

На правах рукописи

Бибик Владислав Леонидович

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СРАВНИТЕЛЬНОЙ СТОЙКОСТИ
ВЕРШИН МНОГОГРАННЫХ ТВЕРДОСПЛАВНЫХ РЕЖУЩИХ
ПЛАСТИН ПО ИХ ТЕМПЕРАТУРОПРОВОДНОСТИ

Специальность 05.03.01 – Процессы механической и физико-термической
обработки, станки и инструмент

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Томск – 2000

Работа выполнена в Томском политехническом университете

Научный руководитель – кандидат технических наук,
доцент Пушных В.А.

Официальные оппоненты - доктор технических наук,
профессор Утешев М.К.

кандидат технических наук,
доцент Козлов В.Н.

Ведущая организация – ОАО «Сибэлектромотор»

Защита состоится 27 июня 2000 г. в 15 часов на заседании
диссертационного Совета К 063.80.04 при Томском политехническом
университете по адресу: 634034, г. Томск, ул. Белинского, 53а.

Автореферат разослан

Ученый секретарь
диссертационного совета,
доктор технических наук,
профессор

Саруев Л.А.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Вследствие своего состава и технологии изготовления твердосплавные пластины обладают разбросом физико-химических характеристик, что приводит к большому разбросу износостойкости, которая для пластинок одной марки, но разных партий изготовления может отличаться в десятки раз, в пределах одной партии изготовления - в несколько раз, для разных вершин одной и той же пластинки - 1,5-3 раза.

В то же время станки с ЧПУ, работающие без участия оператора, предъявляют повышенные требования к однородности режущих свойств твердосплавных пластинок. Кроме этого в современном машиностроительном производстве широко применяются сборные режущие инструменты, например торцевые фрезы, при использовании которых в процессе резания одновременно участвуют несколько пластинок. Если эти пластинки обладают большим разбросом стойкости, то при использовании интенсивных режимов резания возникает опасность, что некоторые из них выйдут из строя преждевременно. Это может привести либо к браку, либо к поломке дорогостоящего инструмента. В связи с этим задача предсказания периода стойкости твердосплавных пластин представляется весьма актуальной.

Цель работы заключается в разработке высокопроизводительного метода прогнозирования стойкости твердосплавного режущего инструмента, используя коэффициент температуропроводности инструментального материала.

Методы исследования. Теоретические исследования проводились на основе кинетической теории прочности, теории усталости, теории дислокаций и математического моделирования с использованием современных средств вычислительной техники. Экспериментальные исследования выполнялись в лабораторных условиях по схеме однофазного эксперимента и включали в себя

определение периода стойкости и коэффициента температуропроводности твердосплавных многогранных пластин методом Паркера.

Научная новизна.

1. Получены уравнения зависимости износостойкости инструмента от его температуропроводности инструментального материала, измеренной в зоне износа, которые показали наличие тесной корреляционной связи между этими параметрами. Пластины с низким коэффициентом температуропроводности характеризуются более низким износом на начальной и нормальной стадии изнашивания.

2. Разработан высокопроизводительный метод прогнозирования стойкости каждой вершины партии сменных многогранных твердосплавных пластин по изменению их коэффициента температуропроводности.

3. Предложено уравнение, показывающее качественную связь между коэффициентом температуропроводности и плотностью дислокаций в материале.

4. Предложена методика сравнительного анализа интенсивности адгезионно-усталостного износа партии твердосплавного инструмента на основе кинетического уравнения прочности. В качестве информационного параметра для расчета интенсивности износа использовался коэффициент температуропроводности материала твердосплавных пластин.

Практическая ценность работы. Предложена методика прогнозирования стойкости каждой вершины партии твердосплавных пластин по их коэффициенту температуропроводности. Отличительные особенности метода - высокая производительность и минимальные затраты труда.

Апробация и публикации. Содержание и основные результаты диссертационной работы были доложены и обсуждены на всероссийском научно-практическом семинаре «Инструмент XXI века - шаг в будущее» - г. Кемерово (2000 г.); на региональной научно-технической конференции «Новые материалы в машиностроении» - г. Тюмень (1997 г.); на пяти научных

конференциях филиала ТПУ в г. Юрге (1996, 1997, 1998, 1999, 2000 гг.); на научных семинарах кафедр «Технология машиностроения, резание и инструмент» ТПУ (1997, 1998, 1999, 2000 гг.), «Станки и инструменты» ТюмГНГУ (2000 г.) и «Технология машиностроения» филиала ТПУ в г. Юрге.

По содержанию работы и основным результатам исследований опубликовано 7 печатных работ, подана заявка на патент (№ 2000107230), получено положительное решение о выдаче авторского свидетельства на полезную модель.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, общих выводов, списка литературы и приложений. Работа представлена на 161 странице и содержит 105 страниц машинописного текста, 41 рисунок, 11 таблиц, список литературы из 122 источника.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении изложена актуальность темы и представлена общая характеристика диссертации. Сформулированы цель, научная новизна и практическая ценность работы.

В первой главе рассмотрены причины рассеивания стойкости твердосплавных режущих инструментов, установлено, что достаточно часто твердосплавный инструмент эксплуатируется со скоростями резания, соответствующим адгезионно-усталостному износу, приведен аналитический обзор существующих способов прогнозирования стойкости режущих инструментов. Способы прогнозирования периода стойкости режущих инструментов можно разделить на три группы.

В первую группу входят способы, основанные на измерении некоторых характеристик процесса резания, например термо-ЭДС, сила резания и т. п., связанных со стойкостью инструмента. Для реализации этих способов необходимо кратковременное проведение процесса резания данным

инструментом в условиях близких к эксплуатационным. Существенным недостатком этой группы прогнозирования являются затраты времени, труда, материалов, связанные с необходимостью проведения процесса резания.

Ко второй группе относятся способы, основанные на различных теоретических моделях изнашивания режущих инструментов. Аналитические методы прогнозирования лишены недостатков присущих первой группе, но в ряде случаев формулы для расчета периода стойкости имеют трудноопределимые или неизвестные параметры.

В третью группу входят способы, основанные на связи стойкости инструмента с каким-либо физическим свойством инструментального материала, количественные характеристики которого могут быть измерены без проведения резания. Способы этой группы достаточно легко и быстро реализуются с помощью универсальной или специальной аппаратуры.

Как показал анализ литературы, недостаточно изучены способы из третьей группы, использующие теплофизические характеристики инструментального материала. Влияние теплофизических характеристик инструментального материала на температуру резания и интенсивность износа изучалось в работах А.Н. Резникова, М.Ф. Полетики, М.Х. Утешева и др. исследователей. Именно температура резания является одним из определяющих факторов интенсивности износа инструмента. Следовательно, теплофизические свойства инструментального материала, существенно влияя на эту температуру, будут влиять и на интенсивность износа инструмента.

Исходя из аналитического обзора литературы были сформулированы следующие задачи работы:

1. Разработать методику определения коэффициента температуропроводности каждой вершины сменной многогранной твердосплавной пластины.
2. Определить характер и степень влияния усталостных повреждений материала на коэффициент температуропроводности.
3. Оценить характер и степень влияния коэффициента температуропроводности на интенсивность износа инструмента.

проводности инструментального материала на износостойкость.

4. Разработать методику сравнительного анализа интенсивности износа партии твердосплавных пластин.

5. Разработать метод прогнозирования стойкости режущего инструмента, используя коэффициент температуропроводности инструментального материала.

Во второй главе изложена методика экспериментальных исследований. Учитывая форму, размеры и теплофизические характеристики материала твердосплавных пластинок, для измерения коэффициента температуропроводности был выбран метод «вспышки», который позволяет произвести определение температуропроводности за несколько секунд.

Измерение температуропроводности проводилось двумя способами. В первом способе лицевая поверхность образца, начальная температура которого поддерживалась на определенном уровне, подвергалась воздействию равномерно распределенного импульсного нагрева. На тыльной стороне образца регистрировалась хронологическая термограмма (двухсторонний способ). При втором способе нагревалась лицевая поверхность образца и регистрировалась хронологическая термограмма охлаждения этой же поверхности (односторонний способ). Схемы измерения температуропроводности приведены на рис. 1.

Нагрев образца осуществлялся импульсом лазера на стекле с неодимом (длина волны 1,06 мкм, длительность импульса 4 ms, энергия 1,3÷14 Дж, диаметр нагреваемой области на поверхности образца - 4÷9 мм). Изменение температуры нагреваемой поверхности осуществлялась прибором ТАУ-4 (спроектирован и изготовлен в Томском политехническом университете) и фиксировалась на осциллографе с запоминающей электронно-лучевой трубкой.

Генератор импульсов служил для задержки запуска осциллографа на время излучения неодимового лазера (при одностороннем способе). Гелий-неоновый лазер, работающий в видимой части спектра, необходим для настройки оптического канала. Для разделения теплового излучения образца (длина волны 2-8 мкм) и отраженного лазерного импульса (длина волны 1,06 мкм), при одностороннем способе измерения температуропроводности, использовался фильтр из германия, который устанавливался у приемного окна ТАУ-4. Типовые термограммы представлены на рис. 2.

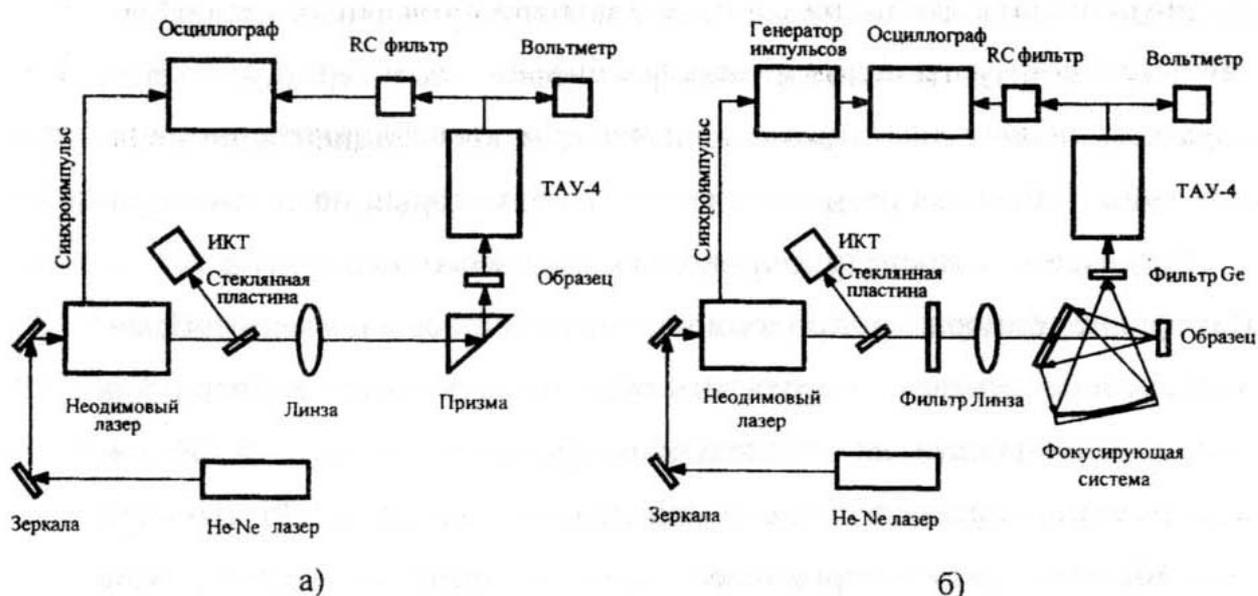
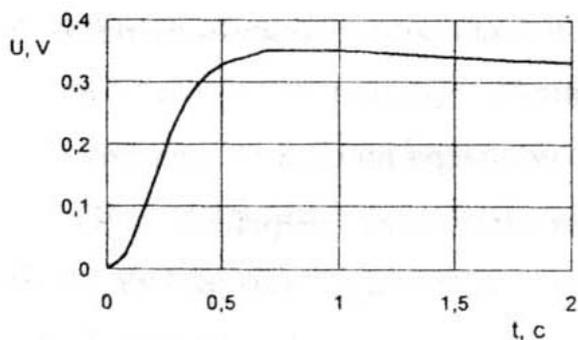
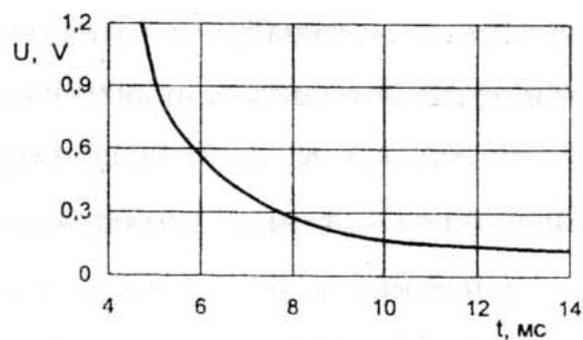


Рис. 1 Схема измерения температуропроводности: а) двухсторонний метод; б) односторонний метод



а)



б)

Рис. 2 Типовые термограммы: а) двухсторонний метод; б) односторонний метод

При двухстороннем способе, для определения температуропроводности применялась формула Паркера

$$a = 0,139L^2/\tau_{0,5} \quad (1)$$

где $\tau_{0,5}$ - половина времени достижения максимальной температуры на тыльной поверхности образца; L - толщина образца.

При одностороннем способе температуропроводность находилась из теоретического уравнения, описывающего стадию охлаждения образца в цилиндрических координатах

$$T(x, r) = \frac{W}{c\rho L} \left[1 + 2 \sum_{n=1}^{\infty} \cos n\pi x \cdot \exp(-n^2 \pi^2 F_0) \right] \times \left[1 + 2 \sum_{m=1}^{\infty} \frac{J_1(Z_m R_H/R) J_0(Z_m r/R)}{(Z_m R_H/R) J_0^2(Z_m)} \exp\left(-Z_m^2 \frac{L^2}{R^2} F_0\right) \right] \quad (2)$$

где J_0, J_1 - функция Бесселя первого рода нулевого и первого порядков; Z_m - положительные корни характеристического уравнения: $J_1(Z)=0$; W - поглощенная энергия; c - теплоемкость; ρ - плотность; $F_0 = a\tau/L^2$ - критерий Фурье (безразмерное время); L - толщина образца; a - температуропроводность; τ - время; R - радиус образца; R_H - радиус зоны нагрева.

Методика исследования влияния степени деформации конструкционных материалов на коэффициент температуропроводности включала в себя измерение коэффициента температуропроводности исходных образцов из различных конструкционных материалов, деформацию образцов на гидравлическом прессе и измерение коэффициента температуропроводности деформированных образцов.

Изложена методика проведения стойкостных экспериментов. В качестве обрабатываемого материалов применялась сталь марки 40Х. Установлен

критерий износа передних поверхностей - ширина лунки износа 0,8 мм. В процессе резания измерялась температура резания методом естественной термопары.

В третьей главе отмечены особенности адгезионно-усталостного износа, определен характер влияния усталостных повреждений материала на коэффициент температуропроводности, разработан метод расчета интенсивности адгезионно-усталостного износа твердосплавного инструмента в партии пластин.

Анализ эксплуатации режущего инструмента в производственных условиях показал, что достаточно часто твердосплавный инструмент эксплуатируется со скоростями резания, соответствующим температурам в зоне резания до 900°C, т.е. при скоростях резания меньших скорости, соответствующей точке перегиба кривой зависимости износа от скорости резания. На этом участке с увеличением температуры резания стойкость инструмента увеличивается. Принято считать, что эта зона температур соответствует адгезионно-усталостному износу.

Поэтому в первую очередь сделана попытка связать усталостные характеристики материала с его теплофизическими характеристиками.

Согласно представлениям многих исследователей процесс накопления и развития усталостных повреждений связан с микро и макропластическим течением материала, который определяется процессами рождения, движения, размножения и гибели линейных дефектов - дислокаций. Плотность дислокаций возрастает с ростом числа циклов нагружения и увеличением амплитуды нагрузки. Повышение плотности дислокаций вызывает разрыхление материала, образование микро и макротрещин.

Установлено, что по коэффициенту температуропроводности можно судить о процессах накопления и развития усталостной повреждаемости. Плотность дислокаций можно представить как

$$\rho' = S^2 / 6\pi a \gamma^2 b^2 v , \quad (3)$$

где S - скорость звука; a - коэффициент температуропроводности; γ - постоянная Грюнайзена; b - вектор Бюргера; ν - частота колебания дислокации.

Таким образом, анализируя формулу (3) можно сказать что, при накоплении усталостных повреждений, т.е. при увеличении плотности дислокаций, коэффициент температуропроводности материала уменьшается.

Процесс пластического деформирования при действии циклических нагрузок имеет много общего с пластической деформацией, вызванной статическими нагрузками, несмотря на то, что в первом случае значительного формообразования образца в макроскопическом масштабе может и не наблюдаться.

При пластическом деформировании металлов и сплавов происходит постепенное накопление различного рода дефектов кристаллической решетки и, прежде всего дислокаций, число дислокаций по мере развития деформации будет расти.

Поэтому для проверки гипотезы о влиянии плотности дислокаций на коэффициент температуропроводности, был проведен эксперимент по установлению влияния степени деформации на температуропроводность конструкционных материалов.

На рис. 3 представлено сравнение средних значений коэффициентов температуропроводности в партиях образцов из различных конструкционных материалов до и после деформации.

Оценка существенности различия между средними значениями температуропроводности до и после деформации производилась по критерию Стьюдента с доверительной вероятностью 0,95.

Деформация образцов из материала ст3 в два раза привела к уменьшению температуропроводности на $12 \div 15\%$, образцов из материала Сталь 45 - $10 \div 13\%$, алюминиевого сплава Д1Т - $9 \div 14\%$. Деформация латуни ЛС63-1 в 1,7 раза привела к уменьшению температуропроводности на $11-16\%$.

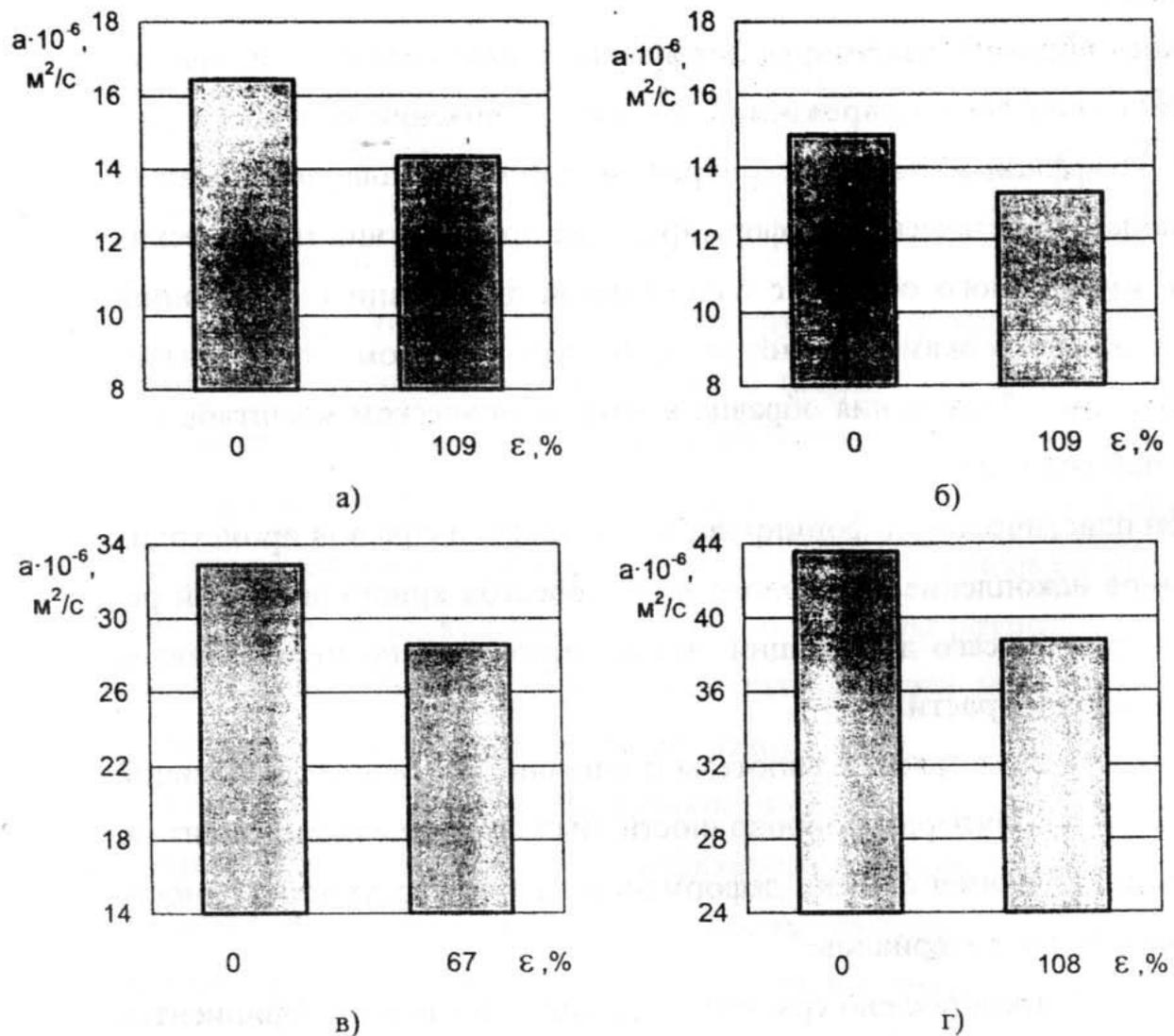


Рис. 3 Влияние степени деформации на коэффициент температуропроводности: а) Ст3; б) сталь 45; в) ЛС63-1; г) Д1Т.

Таким образом, увеличение плотности дефектов кристаллической решетки приводит к уменьшению коэффициента температуропроводности. Следовательно коэффициент температуропроводности можно считать структурно-чувствительной характеристикой материала и использовать в качестве информационного параметра для прогнозирования работоспособности режущих инструментов.

Установлено, что при скоростях резания, соответствующих адгезионно-усталостному износу, изнашивание режущего инструмента происходит путем

накопления дефектов кристаллической решетки в кобальтовой связке. При достижении критической плотности дислокаций в кобальтовой связке происходит возникновение и дальнейший рост трещины, что приводит к вырыванию зерна карбидной фазы.

Допуская, что на карбидное зерно действует срезающая нагрузка с пилообразным законом нагружения, и принимая упрощение, что карбидное зерно имеет шарообразную форму, для расчета времени до разрушения кобальтовой связки и выкрашивания карбидного зерна, применено кинетическое уравнение прочности, в котором заменено нормальное напряжение σ на касательное напряжение τ_* .

Долговечность карбидного зерна (t_p) можно найти из уравнения

$$\int_0^{t_p} \frac{dt}{\tau_0 \exp \frac{U_0 - \gamma \tau_*(t)}{kT}} = 1, \quad (4)$$

где k - постоянная Больцмана; T - температура испытания; U_0 - энергия межатомной связи; τ_0 - период тепловых атомных колебаний; γ - активационный объем, т.е. объем в котором образуется зародышевая трещина.

Активационный объем является структурно-чувствительным параметром и определяется как функция коэффициента температуропроводности.

Интенсивность износа можно определить

$$J = V/t_p, \quad (5)$$

где V - объем карбидного зерна.

Измеряя коэффициент температуропроводности инструментального материала в партии пластин, можно рассчитать сравнительную интенсивность износа режущего инструмента в партии.

Проведен расчет интенсивности адгезионно-усталостного износа при обработке конструкционной стали 40Х резцом с твердосплавной пластиной марки MP7. Температура на контактных поверхностях определялась по методике А.Н. Резникова, температуропроводность твердосплавных пластин определялся экспериментально. Для одной из пластин расчетное значение интенсивности износа составило 0,12 мм/мин, экспериментальное - 0,01 мм/мин. Учитывая сделанные допущения и принимая во внимание сложность физических процессов, приводящих к износу инструмента, такое несоответствие экспериментального и теоретического значения интенсивности износа можно считать удовлетворительным результатом.

В четвертой главе представлены результаты экспериментальных исследований по прогнозированию стойкости твердосплавного инструмента. Для анализа степени влияния температуропроводности на стойкость инструмента были отобраны следующие типы многогранных твердосплавных пластин:

- MP7 (9% Co, 6% TiC, 85% WC), производства SANDVIK-MKTC,
- P35 (9% Co, 91% WC, трехслойное покрытие TiC-Ti(CN)-TiN), производства Швеции.

Пластины с видимыми дефектами были отбракованы на оптическом микроскопе. Стойкость пластин марки MP7 определялась при точении стали 40Х на следующем режиме резания: $V=200$ м/мин, $S=0,18$ мм/об, $t=1$ мм. Критерий износа - ширина лунки износа 0,8 мм. Стойкость пластин марки P35 определялась при точении стали 40Х на следующем режиме резания: $V=175$ м/мин, $S=0,18$ мм/об, $t=1$ мм. Критерий износа - ширина ленточки износа по задней поверхности 0,4 мм.

Температуропроводность определялась по методике, изложенной выше. При одностороннем методе температуропроводность измерялась по передней или задней поверхности вблизи вершины пластины.

Определены коэффициенты корреляции между стойкостью твердосплавных пластин и их коэффициентом температуропроводности. Соответствующие корреляционные поля и графические зависимости представлены на рис. 4-6. Уравнения регрессии и коэффициенты корреляции представлены в табл. 1.

На рис. 7. даны кривые износа пластин марки МР7, имеющих наименьшее, среднее и наибольшее значение коэффициента температуропроводности. Очевидно, что пластины с низким коэффициентом температуропроводности характеризуются более низким износом на начальной и нормальной стадии изнашивания. Это означает, что коэффициент температуропроводности является параметром, влияющим на различные типы износа.

Предложен способ прогнозирования стойкости режущих инструментов, который осуществляется следующим образом. Определяется температуропроводность каждой вершины партии твердосплавных пластин. Подвергается испытанию резанием несколько выборочно взятых пластин партии при точении заготовки на выбранном режиме. Критерием для оценки режущих свойств инструмента может служить ширина фаски износа по задней поверхности, глубина или ширина лунки износа по передней поверхности после резания в течении времени, необходимого для достижения участка нормального износа. Строится градуировочный график зависимости ширины фаски износа от коэффициента температуропроводности. Из графика по значениям коэффициента температуропроводности каждого контролируемого инструмента определяются режущие свойства всей партии твердосплавных инструментов.

Использование предлагаемого способа позволяет осуществлять экспресс-контроль режущих свойств твердосплавных инструментов одной партии, по результатам контроля назначать более производительные режимы механообработки, полностью использовать режущие способности инструмента.

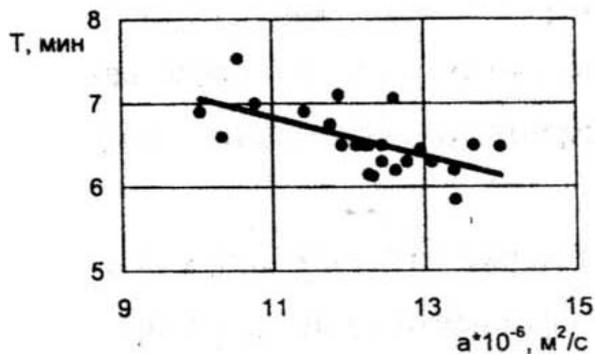


Рис. 4 Корреляционное поле и функция $T(a)$ для пластин марки МР7 (двухсторонний метод)

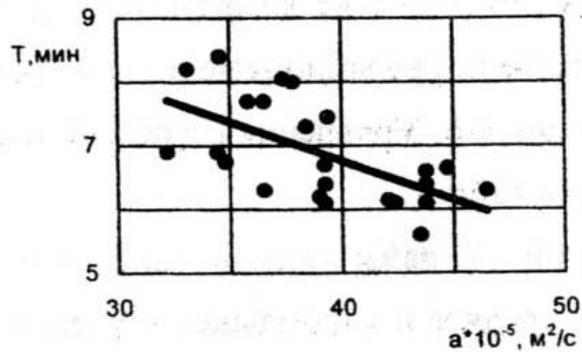


Рис. 5 Корреляционное поле и функция $T(a)$ для пластин марки МР7 (односторонний метод)

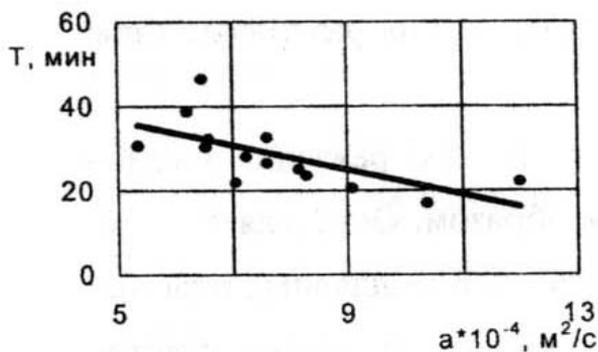


Рис. 6 Корреляционное поле и функция $T(a)$ для пластин марки Р35 (односторонний метод)

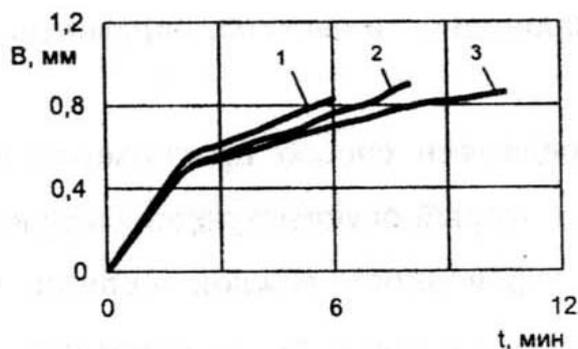


Рис. 7 Кривые износа пластин МР7 с различными значениями температуропроводности
 1 - $43,5 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}$;
 2 - $39,2 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}$;
 3 - $34,6 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}$

Таблица 1

Материал пластины	Метод	Уравнение регрессии	Коэффициент корреляции
МР7	односторонний	$T=11,65 - 0,12a$	-0,62
МР7	двухсторонний	$T=9,38 - 0,23a$	-0,63
Р35	односторонний	$T=51,18 - 2,92a$	-0,66

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ

1. Накопление усталостных повреждений в материале вызывает изменение его теплофизических характеристик. При увеличении плотности дислокаций, температуропроводность материала уменьшается.

2. Коэффициент температуропроводности является структурно-чувствительной характеристикой материала и может быть использован в качестве информационного параметра для прогнозирования работоспособности режущих инструментов.

3. Методика расчета сравнительной интенсивности износа твердосплавного инструмента на основе кинетического уравнения прочности при скоростях резания, соответствующих зоне адгезионно-усталостного износа, дает удовлетворительные результаты.

4. Между температуропроводностью и стойкостью режущего инструмента существует тесная корреляционная связь. Пластины с низким коэффициентом температуропроводности имеют большую стойкость.

5. Коэффициент температуропроводности позволяет определять и прогнозировать стойкость режущих инструментов, оснащенных твердосплавными пластинами.

6. Разработан способ прогнозирования работоспособности каждой вершины партии сменных многогранных твердосплавных пластин по изменению их коэффициента температуропроводности.

7. Сортировка пластин по периоду стойкости уменьшает вероятность поломки многолезвийного инструмента, при использовании интенсивных режимов резания дает возможность полностью использовать режущие способности инструмента.

8. Результаты диссертационной работы использованы на ОАО «Юргинский машиностроительный завод» с положительным экономическим эффектом.

Основное содержание диссертации изложено в работах:

1. Пушных В. А., Бибик В. Л. Прогнозирование стойкости режущего инструмента по его теплофизическим свойствам // Инструмент Сибири. - 2000. - № 1. - С.23-25.
2. Пушных В. А., Бибик В. Л. Расчет интенсивности адгезионно-усталостного износа режущего инструмента // Ред. журн. «Изв. вузов. Физика». - Томск, 2000. - 12 с. - Деп. в ВИНТИ. № 426-ВОО.
3. Вавилов В. П., Пушных В. А, Ципилев В. П., Ширяев В. В., Бибик В. Л. О связи температуропроводности с механическими характеристиками конструкционных материалов // Новые материалы и технологии в машиностроении: Материалы региональной научно-техн. конф. 19-21 ноября 1997 г. -Тюмень: ТюмГНГУ. - С.110-111.
4. Бибик В. Л. Экспериментальная установка для определения связи между температуропроводностью и накоплением усталостных повреждений в конструкционном материале // XI научная конф.: Труды. - Юрга: Изд. ТПУ, 1998. - С.73.
5. Бибик В. Л. Прогнозирование износостойкости режущего инструмента путем измерения его теплопроводности // Сборник тезисов и трудов IX научно-практ. конф. - Юрга: Изд. ТПУ, 1996. - С.35-36.
6. Бибик В. Л. Прогнозирование работоспособности режущих инструментов по их теплофизическим характеристикам // XII научная конф.: Труды. - Юрга: Изд. ТПУ, 1999. - С.118-119.
7. Вавилов В. П., Пушных В. А, Ципилев В. П., Ширяев В. В., Бибик В.Л. Исследование связи между температуропроводностью и механическими характеристиками конструкционных материалов //Сборник тезисов и трудов X научно-практ. конф. - Юрга: Изд. ТПУ, 1997.-С.21.