на стойкость при

обработке типовых марок сталей. Установлено, что зависимости влияния скорости резания на стойкость носят сложный немонотонный характер и в общем случае имеют несколько локальных экстремумов - максимумов и минимумов стойкости. В зависимости от величины сечения срезаемого слоя экстремумы кривых стойкости смещаются в зону больших или меньших значений скорости резания. Взаимная связь стойкостных кривых проявляется через эффективную толщину среза (δ). Так, скорость резания для точек перегиба стойкостных кривых увеличивается с уменьшением эффективной толщины по уравнению

$$v_n = 1,27 \cdot a_{\text{эф}}^{-0,31} \quad \text{м/с}, \quad (13)$$

а в диапазоне эффективных толщин 0,19 ... 0,35 мм справедливо выражение стойкости для резцов с пластинами из сплава марки КНТ16 различных форм

$$T = 44,84 \cdot v_n^{-3,00} \cdot a_{\text{эф}}^{-1,65} \quad \text{мин.} \quad (14)$$

Стойкость и скорость резания увеличиваются с уменьшением главного угла в плане резца. Наибольшие значения стойкости и скорости резания отмечены для резцов с пластиной пятигранной формы ($\psi = 45^\circ$), что объясняется минимальным значением эффективной толщины среза и угла схода стружки по сравнению с резцами и пластинами других форм.

Проведено сравнение стойкости резцов с пластинами из различных марок твердых сплавов. Отмечено, что при непрерывном точении резцы с пластинами из сплава марки КНТ16 характеризуются стабильной работой и по стойкости близки к резцам, оснащенным сплавом Т15К6. Резцы с пластинами из сплава марки ТН20 имеют наибольшую стойкость, однако при их использовании наблюдаются сколы и поломки пластин. Резцы, оснащенные сплавом СТИМ-ЗБ, имеют преимущества по сравнению с резцами из сплава Т15К6 при скоростях резания больше 2,8 м/с и стойкостях менее 30 мин.

В условиях прерывистого точения при обработке заготовок типа шлицевых валов стойкость резцов с пластинами из БВТС снижается по сравнению с непрерывным точением. Резцы с пластинами из сплава марки ТН20 имеют наименьшую стойкость, а резцы, оснащенные сплавом марки КНТ16, приближаются по стойкости к резцам из

сплава Т15К6. Помимо этого, стойкость резцов с пластинами из сплава марки КНТ16 повышается в 1,5 ... 2,0 раза за счет специальной термообработки пластин (нагрев со скоростью 1,0-2,0 °С/с в печи с защитной газовой атмосферой до температуры 900 °С, выдержка, охлаждение с печью).

Установлены обобщенные формулы стойкости, скорости резания, шероховатости обработанной поверхности, например, для резцов с пластинами формы 02II4-1004I2 ($\psi = 90^\circ$) из сплава КНТ16 при обработке стали 45

$$T = \frac{5570743,2 \cdot S^{2,408} \cdot K_{\text{фп}} \cdot K_{\text{СОЖ}}}{v_n^{1/0,260} \cdot t^{0,147} \cdot e^{(0,468t+16,682S)} (1,5-h_3)^{5,299}} \quad \text{мин.} \quad (15)$$

$$v_n = \frac{56,76 \cdot S^{0,626} \cdot K_{\text{фп}} \cdot K_{\text{УИМ}}}{T^{0,260} \cdot t^{0,038} \cdot e^{(0,121t+4,337S)} (1,5-h_3)^{1,228}} \quad \text{м/с.} \quad (16)$$

$$R_z = 49,24 \cdot t^{0,47} \cdot S^{1,10} \cdot (1+h_3)^{1,27} \quad \text{мкм.} \quad (17)$$

где поправочные коэффициенты: $K_{\text{фп}}$ - на форму пластин, табл. 2; $K_{\text{УИМ}}$ - на сплав КНТ16 - 1,00, на сплав ТН20 - 1,38; $K_{\text{СОЖ}}$ - влияние СОЖ - 1,2, 1,8, 2,5 для подач соответственно 0,2, 0,4, 0,5 мм/об.

Таблица 2

Обозначение пластины	ψ , град	$K_{\text{фп}}$	$K_{\text{УИМ}}$
02II4-1004I2	90	1,00	1,00
02II4-1004I2	60	1,28	1,07
03II4-1504I2	45	1,85	1,20
10II4-1104I6	45	2,05	1,29

формулы (15), (16) оправданы при $v_n \approx v_n$ (13), $t = 0,5 \dots 4,0$ мм, $S = 0,1 \dots 0,6$ мм/об, $h_3 = 0,25 \dots 0,6$ мм, $T = 10 \dots 60$ мин; формула (17) - при $v_n \geq 0,67$ м/с, $t = 0,7 \dots 4,0$ мм, $S = 0,08 \dots 0,6$ мм/об, $h_3 = 0 \dots 0,6$ мм.

В седьмой главе приведены результаты технико-экономических исследований и практического применения резцов из БВТС в условиях поточно-массового производства. Показано, что резцы с пластинами из сплава марки КНТ16 целесообразно использовать на операциях непрерывного точения заготовок с равномерным припуском. Применение резцов приводит к снижению технологической себестоимости

мости деталь—операции и требуемых капитальных вложений. Общий экономический эффект достигается за счет снижения затрат по режущему инструменту вследствие уменьшения потребного количества режущих пластин и их стоимости. Эффективность использования резцов подтверждена экономическими расчетами и их промышленным использованием на головном заводе и филиалах ПО Зил.

ВЫВОДЫ

1. Разработаны общая и частные методики комплексных исследований, обеспечивающие решение актуальной научной задачи повышения эффективности наружного продольного точения сталей за счет установления научно обоснованных рекомендаций по рациональному использованию резцов, оснащенных БВТС.

2. Установлены математические модели сил резания, скорости и стойкости резцов, их области применения и ограничения на основании теоретико-экспериментального анализа моделей и различных схем проведения опытов в соответствии с разработанной общей блок-схемой исследований и выявлены основные предпосылки определения полиномиальных уравнений регрессии.

3. Определены особенности износа резцов, оснащенных сменными многогранными пластинами с отверстием и стружколомающими канавками на одной стороне из БВТС:

— внешний вид износа характеризуется образованием на передней поверхности лунки и задних — площадки, неравномерной по величине вдоль режущих кромок, последующим осыпанием, выквашиванием и разрушением режущих кромок, приводящим к катастрофическому износу;

— линейные параметры износа и изношенная масса увеличиваются в периоды начального и нормального изнашивания, а интенсивность износа снижается при уменьшении главного угла в плане резца;

— адгезионные явления преобладают в общем механизме износа;

— критерием затупления резцов является максимально допустимая величина износа по главной задней поверхности лезвия, которая при непрерывном точении составляет для пластин из сплава КНТ16 0,5 мм, ТН20 — 0,3 мм, при прерывистом точении — 0,2 мм.

4. Предложен аналитический метод расчета геометрических параметров резцов на криволинейном участке режущей кромки, направления схода стружки, параметров срезаемого слоя и сил, действующих на изношенных поверхностях лезвия при несвободном резании, и проведен анализ контактных нагрузок и напряжений в опасных точках на

передней поверхности.

5. Установлено, что прочность режущих пластин определяется суммарными напряжениями растяжения на передней поверхности за пределами контактной зоны стружки. Величина напряжений при непрерывном точении возрастает с увеличением износа и сечения срезаемого слоя, а при прерывистом точении дополнительно зависит от динамической силы, действующей на резец в момент врезания. Рекомендованы пути снижения динамической силы.

6. Выявлены целесообразные марки БВТС и области применения резцов: сплав КНТ16 в поточно-массовом производстве; режим резания — глубина от 0,7 до 4,0 мм, подача от 0,1 до 0,5 мм/об, скорость, обеспечивающая стойкость 10 ... 60 мин, обработка сталей в нормализованном или отожженном состоянии с σ_B менее 840 МПа.

7. Установлено, что режущие свойства резцов, оснащенных БВТС, повышаются за счет: рациональных формы пластин и главных углов в плане; СОЖ; режущих пластин, подвергнутых термообработке.

8. Установлено влияние параметров срезаемого слоя, формы пластин, углов в плане, марок БВТС и обрабатываемых сталей, износа, СОЖ, условий работы на величину стойкости, скорости резания, составляющих силы и шероховатости обработанной поверхности.

9. Выявлен характер кривых "стойкость — скорость" (монотонный или экстремальный) в зависимости от параметров срезаемого слоя и других факторов. Показана возможность проведения опытов по многофакторной схеме при выявленном характере стойкостных кривых.

10. Предложены обобщенные формулы для расчета величины износа, стойкости, скорости резания, составляющих силы, шероховатости обработанной поверхности и энергозатрат.

11. Подтверждена эффективность использования резцов, оснащенных сплавом марки КНТ16, в поточно-массовом производстве: экономическими расчетами; промышленным использованием на головном заводе и филиалах ПО Зил.

12. Получен подтвержденный годовой экономический эффект от внедрения результатов исследований — 25,5 тысячи рублей.

Основное содержание диссертации опубликовано в работах:

1. Грубый С.В. Режущие свойства резцов из вольфрамсодержащих и безвольфрамовых твердых сплавов. — Обработка резанием (технология, оборудование, инструмент). — М.: НИИмаш, 1981, вып. 6, с. 19—21.

2. Грубый С.В., Цейтлин Л.Б. Исследование режущих свойств безвольфрамовых твердых сплавов. - В сб.: Проблемы производства и применения твердых сплавов: Тезисы докладов Всесоюзной научно-технической конференции. - М.: ЦНИИцветмет экономики и информации, 1981, с. 52-53.
3. Исследование и применение резцов, оснащенных безвольфрамовыми твердыми сплавами / С.В. Грубый, Л.Б. Цейтлин, Е.К. Зверев, В.Д. Колесниченко. - Технология автомобилестроения. - М.: НИИНавтопром, 1982, № 7, с. 23-26.
4. Грубый С.В. Особенности точения стали резцами из безвольфрамовых твердых сплавов. - Обработка резанием (технология, оборудование, инструмент). - М.: НИИмаш, 1982, вып. 7, с. 12-15.
5. Грубый С.В. Исследование режущих свойств резцов, оснащенных безвольфрамовыми твердыми сплавами. - В сб.: Механизация и автоматизация ручных и трудовмких операций в промышленности Кузбасса: Тезисы докладов научно-практической конференции. - Кемерово, 1982, с. 88-90.
6. Грубый С.В. Сила резания и энергзатраты при точении стали резцами из безвольфрамовых твердых сплавов. - Известия Вузов. Машиностроение, 1983, № 6, с. 109-113.
7. Грубый С.В., Зверев Е.К., Подураев В.Н. Определение стойкости резцов с использованием полиномиальных моделей. - Известия Вузов. Машиностроение, 1983, № 10, с. 118-125.
8. Грубый С.В. Исследование и применение резцов из безвольфрамовых твердых сплавов. - В сб.: Повышение эффективности производства механизацией и автоматизацией механосборочных и вспомогательных процессов в машиностроении: Тезисы докладов республиканской научно-технической конференции. - Ташкент, 1983, с. 158-159.
9. Грубый С.В., Зверев Е.К. Режущие свойства резцов, оснащенных безвольфрамовыми твердыми сплавами. - Вестник машиностроения, 1983, № 12, с. 41-45.

С. Грубый