М 493335

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СССР ПО ОБРАЗОВАНИЮ
Московское ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции
и ордена Трудового Красного Знамени высшее техническое
училище имени Н.Э. Баумана

НА ПРАВАХ РУКОПИСИ
НЕ ОБЯЗАТЕЛЬНО

На правах рукописи

РАФИКОВ Равиль Чингизович

УДК 621.951.45 - 192:621.785.53

ИССЛЕДОВАНИЕ НАДЕЖНОСТИ И РАЗРАБОТКА РАЦИОНАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ ЭКСПЛУАТАЦИИ УПРОЧНЕННОГО БЫСТРОРЕЖУЩЕГО ОСЕВОГО ИНСТРУМЕНТА

Специальность 05.03.01 - Процессы механической и физико-химической обработки, станки и инструмент

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

МОСКВА 1988

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 ДРЕВАЛЬ А.Е.

Официальные оппоненты - доктор технических наук
ЖЕДЬ В.П.
кандидат технических наук
ГРУБЫЙ С.В.

Ведущее предприятие - указано в решении Ученого Совета

Защита состоится "30" января 1989 г. на заседании специализированного совета К 053.15.15 в Московском высшем техническом училище им. Н.Э. Баумана по адресу: 107005, Москва. Б-5, 2-ая Бауманская ул., д.5.
С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке МВТУ имени Н.Э. Баумана.

[illegible]экземпляре, заверенный
[illegible]му адресу.

[illegible]1988 г.

П.М. Чернянский

М-49333

Подписано к печати
21.12.88 г.
Тир. 100 экз.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. В программном документе "Основные направления экономического и социального развития СССР на 1986 - 1990 годы и на период до 2000 года" перед машиностроением поставлены задачи всемерной интенсификации производства, сокращения сроков освоения новой техники, снижения себестоимости и улучшения качества выпускаемой продукции. Для решения этих задач необходимо повысить надежность всех составляющих технологических систем, одной из которых является металлорежущий инструмент.

Более 60% деталей машин имеют отверстия. Сверление, зенкерование и развертывание - одни из самых распространенных операций в машиностроительном производстве. Для повышения стойкости быстрорежущих сверл, зенкеров и разверток используют различные упрочняющие технологии, однако существует ряд объективных причин, сдерживающих их повсеместное использование.

Области применения некоторых упрочняющих технологий четко не определены. Недостаточно исследованы вопросы влияния упрочняющих технологий на показатели надежности инструмента. Для некоторых типов упрочненных осевых инструментов не определены режимы рациональной эксплуатации. Стойкость упрочненных инструментов в научно-технической литературе дается укрупненно и рассматривается как детерминированная величина. В нормативной литературе влияние упрочняющих технологий на стойкость, износ и нормы расхода инструмента практически не учитывается. Это затрудняет прогнозирование отказов упрочненных инструментов и организацию системы рациональной его эксплуатации.

Поэтому исследования надежности упрочненных быстрорежущих осевых инструментов, направленные на совершенствование условий их эксплуатации, являются актуальными.

Целью работы является определение областей рациональной эксплуатации и оценка надежности упрочненных быстрорежущих сверл, зенкеров и разверток на основе изучения физических закономерностей их изнашивания при обработке углеродистых конструкционных сталей.

Методы исследований. Экспериментальные исследования осуществлялись на основе разработанных общей и частных методик. Исполь-

М 493335

НТБ МГТУ им. Н.Э. Баумана
1493335
Рафиков Р.Ч. Исследование н

МГТУ им. Н.Э. Баумана
БИБЛИОТЕКА

зовались методы моделирования, статистических испытаний, разделы теории резания, теории вероятностей и математической статистики, планирования экспериментов.

Исследования проводились в лабораторных и производственных условиях. В лабораторных условиях проведены исследования особенностей изнашивания упрочненных инструментов, физических явлений, сопровождающих процесс резания упрочненным инструментом – сил, моментов резания, термоэлектродвижущей силы, сил адгезии между обрабатываемым и упрочненным инструментальным материалами, нароростообразования. В производственных условиях выполнены статистические испытания упрочненных быстрорежущих осевых инструментов для установления модели их отказов, определения основных показателей надежности, а также их зависимостей от вида упрочнения инструмента.

При проведении исследований использовалась современная контрольно-измерительная аппаратура, а также специальные приспособления. Для анализа и аппроксимации экспериментальных данных использовалась ЭВМ "Электроника 100-25", результаты представлены в виде математических зависимостей.

Научная новизна. На основе теоретических и экспериментальных исследований установлены физические закономерности формирования отказов упрочненных сверл, зенкеров и разверток и разработана модель их отказов при обработке углеродистых конструкционных сталей, позволяющая определить основные показатели надежности инструментов. На основе феноменологического подхода установлена зависимость интенсивности износа быстрорежущего инструмента от физико-механических и эксплуатационных свойств инструментального материала, изменяющихся в результате упрочнения, которая учитывает действие адгезионной и абразивной составляющих износа. Установлено влияние микротвердости упрочненного инструментального материала внутри одной упрочняющей технологии на силу адгезии обрабатываемого и упрочненного материалов. Установлено, что распределения наработки и износа упрочненных быстрорежущих осевых инструментов согласуются с законом Гаусса, характеристики распределений зависят от вида упрочняющей технологии. Получены стойкостные модели упрочненных сверл в широком диапазоне изменения скоростей и подач резания. Установлена взаимосвязь изменений, произошедших в результате упрочнения инструмента, характеристик распределений

осевой силы, крутящего момента и термоэлектродвижущей силы с характеристиками распределения интенсивности изнашивания.

Практическая ценность. Разработана методика ускоренной оценки эффективности упрочняющей технологии в конкретных условиях эксплуатации инструмента. Получены математические зависимости для расчета показателей надежности упрочненных сверл диаметром свыше 7,0 мм. Установлены общие стойкостные зависимости для сверл, упрочненных методами карбонитрации, ионного азотирования, лазерной закалки, электроискрового легирования твердым сплавом Т15К6 и обработанных паром, в широком диапазоне скоростей и подач резания при обработке углеродистых конструкционных сталей. Эти зависимости используются для разработки нормативов режимов резания. Разработаны критериальные уравнения для определения величин допустимого износа упрочненных сверл, с помощью которых устанавливаются нормы износа и расхода инструмента и организуется планово-предупредительная замена инструмента. С использованием полученных в результате исследований математических зависимостей разработана последовательность действий для оценки основных показателей надежности упрочненного быстрорежущего осевого инструмента и его технико-экономических показателей.

Разработанные на основе исследований рациональные режимы эксплуатации упрочненных сверл внедрены на предприятии А-1096 с экономическим эффектом 21600 руб. в год.

Апробация работы и публикации. Основные результаты работы доложены на Республиканской конференции "Автоматизация производственных процессов в машиностроении", Фрунзе, 1986 г., на Всесоюзной конференции "Интенсификация технологических процессов механической обработки", Ленинград, 1986 г. и неоднократно на научном семинаре кафедры "Технология машиностроения и режущий инструмент" МВТУ им. Н.Э. Баумана. По результатам работы опубликовано четыре печатных работы.

Объем работы. Диссертация состоит из введения, шести глав и общих выводов, списка литературы из 97 наименований, приложения, содержит 214 страниц, из них текста 141 стр., рисунков 54, таблиц 36.

Содержание работы

Во введении на основании программных документов по развитию

машиностроения обоснована актуальность темы и дана общая направленность работы.

В первой главе представлен литературный обзор работ, выполненных по исследованию процесса резания упрочненным быстрорежущим инструментом. Показано, что наиболее широкое распространение для упрочнения быстрорежущего инструмента получили карбонитрация, ионное азотирование, лазерная закалка, обработка паром, электроискровое легирование твердым сплавом, цианирование и покрытие TiN . Показано, проведены обширные исследования влияния упрочняющих технологий на стойкость быстрорежущих инструментов, их износ, на физические явления, сопровождающие процесс резания, физико-механические и эксплуатационные свойства быстрорежущих сталей.

Анализ ранее проведенных исследований показал, что имеются существенные разногласия в оценке влияния упрочняющих технологий на стойкость быстрорежущего осевого инструмента. Влияние упрочняющих технологий на основные виды износа быстрорежущего инструмента изучено недостаточно. Не установлены взаимосвязи характеристик распределений износа, стойкости, физических показателей, сопровождающих процесс резания, с видом упрочняющей технологии, а также влияние параметров режима резания на эти характеристики для упрочненных инструментов.

Недостаточно изучены вопросы установления критериев допустимого износа упрочненного быстрорежущего осевого инструмента и их зависимость от параметров режима резания и, как следствие, не установлены нормы стачивания упрочненного инструмента. Вопросы надежности упрочненных быстрорежущих инструментов находятся в стадии разработки. Методики ускоренных испытаний упрочненного быстрорежущего инструмента разработаны недостаточно.

Анализ данных литературного обзора позволил выяснить состояние вопроса и сформулировать основные задачи исследований:
- установить механизм влияния упрочняющих технологий на основные виды износа быстрорежущего осевого инструмента и интенсивность его протекания;
- установить влияние упрочняющих технологий на характеристики распределений крутящего момента, осевой силы и ТЭДС при обработке быстрорежущим осевым инструментом; оценить взаимосвязь между этими показателями и характеристиками распределений износа уп-

рочненных инструментов.
- разработать методику определения эффективности упрочнения для конкретных условий эксплуатации быстрорежущего инструмента;
- разработать методику определения сил адгезии и коэффициента трения между инструментальным и обрабатываемым материалом для оценки поверхностных упрочнений;
- исследовать физические основы формирования отказов упрочненного быстрорежущего осевого инструмента, установить модели отказов;
- установить влияние упрочняющих технологий на основные показатели надежности быстрорежущего осевого инструмента - безотказность, ремонтопригодность и долговечность;
- установить стойкостные модели и области рациональной эксплуатации быстрорежущих осевых инструментов с различными поверхностными упрочнениями при обработке углеродистых конструкционных сталей;
- сформировать исходные данные для разработки нормативной документации режимов сверления и норм расхода инструмента с учетом упрочняющих технологий;
- провести промышленное опробывание и внедрение результатов исследований.

Во второй главе содержатся общая и частные методики проведения лабораторных и производственных исследований, а также обработки и анализа экспериментальных данных.

В качестве объекта исследований выбраны сверла, зенкеры и развертки, изготовленные из стали Р6М5 и упрочненные методами карбонитрации, ионного азотирования, электроискрового легирования твердым сплавом Т15К6, цианирования, лазерной закалки, обработанные паром и с покрытием TiN .

Лабораторные исследования проведены в МВТУ им. Н.Э. Баумана. Обрабатывались сквозные отверстия глубиной, равной трем диаметрам инструмента, в заготовках из углеродистой конструкционной стали 45 на вертикально-сверлильном станке с ЧПУ мод. 2Р135 Ф2. Производственные испытания проведены на машиностроительных заводах при обработке деталей основного производства на автоматических линиях и агрегатных станках. Обрабатывались сквозные отверстия в углеродистых конструкционных сталях марок 35, 40Х, 40Р. Параметры режима резания соответствовали принятым в автоматизированном производстве. В качестве СОТС использовался 5% водный раствор эмульсола "Укринол-1" по ТУ 38-01197 - 76.

Инструмент подвергался тщательному контролю на соответствие его требованиям ГОСТ и чертежам заводов-изготовителей, после чего формировались партии инструмента объемом 25...30 шт., с близкими параметрами в пределах допустимых отклонений.

В лабораторных исследованиях износ инструмента измерялся с помощью специальных приспособлений, без снятия его со станка. В производственных испытаниях - с помощью лупы Бринеля, цена деления 0,05 мм.

Измерение осевой силы и крутящего момента при обработке отверстий осуществлялось с помощью электродинамометра УДМ-600 со стандартной регистрирующей аппаратурой, измерение термоэлектродвижущей силы - методом естественной термопары.

Для исследования сил адгезии между обрабатываемым и упрочненным инструментальным материалом была изготовлена специальная установка на базе токарного станка, включающая динамометрическую оправку, систему нагружения и стандартную регистрирующую аппаратуру.

При проведении лабораторных исследований использовались методы многофакторного планирования экспериментов. При производственных испытаниях применялись планы NUN , NUr ГОСТ 27.002-83.

Анализ результатов экспериментов осуществлялся с использованием элементов теории вероятностей и математической статистики. Экспериментальные данные обрабатывались на ЭВМ "Электроника 100-25".

Третья глава посвящена исследованию особенностей изнашивания упрочненного быстрорежущего осевого инструмента.

Выполнен теоретический анализ влияния упрочняющих технологий на физико-механические и эксплуатационные свойства быстрорежущих сталей. Установлено, что интенсивность изнашивания быстрорежущего инструмента определяется влиянием упрочнения на прочностные и фрикционные свойства, теплостойкость, склонность к адгезии инструментального материала. Значительное влияние на интенсивность износа оказывает скорость резания, которая определяет температуру рабочих поверхностей инструмента. На основе феноменологического подхода предложена модель интенсивности изнашивания быстрорежущего инструмента с учетом абразивной и адгезионной составляющих износа. Зависимость интенсивности изнашивания от физико-механических и эксплуатационных свойств, управляемых применением упрочняю-

щих технологий, имеет вид:

$$T = C_1 v^{z_1} \cdot \frac{\gamma_K^{x_1}}{\sigma_{в.ч} \cdot K} + C_2 v^{z_2} \frac{q_0}{\sigma_T^{x_2}} \cdot M$$

Представлены результаты лабораторных исследований влияния упрочняющих технологий и параметров режима резания на вид превалирующего износа упрочненного быстрорежущего осевого инструмента. Установлено, что вид преобладающего износа при одинаковых условиях эксплуатации упрочненных инструментов зависит от метода упрочнения. Так при сверлении углеродистых конструкционных сталей со скоростью резания v = 0,46 м/с и подачей S = 0,175 мм/об для инструмента упрочненного методами карбонитрации, ионного азотирования и электроискрового легирования Т15К6 превалирующим является адгезионный износ, при лазерной закалке и обработке паром на указанных режимах преобладает абразивный износ. Показано, что в пределах одного вида упрочняющей технологии вид превалирующего износа зависит от режимов эксплуатации инструмента. Так, для карбонитрированного инструмента при скоростях резания от 0,163 м/с до 0,23 м/с и подачах от 0,1 мм/об до 0,175 мм/об преобладает абразивный износ, а при скоростях резания более 0,23 м/с и подачах, превышающих 0,175 мм/об, преобладает адгезионный износ.

Проведенные лабораторные и производственные исследования показали, что время и износ приработочного периода для быстрорежущего осевого инструмента зависят от режимов эксплуатации и вида упрочняющей технологии. В пределах одного метода упрочнения увеличение скорости резания с 0,163 м/с до 0,645 м/с приводит к снижению средней величины приработочного износа примерно на 40%, а среднее время приработочного периода уменьшается втрое, такая же картина наблюдается при увеличении подачи. На режимах, характерных для автоматизированного производства, цианирование, карбонитрация и электроискровое легирование твердым сплавом Т15К6 увеличивают среднюю величину приработочного износа примерно на 50%, лазерная закалка не изменяет средней величины приработочного износа.

Экспериментально установлено наличие рассеивания времени и износа приработочного периода быстрорежущего осевого инструмента. Упрочняющие технологии стабилизируют эти величины, что выражается в снижении коэффициентов вариации значений времени и износа приработочного периода. Исключение составляет электроискровое

легирование твердым сплавом Т15К6, которое увеличивает коэффициенты вариации этих величин.

В результате производственных испытаний установлено, что рассеивание интенсивности износа в период нормального износа упрочненных инструментов согласуется с законом Гаусса, характеристики распределений определяются видом упрочняющей технологии.

В четвертой главе приведены результаты исследований физических явлений, сопровождающих процесс резания упрочненными быстрорежущими инструментами осевого типа.

Показано, что упрочняющие технологии влияют на характеристики распределений - осевой силы, крутящего момента и термоэлектродвижущей силы. Установлено, что распределения указанных показателей согласуются с законом Гаусса. Установлена взаимосвязь между изменением характеристик распределений физических показателей и изменением характеристик интенсивности износа быстрорежущего инструмента после упрочнения. По результатам лабораторных и производственных испытаний разработана методика ускоренных испытаний, которая позволяет оценить эффективность упрочняющей технологии в конкретных условиях эксплуатации инструмента. Методика основана на сравнении характеристик распределений осевой силы, крутящего момента и термоэлектродвижущей силы до и после упрочнения инструмента.

Представлена разработанная в результате теоретических и лабораторных исследований методика определения силы и коэффициента адгезии между упрочненным инструментальным и обрабатываемым материалами. Методика основана на измерении крутящего момента, возникающего при трении двух цилиндрических образцов, при постоянном давлении. В результате трения образуются ювенильные поверхности и происходит адгезионное схватывание между поверхностями упрочненного инструментального и обрабатываемого материалов. Величину силы адгезии оценивают по возникающему максимальному крутящему моменту. Методика предназначена для сравнительных оценок материалов с различными поверхностными упрочнениями. Установлено, что микротвердость не является определяющим параметром при сравнительной оценке различных упрочняющих технологий. В пределах одной упрочняющей технологии микротвердость упрочненного инструментального материала находится в тесной обратной корреляционной связи с силой адгезии. Это позволяет посредством

варьирования технологическими параметрами технологических режимов упрочнения, изменяющими микротвердость инструментального материала, оказывать влияние на силы адгезии между инструментальным и обрабатываемым материалами.

Показано, что при обработке углеродистых конструкционных сталей упрочняющие технологии влияют на высоту нароста и диапазон скоростей его устойчивого существования. Зависимости высоты нароста от скорости резания носят экстремальный характер, для карбонитрации на этой зависимости наблюдаются два экстремума.

В пятой главе представлены результаты исследований надежности упрочненных быстрорежущих осевых инструментов.

На примере сверл, упрочненных методами карбонитрации, цианирования, лазерной закалки и электроискрового легирования твердым сплавом Т15К6, а также разверток, упрочненных методом ионного азотирования, показано, что кривые износа указанных инструментов имеют идентичный характер. На кривых износа задних поверхностей имеется незначительный участок приработки, на кривых износа уголков и ленточек участок приработки отсутствует. Участок нормального износа для всех рабочих элементов линейный, участок катастрофического износа отсутствует. Это говорит о том, что отказы указанных инструментов происходят в период нормального износа. Аналогичные результаты получены и для других типов инструментов при эксплуатации их в условиях автоматизированного производства. Семейства реализаций износа испытанных упрочненных быстрорежущих осевых инструментов имеют вид переплетающихся кривых, что подтверждает случайный характер протекания процесса изнашивания.

В результате проведенных статистических испытаний установлены виды и причины отказов упрочненных быстрорежущих осевых инструментов. Для упрочненных сверл характерным является отказ функционирования, который выражается в потере режущих свойств, признаками отказов служат звуковые явления - "щелчки", для упрочненных зенкеров и разверток - параметрический отказ, который выражается в потере точности или увеличении шероховатости обработанной поверхности. Показано, что модель формирования отказов упрочненного быстрорежущего осевого инструмента сводится к схеме формирования постепенного отказа с рассеиванием начальных параметров (исключение составляют сверла Ø 27,5 мм обработанные по методу электроискрового легирования твердым сплавом Т15К6) .

Действие упрочняющих технологий проявляется в изменении интенсивности износа $\bar{J}_i$ и изменении начальных параметров – времени t_n и износа h_n приработочного периода, а также величины допустимого износа h_g. Предложена зависимость для определения вероятности безотказной работы упрочненных быстрорежущих осевых инструментов в виде:

$$P(t) = 0{,}5 + \Phi\left[\frac{\bar{h}_g - \bar{h}_n - \bar{J}_i\,(T' - \bar{t}_n)}{\sqrt{\sigma_g^2 + \sigma_{J_i}^2\,(T' - \bar{t}_n)^2}}\right]$$

Приведены результаты статистических испытаний упрочненных сверл, зенкеров и разверток, из которых видно, что в условиях автоматизированного производства применение карбонитрации, цианирования, ионного азотирования, лазерной закалки позволяет повысить среднюю наработку до отказа и наработку с вероятностью 0,9 и 0,95 в 2...3 раза. Применение электроискрового легирования твердым сплавом Т15К6 также позволяет повысить среднюю наработку до отказа, однако снижает наработку с вероятностью 0,95. Показано, что распределение наработки до отказа упрочненных быстрорежущих осевых инструментов согласуются с законом Гаусса, приведены характеристики распределений для всех испытанных партий упрочненных инструментов.

Установлено, что зависимости интенсивности отказов упрочненных быстрорежущих осевых инструментов от наработки имеют характерные зоны – нормальной работы и старения. Карбонитрация, цианирование, лазерная закалка, ионное азотирование снижают интенсивность отказов в период нормальной работы инструмента и более четко обозначают зону старения.

Для определения влияния упрочняющих технологий на ремонтопригодность быстрорежущих инструментов рассматривалось среднее время восстановления работоспособного состояния. Показано, что наилучшей ремонтопригодностью из исследованных упрочняющих технологий обладают инструменты, обработанные по методу ионного азотирования.

Долговечность инструмента определяется величиной допустимого износа его рабочих элементов. Упрочняющие технологии изменяют эту величину. Установлено, что распределения величин допустимого износа рабочих элементов упрочненных быстрорежущих осевых инструментов согласуются с законом Гаусса. Показано, что независимо от

типоразмера упрочненного инструмента величина съема за одну переточку определяется износом ленточки в момент отказа. Для определения долговечности упрочненных инструментов рассматривался назначенный ресурс. Предложена зависимость для определения назначенного ресурса в виде:

$$T_p = \bar{T}_0 \left(\frac{l_n}{\bar{h}_{л0} + 3 S_{л0}} \right).$$

Карбонитрация, цианирование и ионное азотирование увеличивают среднюю наработку до отказа $\bar{T}_0$, не изменяют допустимую величину среднего износа ленточки $\bar{h}_{л0}$ и ее среднеквадратическое отклонение $S_{л0}$ при отказах в сравнении с неупрочненным инструментом. Лазерная закалка и электроискровое легирование твердым сплавом Т15К6 в условиях автоматизированного производства не оказывают практического влияния на долговечность быстрорежущего осевого инструмента, т.к. увеличивая среднюю наработку до отказа, эти упрочняющие технологии одновременно увеличивают износ ленточек при отказе инструмента.

По результатам производственных испытаний выполнено обобщение влияния упрочняющих технологий на основные показатели надежности в условиях автоматизированного производства.

Шестая глава содержит результаты лабораторных исследований стойкостных зависимостей, а также зависимости допустимого износа упрочненных сверл от основных технологических параметров процесса сверления.

Стойкостные зависимости интенсивности износа и критериальные уравнения построены с использованием методов многофакторного планирования. Использован некомпозиционный ротатабельный план второго порядка. В качестве упрочняющих технологий выбраны карбонитрация, ионное азотирование, лазерная закалка, обработка паром и электроискровое легирование твердым сплавом Т15К6. Сверла эксплуатировались до функционального отказа.

Диапазон варьирования параметров режимов резания скорость резания от 0,165 м/с до 0,645 м/с, подача от 0,09 мм/об до 0,26 мм/об выбран таким образом, чтобы исследовать правую часть общей стойкостной зависимости $T - v$, которая имеет экстремальный характер.

Стойкостные зависимости получены в виде:

$$T = B_{02} \cdot v^{B_5} \cdot S^{B_6} \cdot d^2 \cdot HB^{-2,24}$$

Установлено влияние скорости и подачи резания на интенсивность износа задних поверхностей, уголков и ленточек упрочненных сверл. Аппроксимирующие зависимости даны в виде:

$$J = b_{03} \cdot v^{b_7} S^{b_8} d^2$$

Показано, что зависимости интенсивности износа указанных рабочих элементов упрочненных сверл от скорости резания носят монотонно-возрастающий характер. Это говорит о том, что механизм изнашивания качественно не изменяется во всем исследованном скоростном диапазоне, а именно происходит одновременно абразивный и адгезионный износ. Нелинейность указанной зависимости говорит о наличии доминирующего фактора. Монотонность зависимостей интенсивности износа - скорость резания подтверждает правильность предложенной феноменологической зависимости, а именно влияния скорости резания на интенсивность износа инструмента.

В результате исследований установлено, что параметры режима резания оказывают неоднозначное влияние на величину допустимого износа по задним поверхностям упрочненных быстрорежущих сверл. Для сверл, упрочненных методами ионного азотирования, электроискрового легирования твердым сплавом Т15К6, лазерной закалки и обработанных паром получены критериальные зависимости в виде:

$$h_{з.кр} = b_0 \cdot v^{b_1} S^{b_2} d$$

Для сверл, упрочненных по методу карбонитрации, критериальная зависимость имеет вид: $h_{з.кр} = 0{,}033\, d$.

Получены зависимости износа ленточек при отказе упрочненных быстрорежущих сверл в виде:

$$h_л = b_{01} \cdot v^{b_3} S^{b_4} d$$

Проведенное сравнение расчетных значений допустимого износа по задним поверхностям и ленточкам с полученными в результате производственных испытаний показало, что ошибка расчетных значений износа не превышает 15...25%.

Проведен технико-экономический анализ влияния упрочняющих технологий и параметров режима резания на стоимость и производительность при сверлении. Показано, что минимум себестоимости наблюдается при различных скоростях резания, в зависимости от вида упрочнения. Минимум стоимости и максимум производительности не совпадают. На низких скоростях резания не наблюдается оче-

видного преимущества какого-либо метода упрочнения, с точки зрения стоимости и производительности.

Получены значения коэффициентов для зависимостей стойкости, интенсивности износа и допустимого износа в исследованном диапазоне режимов резания для указанных упрочняющих технологий.

Показана последовательность действий для расчета с помощью зависимостей интесивности износа, стойкости и величин допустимого износа основных показателей надежности.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. В диссертационной работе дано решение актуальной научной и практической задачи - повышение надежности быстрорежущих осевых инструментов при обработке углеродистых конструкционных сталей посредством выбора рациональных видов упрочнения и установления рациональных параметров режимов резания для упрочненного инструмента.

2. На основе комплексных исследований физических основ формирования отказов упрочненных инструментов, а также статистических испытаний, проведенных в производственных условиях, получены математические модели, позволяющие рассчитывать основные показатели надежности упрочненных быстрорежущих осевых инструментов.

3. На основании теоретического анализа с использованием феноменологического подхода предложена зависимость интенсивности изнашивания быстрорежущего инструмента от физико-механических и эксплуатационных свойств инструментального материала, изменяемых в результате применения упрочняющих технологий. Зависимость учитывает адгезионную и абразивную составляющие износа и имеет вид:

$$J = C_1 v^{z_1} \cdot \frac{\gamma_K^{x_1}}{\sigma_{в\,ч} \cdot K} + C_2 v^{z_2} \frac{q_0}{\sigma_T^{x_2}} \cdot M.$$

4. Предложена методика определения сил адгезии и коэффициента адгезии K между обрабатываемым и упрочненным инструментальным материалами. Установлено, что в пределах одной упрочняющей технологии микротвердость инструментального материала корреляционно связана с возникающей силой адгезии. Это позволяет оказывать влияние на коэффициент адгезии K посредством изменения технологических режимов упрочнения.

5. Интенсивность изнашивания упрочненных быстрорежущих сверл, зенкеров и разверток зависит от вида упрочняющей технологии, размеров инструмента и условий его эксплуатации. На режимах резания, характерных для автоматизированного производства, к статистически значимому снижению интенсивности изнашивания приводят ионное азотирование, электроискровое легирование твердым сплавом Т15К6, лазерная закалка, обработка паром, цианирование и, в некоторых случаях , карбонитрация, тогда как покрытие TiN не оказывает заметного влияния на интенсивность изнашивания быстрорежущего осевого инструмента. При этом указанные упрочняющие технологии, за исключением электроискрового легирования и покрытия TiN , не увеличивают рассеивание интенсивности изнашивания.

6. Установлена взаимосвязь изменений, произошедших в результате упрочнения инструмента, характеристик распределений осевой силы, крутящего момента и термоэлектродвижущей силы с характеристиками распределения интенсивности изнашивания. Разработана методика выбора вида упрочнения для конкретных условий эксплуатации инструмента. Методика основана на сравнении характеристик распределений физических показателей, сопровождающих процесс резания, до и после упрочнения инструмента.

7. Производственные испытания показали, что распределения наработки и износа быстрорежущих осевых инструментов согласуются с законом Гаусса, характеристики распределений зависят от вида упрочнения. Карбонитрация, цианирование, лазерная закалка, ионное азотирование снижают коэффициент вариации наработки и износа по сравнению с неупрочненным инструментом. Покрытие TiN и электроискровое легирование твердым сплавом Т15К6 увеличивают коэффициент вариации указанных показателей.

8. Установлено, что в условиях автоматизированного производства отказы упрочненных сверл, зенкеров и разверток диаметрами от 7,0 до 30 мм происходят, в основном, из-за постепенного накопления износа рабочих элементов инструментов. Предложена модель формирования отказов упрочненных инструментов, а также зависимости для расчета плотности вероятности наработки до отказа $f(t)$ и величины вероятности безотказной работы $P(t)$.

9. Допустимые величины износа задних поверхностей и ленточек упрочненных сверл зависят от вида упрочнения и параметров ре-

ма резания. Предложены критериальные уравнения и установлены значения их коэффициентов для расчета величины допустимого износа инструментов с различными видами упрочнения в широком диапазоне варьирования v и S_o, вида:

$$h_{з(1).кр.} = b_{0(01)} \cdot v^{b_{1(3)}} S^{b_{2(4)}} d$$

10. Разработана общая зависимость наработки для спиральных сверл, упрочненных следующими методами: карбонитрацией, ионным азотированием, электроискровым легированием твердым сплавом Т15К6, лазерной закалкой и обработкой паром для широкого диапазона варьирования скоростей и подач резания, которая имеет вид:

$$T = b_{02} \cdot v^{b_5} \cdot S^{b_6} d^2 \cdot HB^{-2,24}$$

11. В результате производственных и лабораторных исследований сформирован массив исходных данных для разработки нормативов режимов резания, износа и расхода упрочненных быстрорежущих сверл.

12. На основании результатов исследований разработаны рациональные режимы эксплуатации упрочненных быстрорежущих сверл. Внедрение рациональных режимов эксплуатации на предприятии А-1096 позволило повысить наработку с заданной вероятностью, среднюю наработку до отказа и долговечность упрочненных сверл. Экономический эффект от внедрения составил 21600 руб. в год.

Основные положения диссертации опубликованы в работах:

1. Рафиков Р.Ч. Влияние химико-термических обработок и поверхностных покрытий на показатели надежности инструментов осевого типа // Автоматизация производственных процессов в машиностроении. - Фрунзе, 1986. - С. 56-57.

2. Рафиков Р.Ч. Исследование влияния химико-термической обработки на стабилизацию режущих свойств инструментов осевого типа из быстрорежущих сталей // Интенсификация технологических процессов механической обработки. - Л., 1986. - С. 106-107.

3. Влияние химико-термических обработок на показатели надежности быстрорежущих сверл / Д.А. Прокошкин, А.Е. Древаль, В.А.Моначков, Р.Ч. Рафиков // Изв. вузов. Машиностроение. - 1987. - №6.- С. 132-135.

4. Рафиков Р.Ч., Рагрин Н.А. Повышение надежности быстрорежущих осевых инструментов с помощью упрочняющих технологий. - Фрунзе: КиргизНИИНТИ, 1988. - 3 с.

МВТУ
им. Н.Э Баумана
БИБЛИОТЕКА