

1547466

На правах рукописи

Виноградов Дмитрий Вячеславович

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ ОЦЕНКИ
РАБОТОСПОСОБНОСТИ БЫСТРОРЕЖУЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ

Специальность 05.03.01.

Процессы механической и физико-технической обработки,
станки и инструменты

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва, 1995

Работа выполнена в Московском ордена Ленина, ордена Октябрьской революции и ордена Трудового Красного Знамени Государственном техническом университете им. Н. Э. Баумана.

Научный руководитель - доктор технических наук, профессор
ДРЕВАЛЬ А. Е.

Официальные оппоненты - доктор технических наук, профессор
БОРЗОВ А. А. ;
кандидат технических наук,
старший научный сотрудник
БАЛКОВ В. П.

Ведущая организация - указана в решении Ученого Совета

Защита состои 40 1995 г. на заседании
диссертационного
техническом уни
Москва, 2-ая Ба
Ваш отзыв
чатку, просим н
С диссериа
мана. Телефон д

Авторефер

Ученый секрета
диссертационно

Подписано к п
Объем 1 п. л.

1547466

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы.

Развитие машиностроения и совершенствование технологических процессов предопределяют увеличение количества создаваемых конструкционных и инструментальных материалов. Однако вследствие неточного подбора инструментального материала для обработки новых конструкционных материалов и ошибок в назначении режимов резания при изменении условий эксплуатации происходит снижение стойкости режущих инструментов. Это приводит к непредвиденным отказам, повышенному расходу инструмента, снижению производительности труда. По данным различных исследователей, нецикловые простои металлорежущего оборудования и автоматических линий из-за смены и подналадки инструментов составляют 16... 33% от фонда времени работы.

В связи с этим перед технологами и исследователями встают задачи: определения области режимов резания для новых инструментальных материалов; сравнительных оценок инструментальных материалов между собой; подбора оптимального сочетания инструментального и обрабатываемого материалов. Разрабатываемые методы оценки работоспособности инструментальных материалов должны быть пригодны для использования на всех этапах "жизни" инструментов - при их проектировании, изготовлении и при различных условиях их эксплуатации.

Наиболее достоверным методом для решения данных задач являются стойкостные испытания, которые как из-за временных, так и экономических ограничений уже не позволяют успевать за появлением новых конструкционных и инструментальных материалов. Это заставляет разрабатывать ускоренные методы оценки работоспособности режущих инструментов. Хотя в последнее время интерес к этим работам несколько угас, потребность промышленности в разработке новых достоверных ускоренных методов определения (сравнения) работоспособности инструментальных материалов не уменьшается.

В силу вышеизложенного работа, посвященная разработке и исследованию методов оценки работоспособности режущих инструментов, представляется актуальной, так как позволяет сократить простои технологического оборудования, расходы инструмента и сроки освоения новых изделий и, как следствие, позволяет повысить технико-экономические показатели производства.

НТБ МГТУ им. Н.Э. Баумана



1547466

Виноградов Д.В. Исследования



Цели и задачи исследования.

На основании анализа научно-технических литературных источников, позволившего оценить состояние исследований в данном направлении, целью настоящего исследования является: разработка усовершенствованных методов оценки износостойкости режущих инструментов на основании анализа физических параметров процесса резания и свойств поверхностных слоев.

Для достижения указанной цели в работе были поставлены и решены следующие задачи:

- на базе положений современной теории разрушения и изнашивания твердых тел разработана модель изнашивания режущего инструмента;

- изучена зависимость износостойкости инструмента от свойств поверхностного слоя режущего клина; разработаны методы оценки качества поверхностного слоя режущего инструмента; выполнен анализ связи свойств поверхностных слоев инструмента с завершающими переходами технологического процесса изготовления режущих инструментов;

- разработаны ускоренные методики тестирования режущих инструментов, позволяющие определять режимы резания с целью обеспечения максимальной износостойкости и подбирать оптимальное сочетание инструментального и обрабатываемого материалов.

Методы исследования.

Теоретические и экспериментальные исследования проводились на базе разработанных общей и частных методик проведения исследований с использованием современных представлений теории резания металлов, теории вероятностей, математической статистики, корреляционно-регрессионного анализа и теории графов. При проведении экспериментов применялась современная измерительная и регистрирующая аппаратура и специально сконструированные приспособления. Для обработки и анализа экспериментальных данных использовался персональный компьютер.

В ходе экспериментальных исследований изучались зависимости характеристик изнашивания (интенсивности изнашивания, величины износа, стойкости и др.) от физических параметров процесса резания. Выполнено моделирование процесса резания точением быстрорежущими резцами различной конструкции. Для проведения анализа привлекались данные стойкостных испытаний различных инструментов

(фрез, сверл, метчиков), полученные другими авторами.

Научная новизна:

- теоретически обосновано и экспериментально подтверждено, что в основе изнашивания режущего инструмента лежат термоактивационные явления; показано, что интенсивность изнашивания определяется отношением мощности резания к температуре $PV^{0.4}$, являющимся обобщенным параметром, характеризующим процесс изнашивания;

- доказано, что параметры распределения величины микротвердости поверхности режущего инструмента являются информативными показателями, по которым можно судить о работоспособности инструмента; показано, что наиболее информативным показателем является эксцесс (четвертый момент) распределения величины микротвердости; установлена линейная зависимость между величиной изнашивания режущего инструмента и эксцессом распределения величины микротвердости.

Практическая ценность.

Разработаны и апробированы инженерные методики для:

- установления оптимального сочетания инструментальный-обрабатываемый материал;

- определения скорости резания, при которой интенсивность изнашивания режущего инструмента минимальна, что позволяет решать практические задачи выбора оптимального режима резания при значительном сокращении трудозатрат и расхода инструмента;

- оценки износостойкости инструментальных материалов и прогнозирования стойкости режущих инструментов по распределению микротвердости изнашиваемой поверхности, которые позволяют определять оптимальную технологию заточки и доводки инструмента, проводить сертификацию инструмента при его изготовлении;

- проведения сравнительных ускоренных исследований износостойкости инструментальных материалов и прогнозирования стойкости режущих инструментов, изготовленных из различных материалов.

Результаты работы внедрены в Институте структурной макрокинетики РАН (г.Черноголовка).

Апробация работы и публикации.

Основные результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на VIII Всесоюзной научно-технической конференции "Теплофизика технологических процессов" в г.Рыбинске в 1992 г.; на семинаре работников авиационной промышленности (г.Москва фев-

раль 1993 г.). Работа обсуждалась на научных семинарах кафедры "Процессы и инструментальные системы механической и физико-химической обработки" МГТУ им. Н.Э.Баумана. По результатам исследований опубликовано 4 печатные работы.

Структура и объем работы.

Диссертация состоит из введения, пяти глав, общих выводов, списка использованной литературы из 192 наименований и шести приложений. Работа изложена на 237 страницах и содержит 151 страницу машинописного текста, 71 рисунок и 30 таблиц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе рассмотрено состояние научных исследований по разработке методов оценки износостойкости режущих инструментов. Показано, что износостойкость инструментального материала является одним из основных показателей работоспособности режущего инструмента, выполнена классификация методов оценки износостойкости инструментальных материалов и прогнозирования стойкости режущих инструментов, а также изложен сравнительный анализ существующих методов. Показано, что:

- прямые методы оценки износостойкости дают наиболее достоверную информацию об износостойкости инструментальных материалов, но обобщают относительно небольшое количество параметров и условий резания, вследствие чего обросли большим количеством поправочных коэффициентов. Экстраполяция на условия обработки, отличные от условий, в которых получены зависимости стойкости инструментов, приводит к значительным погрешностям прогнозирования стойкости;
- косвенные методы оценки износостойкости, не использующие резание, позволяют производить качественное сравнение эксплуатационных характеристик инструментов. Для получения количественных оценок необходимо проводить дополнительные испытания;
- косвенные методы, использующие резание, позволяют производить количественное сравнение стойкости режущих инструментов, но точность определения значений стойкости невысока. Полученные зависимости носят в большинстве случаев эмпирический характер;
- методы, основанные на анализе энергетики зоны резания, позволяют сформировать модели изнашивания на качественном уровне

и установить взаимосвязь между стойкостью и исследуемыми параметрами и прогнозировать стойкость для других условий эксплуатации;

- большинство косвенных методов для оценки износостойкости инструментальных материалов используют одну отдельную характеристику процесса (силу, температуру, твердость и др.). В то же время методы, основанные на энергетике процесса резания, используют в качестве таких параметров комплексные характеристики, включающую в себя в явной или неявной форме ряд других;

- "энергетические" методы прогнозирования стойкости требуют для своего осуществления сложную аппаратуру, могут быть использованы как в производственных, так и в лабораторных условиях. Но многие из таких методов не доведены до практического использования, требуют проведения сложных расчетов и дополнительных исследований;

- большинство из рассмотренных методов не позволяют выбирать оптимальную арку инструментального материала из ряда возможных для обработки конкретного обрабатываемого материала и определять область применения нового инструментального материала;

- существующие методы оценки износостойкости инструментального материала и прогнозирования стойкости режущих инструментов в большинстве случаев не рассматривают особенности поверхностных слоев режущего клина, которые чаще всего определяют стойкость инструмента;

- большинство из описанных методов не позволяют прогнозировать стойкость режущих инструментов на этапе их изготовления и устанавливать зависимости стойкости режущих инструментов от технологии их изготовления.

Во второй главе изложены общая методика проведения исследований, основные методы и средства проведения экспериментов, обработки и анализа экспериментальных данных.

Исследование изнашивания режущих инструментов выполнено при моделировании процесса резания на резцах из различных быстрорежущих сталей. Выбор токарных резцов для проведения моделирования обусловлен тем, что резцы позволяют реализовать свободное и несвободное резание с постоянными параметрами срезаемого слоя и в широком диапазоне параметров режимов резания. В экспериментальных исследованиях использовались: специально изготовленные резцы их Р6М5 ($\alpha=10^\circ$, $\gamma=25^\circ$, $\phi=90^\circ$, $\phi_1=10^\circ$); резцы конструкции В.П.Пок-

ровского ($\gamma=0^\circ$, $\alpha=10^\circ$, $\varphi=45^\circ$, $\varphi_1=10^\circ$) из различных марок быстрорежущей стали: P9Ф5, P18Ф2, P9K5, P10K5Ф5, P18Ф2М, P18М, M5Ф5); призматические резцовые вставки ($\gamma=0^\circ$, $\alpha=10^\circ$, $\varphi=45^\circ$, $\varphi_1=45^\circ$) из безвольфрамового твердого сплава, полученного методом самораспространяющегося высокотемпературного синтеза в ИСМ РАН.

При изготовлении резцов обращалось особое внимание на выполнение операции заточки, которая проводилась в соответствии с рекомендациями ВНИИИнструмент. Резцы подвергались тщательному контролю геометрических параметров, а также контролю на обнаружение дефектов поверхностей и лезвий. Контроль осуществлялся на микроскопе УИМ-21.

Эксперименты проводились при точении без СОЖ различных обрабатываемых материалов: стали 20 (моделирование свободного резания), 45 и 40Х, чугуна СЧ21, дуралюминия Д16.

Основная часть экспериментальных исследований проводилась на токарных станках мод. 16К20С32 с ЧПУ 2Р22 и 1К62 в лаборатории кафедры "Процессы и инструментальные системы механической и физико-химической обработки" МГТУ им. Н.Э.Баумана. Сила резания измерялась специальным трехкомпонентным тензометрическим динамометром и универсальным динамометром УДМ-300 со стандартной регистрирующей аппаратурой. Сила резания, действующая на заднюю поверхность, определялась экстраполяцией на нулевые толщины срезаемого слоя. Температура резания измерялась методом естественной термопары. Измерение величины износа задней поверхности резцов осуществлялось как на микроскопе УИМ-21, так и непосредственно на станке при помощи специально сконструированного и изготовленного опτικο-механического устройства, выполненного на базе микроскопа "Биолам".

В результате проведения экспериментов устанавливались зависимости между характеристиками изнашивания (интенсивностью изнашивания, стойкостью, величиной износа) и физическими характеристиками процесса резания (силой P и температурой θ резания) и их комбинациями (PV , P/θ и PV/θ) при варьировании параметрами режима резания. Экспериментальные результаты аппроксимировались с использованием метода наименьших квадратов. В качестве базовых был использован ряд функций. Достоверность аппроксимации оценивалась по коэффициенту корреляции (корреляционному отношению), а также по среднеквадратическому отклонению аппроксимирующей функции от

экспериментальных данных.

При оценке взаимосвязи интенсивности изнашивания с физическими характеристиками процесса резания использовались методы корреляционного анализа. Решением "задачи о лидере" выявлялись наиболее сильные взаимосвязи между параметрами.

Для анализа и обобщения полученных научных результатов были привлечены данные экспериментов, выполненных сотрудниками кафедры, и работы автора для других видов инструментов (фрез, сверл, метчиков).

Для оценки свойств поверхностных слоев режущего клина инструмента производилось измерение распределения микротвердости. Для этого исследуемые поверхности полировались на различных шлифовальных шкурках и на полировальнике пастой ГОИ, после чего на приборе ПМТ-3 производилось измерение величины микротвердости в 50...100 точках поверхности. Статистический анализ распределения микротвердости показал, что рассеивание величины микротвердости обусловлено неоднородностью поверхности.

В третьей главе с позиций термоактивационной теории с применением методов теоретического и экспериментального анализа изучен процесс резания и изнашивания режущего инструмента.

Показано, что макроскопические характеристики процесса (температура в зоне резания, сила резания, изнашивание инструмента) являются результатом суммирования последствий множества элементарных актов. При разработке физических моделей процессов, представляющих собой множество актов взаимодействия единичных объектов, каждый из которых имеет свою энергетическую характеристику, - единственно возможным является вероятностный подход.

Закономерности протекания физико-химических процессов (перемещения и перегруппировки элементарных частиц, изменение их положения в кристаллической решетке и др.), определяются тем, что в них участвуют только те частицы вещества - молекулы, атомы, электроны, которые обладают энергией, не меньшей некоторого значения (называемого энергией активации E_a), необходимого для преодоления энергетического барьера, препятствующего течению процесса. Скорость физико-химических процессов зависит от той доли частиц, которые обладают энергией, превышающей энергию активации процесса. Относительное количество таких частиц определяется законами распределения частиц по состояниям - распределением Макс-

велла-Больцмана для молекул и атомов. Согласно этому распределению доля частиц (N_1/N) с энергией E_1 (вероятность пребывания частицы в состоянии с энергией E_1 или вероятность появления флуктуации энергии величины E_1) в любой момент времени определяется с отношением

$$p(E) = \frac{N_1}{N} = A \cdot \exp\left(-\frac{E_1}{k\theta}\right), \quad (1)$$

где A - функция физических параметров системы, характеризующая ее состояние; k - постоянная Больцмана; θ - абсолютная температура.

Для кинетики термоактивационных процессов в твердых телах решающее значение имеют флуктуации энергии ($E_{0л}$). Флуктуации энергии атомов во времени относительно средней величины энергии носят случайный характер и могут уменьшать величину энергии активации процесса ($E_{a2} = E_a - E_{0л}$). Вероятность того, что вследствие флуктуации энергия колебаний атома станет равной энергии активации данного процесса или превысит ее, и, следовательно, произойдет элементарный акт исследуемого процесса, определяется выражением (1). Количество таких актов в единице объема или в единицу времени определяет интенсивность (скорость) процесса и одновременно может рассматриваться как вероятность (частота) протекания процесса.

Изнашивание режущего инструмента в основном определяется следующими процессами:

- возникновением и разрушением адгезионных связей между поверхностью инструмента и обрабатываемым материалом;
- окислением глубинных и поверхностных слоев инструмента и прочностью сцепления окисных пленок с поверхностью инструмента;
- диффузией атомов инструментального материала в деталь и стружку и атомов обрабатываемого материала в инструмент;
- зарождением и ростом микротрещин в инструментальном материале, разупрочненном окислительными и диффузионными процессами;
- пластическим течением металла инструмента и его окислов;
- старением инструментального материала под воздействием высоких температур резания и знакопеременных нагрузок;
- сорбцией веществ на поверхностях инструмента, приводящей к снижению ее прочности.

Указанные процессы описываются математическими зависимостями

одинакового вида:

$$P_{пр.1} = C_1 \cdot \exp\left(-\frac{E_{a.1} + A_1}{k\theta}\right), \quad (2)$$

где $P_{пр.1}$, $E_{a.1}$, A_1 - вероятность протекания износа, энергия активации изнашивания и сторонняя работа при изнашивании под воздействием 1-ой причины; C_1 - постоянная.

Тогда вероятность разрушения (p) произвольного объема инструментального материала и, следовательно, интенсивность изнашивания (J) определяются как:

$$J = \text{const} \cdot p = p_0 \cdot \exp\left(-\frac{aE_a}{k\theta}\right) = J' \cdot \exp\left(-\frac{aE_a}{k\theta}\right), \quad (3)$$

где E_a - энергия активации процесса разрушения произвольного объема, p_0 , J' - постоянные.

Термоактивационный подход на аналитическом уровне применен для описания процесса разрушения припуска и для адгезионного изнашивания как наиболее характерного для быстрорежущего инструмента.

С использованием выражений, предложенных Бобровым В.Ф. и Журковым С.Н., было получено уравнение, связывающее свойства обрабатываемого материала и параметры обработки

$$\frac{1}{\theta} = \frac{\ln K_d - \ln V}{U_0 - \gamma_n \delta_n}, \quad \text{где } K_d = \frac{\Delta x \cdot \epsilon_0 \cdot \cos(\delta - \gamma_n)}{\cos \gamma_n}. \quad (4)$$

где V - скорость резания; γ_n - передний угол; δ - угол наклона плоскости скольжения; Δx - ширина полосы между двумя линиями скольжения; ϵ_0 - число колебаний атомов в единицу времени; θ - температура резания; U_0 - начальная энергия активации процесса разрушения при $\delta_n = 0$, δ_n - напряжение материала, обусловленное механической нагрузкой, уменьшающее начальную энергию активации на величину $\gamma_n \delta_n$; γ_n - структурно чувствительный коэффициент, определяющий степень уменьшения начального энергетического барьера под действием приложенного напряжения.

В соответствии с зависимостью (4) был обработан массив экспериментальных данных. Полученные зависимости близки к линейным, системы линий $1/\theta = f(\ln V)$ имеют веерообразный характер и при $V=0$ и $\theta=0$ образуют полюс, координаты которого определяются величинами U_0 , K_d и параметрами режима резания. Такой характер зависимостей подтверждает предположение о возможности использования термоакти-

вационной модели для описания процесса разрушения припуска при резании.

Рассмотрение изнашивания режущего инструмента как одного из явлений, сопровождающих процесс резания, позволили получить теоретические зависимости стойкости инструмента от скорости резания, имеющие экстремальный характер, что соответствует большинству экспериментальных результатов для резания пластичных материалов быстрорежущим инструментом. Данный результат подтверждает правильность термоактивационного подхода к изнашиванию режущего инструмента и правильность выражения (3).

Энергия активации изнашивания в общем случае не является величиной постоянной, а изменяется при изменении условий нагружения режущего инструмента. Это отличает разрушение поверхности режущего инструмента от случая "чистого" разрушения твердого тела, когда энергия активации разрушения постоянна для данного материала и не зависит от режима нагружения.

Логарифмирование выражения (3) позволяет записать формулу для определения энергии активации как тангенса угла наклона касательной к графику функции $\ln(J)=f(1/\theta)$:

$$(\ln J)' = \frac{d(\ln J)}{d(1/\theta)} = -A \cdot E_a + B. \quad (5)$$

Данное выражение позволяет определить величину энергии активации с точностью до постоянной B, зависящей от системы отсчета.

Для определения энергии активации при резании были проведены эксперименты по точению заготовок из сталей 20 и 40Х, серого чугуна СЧ21 и дуралюминия Д16. В связи с тем, что энергия активации может изменяться по мере развития износа, эксперименты проводились как на острозаточенных, так и на изношенных и искусственно затупленных резцах. Проведенные эксперименты позволили построить зависимости интенсивности изнашивания J, ее производной $(\ln J)'$, пропорциональной энергии активации и мощности резания $P_z^{3n}V$, приведенной к задней поверхности от величины $1/\theta$. После чего стало возможным построить зависимость энергии активации изнашивания задней поверхности от мощности резания на задней поверхности, которая показывает, что величина мощности резания $P_z^{3n}V$ и величина энергии активации E_a пропорциональны.

Поэтому, можно сделать вывод, что величина энергии активации

изнашивания по задней поверхности может быть определена с точностью до постоянной по величине мощности резания, приведенной к задней поверхности реза:

$$E_a = A - B \cdot P_z^{\alpha n} V, \quad (6)$$

где $P_z^{\alpha n}$ - главная составляющая силы резания, действующей на заднюю поверхность инструмента; A и B постоянные.

С учетом (3) можно записать выражение, позволяющее определять интенсивность изнашивания (и, следовательно, стойкость и величину износа) задней поверхности режущего клина по значению отношения мощности резания на задней поверхности к абсолютной температуре, названному обобщенным параметром.

$$J = J_0 \cdot \exp \frac{P_z^{\alpha n} \cdot V}{\theta}, \quad (7)$$

где J_0 - постоянная.

Показано, что физический смысл обобщенного параметра заключается в том, что он является термодинамическим потенциалом системы, не зависящим от пути, по которому система попала в это состояние, и характеризует ее устойчивость - состояние системы с минимальной величиной обобщенного параметра является наиболее устойчивым - в этом состоянии интенсивность изнашивания минимальна.

В четвертой главе представлена структурная схема и графы связи факторов процесса изнашивания режущего инструмента. На основе анализа графа показано, что фактором, наиболее полно отражающим совокупность свойств инструментального материала, определяющих износостойкость (интенсивность изнашивания), является твердость поверхности.

Разработана система оценки информативности физических параметров, сопровождающих процесс резания и характеризующих состояние инструмента. Рассмотрены взаимосвязи интенсивности изнашивания со следующими параметрами, выступающими в качестве диагностических признаков: с силой (P), температурой (θ) и мощностью (PV) резания, а также с отношением силы резания к температуре (P/θ) и мощности резания к температуре (PV/θ). Анализ показал, что наиболее информативным диагностическим признаком состояния инструмента и хода процесса является обобщенный параметр.

Показано, что термоактивационный подход к описанию изнашивания режущего инструмента применим для различных видов режущих

инструментов (резцов, фрез, сверл, метчиков), изготовленных из быстрорежущих сталей и твердого сплава, при обработке указанных выше конструкционных материалов.

Для рассмотренных инструментальных материалов установлено, что величина обобщенного параметра PV/θ , приведенная к задней поверхности, характеризует величины интенсивности изнашивания, массового износа и наработки для всего исследованного диапазона скоростей (исключение в некоторых случаях составляет область скоростей резания до 0,13 м/с). Установлено, что при толщине срезаемого слоя менее 0,05 мм и при обработке некоторых материалов (например, серого чугуна) величина обобщенного параметра с точностью, допустимой в инженерных расчетах, может быть определена с использованием главной составляющей силы резания.

Показан экстремальный характер зависимости величины обобщенного параметра от скорости резания. Данная зависимость качественно совпадает с зависимостью характеристик изнашивания (интенсивности изнашивания, стойкости и др.). Минимальные значения обобщенного параметра и интенсивности изнашивания наблюдается при близких значениях скорости резания.

На базе большого экспериментального материала для резцов, концевых и дисковых фрез, сверл, метчиков показано, что характеристики изнашивания режущих инструментов, такие как интенсивность (J) и скорость (u) изнашивания, стойкость (T), наработка до фиксированного износа (L), величина износа при данной наработке (h) и др. могут быть описаны при помощи обобщенного параметра (PV/θ) посредством выражения вида:

$$\ln (J, u, T, L, h) = A + B \cdot (PV/\theta). \quad (8)$$

Установлено что использование обобщенного параметра позволяет производить сравнение обрабатываемости различных конструкционных углеродистых сталей и серого чугуна при резании инструментами, изготовленными из одного инструментального материала. В то же время сравнивать обрабатываемость металлов различных групп по величине обобщенного параметра не представляется возможным. Обобщенный параметр позволяет производить сравнительное прогнозирование работоспособности резцов из различных инструментальных материалов при обработке одного конструкционного материала. Показана линейная зависимость обобщенного параметра от величины износа задней поверхности, что позволяет производить диагностирование

состояния режущего инструмента.

Экспериментально подтверждена возможность использования обобщенного параметра для описания изнашивания по передней поверхности.

На базе термоактивационного подхода к процессу резания и изнашивания режущих инструментов разработаны и опробованы следующие методики для:

- определения оптимальной скорости резания для данного инструмента; прогнозирования стойкости и величины износа режущих инструментов;
- сравнения износостойкости режущих инструментов, изготовленных из различных инструментальных материалов при точении одного конструкционного материала;
- сравнения износостойкости инструментов при обработке различных конструкционных материалов;
- диагностирования состояния режущего инструмента в процессе работы.

В пятой главе показано, что процессы изнашивания режущего инструмента и вдавливания индентора в поверхность материала при измерении твердости являются процессами одной термоактивационной природы и, следовательно, для оценки износостойкости поверхности может использоваться величина микротвердости. Однако величина микротвердости характеризует свойства поверхности инструмента только в данной точке, поэтому для оценки износостойкости поверхности необходимо использовать параметры распределения величины микротвердости, такие как: среднее значение, среднее квадратическое отклонение, асимметрия, эксцесс и коэффициент вариации распределения.

Из анализа литературных источников известно, что между износостойкостью материалов и микротвердостью наблюдается взаимосвязь. Наиболее точно эта зависимость описывается "принципом Шарпи", в соответствии с которым износостойкость поверхности определяется не столько ее средней твердостью, сколько оптимальным сочетанием мягкой основы материала с твердыми включениями.

Выполнена оценка износостойкости режущих инструментов в зависимости от параметров распределения микротвердости. Методами теории графов определено, что наиболее информативным признаком является эксцесс (четвертый момент) распределения величины мик-

ротвердости. Теоретически показана и экспериментально подтверждена для различных условий резания линейная зависимость износостойкости режущего инструмента от эксцесса распределения величины микротвердости и установлена математическая формулировка "принципа Шарпи" для быстрорежущего инструмента:

$$T_{\text{ш}} = A + B \cdot \beta, \quad (9)$$

где $T_{\text{ш}}$ - стойкость инструмента; β - эксцесс распределения величины микротвердости; A и B - постоянные коэффициенты.

Установлено, что величину дефектного слоя на поверхности режущего клина можно оценить при помощи начального и приработочного износов. Величина дефектного слоя определяется физико-химическими свойствами инструментального материала и зависит от параметров режимов шлифования и заточки инструмента. Теоретически показана и экспериментально подтверждена для различных условий резания линейная зависимость начального и приработочного износов от эксцесса распределения величины микротвердости.

Данные теоретические и экспериментальные результаты позволили разработать ускоренные методики, позволяющие:

- производить сравнение износостойкости режущих инструментов, изготовленных при различных параметрах режимов затачивания и из различных инструментальных материалов;
- прогнозировать стойкость режущих инструментов.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. На базе теории разрушения и изнашивания твердых тел обосновано и экспериментально подтверждено, что в основе изнашивания режущего инструмента лежат термоактивационные явления. Время, скорость и вероятность разрушения элемента поверхности инструмента, и, следовательно, интенсивность изнашивания пропорциональны $\text{EXP}(E_a/\theta)$, где E_a - энергия активации процесса изнашивания, θ - абсолютная температура. Показано, что энергия активации может быть оценена по величине мощности резания PV , действующей на изнашиваемую поверхность.

2. Приведенное к изнашиваемой поверхности отношение мощности резания к абсолютной температуре резания PV/θ является обобщенным параметром, определяющим интенсивность изнашивания инструментов и другие характеристики изнашивания.

3. Обобщенный параметр является термодинамическим потенциалом системы, не зависящим от пути, по которому система попала в это состояние, и характеризует ее устойчивость. Состояние системы с минимальной величиной обобщенного параметра является наиболее устойчивым – в этом состоянии интенсивность изнашивания минимальна.

4. На базе большого экспериментального материала показано, что для различных видов режущих инструментов – резцов, фрез, сверл, метчиков – существует устойчивая корреляционная взаимосвязь между величиной обобщенного параметра PV/θ и характеристиками изнашивания. При толщинах срезаемого слоя меньше 0,05 мм обобщенный параметр может быть определен с использованием главной составляющей силы резания.

5. Установлено, что характеристики изнашивания режущих инструментов, такие как интенсивность (J) и скорость (u) изнашивания, стойкость (T), наработка до фиксированного износа (L), величина износа при данной наработке (h) и др. могут быть описаны при помощи обобщенного параметра (PV/θ) посредством выражения типа:

$$\ln (J, u, T, L, h) = A + B \cdot (PV/\theta).$$

Данная закономерность положена в основу разработанных усовершенствованных методик оценки износостойкости режущих инструментов, позволяющих:

- прогнозировать стойкость инструмента и величину износа;
- сравнивать износостойкости режущих инструментов, изготовленных из различных инструментальных материалов при точении одного конструкционного материала, а также сравнивать износостойкости инструментальных материалов при обработке различных конструкционных материалов;
- диагностировать состояние режущего инструмента.

6. Изменение величины обобщенного параметра от скорости резания имеет экстремальный характер и качественно совпадает с характером изменения интенсивности изнашивания от скорости, что положено в основу разработанного метода определения оптимальной скорости резания.

7. На основе анализа графа связей факторов, определяющих изнашивание режущего инструмента установлено, что микротвердость (твердость) поверхности режущего клина является фактором, оказывающим наибольшее влияние на процесс изнашивания. Износостойкость

режущих инструментов определяется характером распределения микротвердости на поверхности, при этом наиболее информативным параметром является эксцесс (четвертый момент) распределения величины микротвердости.

8. Износостойкость режущего инструмента линейно зависит от величины эксцесса распределения микротвердости, что положено в основу разработанных ускоренных методик оценки износостойкости инструментов, позволяющих:

- производить сравнение износостойкости режущих инструментов, изготовленных по различной технологии и изготовленных из различных инструментальных материалов;
- прогнозировать стойкость режущих инструментов.

Основное содержание диссертационной работы нашло свое отражение в опубликованных работах:

1. Виноградов Д.В., Древаль А.Е. Термофлуктуационный подход к изнашиванию режущего инструмента // Теплофизика технологических процессов: тезисы докладов VIII конференции / Под ред. В.Ф.Безъязычного. - Рыбинск, 1992. - С.20-21.

2. Виноградов Д.В. Оценка качества быстрорежущего инструмента // Известия вузов. машиностроение. - 1993. - №10-12. - С.121-125.

3. Прогнозирование износостойкости режущего инструмента на основе принципа Шарпи и разработка аппаратного комплекса его реализации (направление 1): Отчет о НИР (заключ.) / МГТУ; Руководитель А.Е.Древаль - Н ГБ 3.3/93. - М., 1993. - 103с.

4. Виноградов Д.В., Кашаева Э.А. Оценка износостойкости быстрорежущих инструментов по параметрам распределения микротвердости // Известия вузов. Машиностроение. - 1994. - №1-3. - С.95-101.