

11192/84

НА ДОМ
НЕ ВЫДАЕТСЯ

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

На правах рукописи

РАГРИН Николай Алексеевич

УДК 621.91.7

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБОВ ОБЕСПЕЧЕНИЯ
НАДЕЖНОСТИ БЫСТРОРЕЖУЩИХ СПИРАЛЬНЫХ СВЕРЛ В
АВТОМАТИЗИРОВАННОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

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,
профессор Камалов В.С.
- кандидат технических наук,
Белодед В.В. |

Ведущее предприятие - указано в решении Ученого Совета

Защита состоится "28" ноября 1988 г. на заседании специализированного совета К.053.15.15 в Московском высшем техническом училище имени Н.Э. Баумана по адресу: 107005, Москва, Б-5, 2-ая Бауманская ул., д.5.

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

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

Р. г.

Р.К. Мешеряков

11492/94

исано к печати 20.10.88.
траз 100 экз.

Актуальность темы. В "Основных направлениях экономического и социального развития СССР на 1986-1990 годы и на период до 2000 года", принятых на XXVII съезде КПСС, поставлена задача интенсификации народного хозяйства, важная роль в решении которой отводится машиностроению. Интенсификация машиностроительного производства предъявляет высокие требования к надежности всех элементов технологической системы, одним из которых является металлорежущий инструмент.

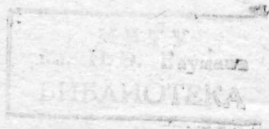
В технологическом процессе изготовления отверстий в зависимости от требований к точности и шероховатости сверление может быть окончательным видом обработки или предварительным с последующим зенкерованием, развертыванием, нарезанием резьбы и др. Таким образом, сверление является наиболее массовой операцией в машиностроении, что отражается на объеме производства спиральных сверл, которые составляют примерно 30% в общем объеме централизованного производства режущего инструмента.

Для массового производства характерна концентрация на одной операции большого количества одновременно работающих инструментов. Это определяет особо высокие требования к его надежности, т.к. преждевременный выход из строя одного сверла в наладке приводит к простоям всей технологической системы. В настоящее время вопросы надежности спиральных сверл разработаны недостаточно. Такой показатель, как стойкость, в нормативной документации задан укрупненно в детерминированной форме. Этим затрудняется прогнозирование отказов спиральных сверл, что необходимо для организации системы рациональной эксплуатации технологического оборудования.

Поэтому исследования, направленные на разработку способов обеспечения надежности спиральных сверл в автоматизированном производстве, являются актуальными.

Цель работы заключается в разработке и исследовании способов и путей обеспечения надежности быстрорежущих спиральных сверл при обработке отверстий в углеродистых конструкционных сталях в условиях автоматизированного производства на основании изучения физических закономерностей процесса сверления и производственных испытаний инструмента.

Методы исследований. Разработаны общая и частные методики проведения исследований, использовались основы теории резания, теории вероятностей, математической статистики, корреляционно-



с. 492194

регрессионный анализ. При проведении экспериментов применялась современная измерительная и регистрирующая аппаратура и специально сконструированные приспособления. Для анализа и описания экспериментальных данных использовалась ЭВМ, результаты исследований представлены в виде математических моделей.

Экспериментальные исследования проводились в лабораторных и производственных условиях. В лабораторных условиях проведены комплексные исследования физических основ формирования отказов спиральных сверл, включающие изучение закономерностей изменения работоспособности отдельных рабочих элементов инструмента при изменении условий его эксплуатации, динамических и температурных характеристик процесса сверления. В производственных условиях выполнены статистические испытания и установлены модели отказов сверл, основные показатели надежности инструмента и их зависимости от параметров технологического процесса сверления.

Научная новизна. Теоретическими и экспериментальными исследованиями установлены физические закономерности формирования отказов быстрорежущих спиральных сверл при изменении условий их эксплуатации. Определены физические причины отказа сверл в различных скоростных диапазонах. Установлена экстремальная зависимость наработки до функционального отказа от скорости резания, что обусловлено характером изменения интенсивности износа отдельных рабочих элементов сверл. Установлена модель формирования отказов сверл, позволяющая определить основные показатели надежности инструмента в зависимости от параметров технологического процесса сверления. Установлено, что распределения наработки до отказа и износа рабочих элементов сверл диаметров свыше 8,0 мм согласуются с законом Гаусса, характеристики распределений зависят от параметров технологического процесса сверления. Обоснованы критериальные уравнения для расчета допустимого износа рабочих элементов сверл с заданной вероятностью.

Практическая ценность. Получены математические зависимости для расчета показателей надежности сверл диаметров свыше 8,0 мм с учетом условий их эксплуатации. Определены способы эксплуатации и методы восстановления режущих свойств сверл и дана оценка их экономической эффективности. Установлены средние значения коэффициента вариации: наработки до отказа, износа задних поверхностей и ленточек сверл для условий автоматизированного производства. Полученные зависимости и результаты статистических производ-

ственных испытаний положены в основу разработанной схемы построения нормативов режимов резания, норм стачивания и расхода быстрорежущих спиральных сверл с учетом показателей надежности для условий автоматизированного производства, даны примеры нормативных таблиц. Выявленные закономерности влияния скорости резания на динамические характеристики позволили разработать и защитить авторским свидетельством № 1194582 способ определения оптимальной скорости резания.

Результаты исследований прошли промышленную проверку и применяются заводом "Красный Пролетарий" им. А.И. Ефремова при разработке нормативно-технической документации, предназначенной для эксплуатации оборудования в условиях автоматизированного производства, внедрены на МосАвтоЗИЛе с годовым экономическим эффектом 3,5 тыс.руб. на две автоматические линии, внедрены на заводе сельскохозяйственного машиностроения им. М.В. Фрунзе с фактическим годовым экономическим эффектом 5 тыс.руб. и ожидаемым - 15 тыс.руб.

Апробация работы и публикации. По результатам работы опубликовано семь печатных работ, получено два авторских свидетельства и одно положительное решение.

Основные научные положения работы доложены на республиканской научно-технической конференции "Ресурсосберегающие технологии и прочность в машиностроении", на республиканском семинаре "Организация рационального использования режущего инструмента общего назначения и расширение области его применения" и неоднократно на научных семинарах кафедры "Теории механической обработки и инструмента" МВТУ им. Н.Э. Баумана.

Объем работы. Диссертация состоит из введения, шести глав и общих выводов, списка литературы из 99 наименований, содержит 164 страницы, из них текста 126 стр., рисунков 41, табл.18.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении на основании задач, поставленных перед машиностроением решениями XXII съезда КПСС, обоснована актуальность темы и общая направленность работы.

В первой главе выполнен литературный обзор работ, посвященных исследованию процесса сверления. Показано, что проведены обширные исследования влияния параметров режима резания на износ и стойкость быстрорежущих спиральных сверл, рациональных условий их эксплуатации, силовых зависимостей при сверлении.

Анализ ранее выполненных исследований показал, что большинство исследований проведено методом однофакторного эксперимента и зависимости представлены в детерминированной форме. Существующие стойкостные модели дают только уровень величин стойкости и не учитывают влияние случайных факторов технологического процесса сверления. Мнения многих авторов существенно различаются в вопросе выбора рабочего элемента сверла, износ которого в большей мере влияет на отказ инструмента и может быть принят за критерий износа. Исследователи в основном использовали критерии равного износа по задней поверхности без учета влияния на работоспособность инструмента износа других рабочих элементов. Нормативные рекомендации и эмпирические зависимости по выбору параметров режима резания получены на основании такого подхода. Многие явления, сопровождающие процесс сверления и отказ сверл, не изучены или имеют противоречивое толкование их физической сущности. Вопросы надежности быстрорежущих спиральных сверл находятся в стадии разработки.

Данные литературного обзора и его анализ позволили выяснить состояние вопроса и установить основные задачи исследований: провести исследования физических основ формирования отказов быстрорежущих спиральных сверл в широком диапазоне скоростей резания; определить влияние скорости резания и твердости обрабатываемого материала на характер изнашивания рабочих элементов сверл; установить причины, признаки и виды отказов инструмента; определить характер изменения сил и моментов резания на рабочих поверхностях инструмента по мере нарастания их износа; установить закономерности влияния скорости резания на динамические характеристики процесса сверления сверлами с различной степенью износа; провести анализ условий эксплуатации спиральных сверл и установить режимы резания, характерные для автоматизированного производства при обработке углеродистых конструкционных сталей; установить модель отказов сверл и влияние параметров технологического процесса сверления на показатели надежности инструмента; установить обобщенные стойкостные зависимости при сверлении углеродистых конструкционных сталей в условиях автоматизированного производства; обосновать выбор критериев отказа спиральных сверл и получить зависимости для определения их допустимых величин; обосновать систему рациональной эксплуатации инструмента, включающую методы восстановления режущих свойств сверл, дать оценку ее экономической эффективности; сформировать исходные данные для разработки норма-

тивной документации режимов сверления и норм расхода инструмента.

Вторая глава содержит общую методику, которой предусмотрено проведение лабораторных исследований и производственных испытаний инструмента. Приведены основные методы обработки и анализа экспериментальных данных.

Лабораторные исследования проведены в МВТУ им. Н.Э. Баумана. Сверлились сквозные отверстия глубиной, равной трем диаметрам сверла, в заготовках из углеродистой конструкционной стали 45 на вертикально-сверлильном станке с ЧПУ модели 2P135T2. Вид заготовки - квадратная плита размером 200х200х32. Производственные испытания проводились на машиностроительных заводах при обработке деталей основной продукции на автоматических линиях, агрегатных станках и станках-автоматах. Сверлились сквозные отверстия в углеродистых конструкционных сталях марок 45, 35, 20. Параметры режима резания соответствовали принятым на заводах. В качестве СОТС при проведении лабораторных и производственных исследований использовался 5% раствор эмульсола "Укринол - I" по ТУ 38-01197-76. Испытывались быстрорежущие спиральные сверла из стали PGM5, отвечающие требованиям ГОСТ 10903-77.

Сверла подвергались тщательному контролю по основным параметрам, регламентируемым ГОСТ. При проведении производственных испытаний по результатам контроля формировались партии сверл с близкими параметрами в пределах допустимых отклонений. Объем партии сверл одного диаметра составлял 25 шт. Контроль геометрических параметров инструмента осуществлялся на микроскопе УИМ-23 и специальными средствами контроля.

При проведении лабораторных исследований измерение и фотографирование износа сверл проводилось непосредственно на станке, с помощью специально сконструированных и изготовленных оптико-механических устройств на базе микроскопа "Биолам-2". В производственных условиях износ сверл контролировался лупой Бринеля с ценой деления 0,05 мм.

Измерение осевой силы и крутящего момента при сверлении проводилось с помощью электродинамометров УДМ-600 и УДМ-100 со стандартной регистрирующей аппаратурой. Разработана методика исследований, позволявшая оценить силы и моменты резания, возникающие на отдельных рабочих элементах сверл с различной степенью износа.

По результатам испытаний строились реализации износа всех рабочих элементов сверл. Анализ реализаций проводился с помощью

методов математической статистики и прикладной математики. Экспериментальные данные обрабатывались на ЭВМ "Электроника 100-25".

Третья глава посвящена исследованию физических основ формирования отказа спиральных сверл.

Для обоснования диапазона варьирования параметрами режима резания ($V \times S_0$) проведены граничные испытания сверлами диаметрами от 10,0 до 35,0 мм, при обработке стали 45 при всех возможных сочетаниях V и S_0 методом перебора. Введена система ограничений на параметры режима резания острыми сверлами, к которым отнесены: температурные явления - охватывания ("приваривания") частиц обрабатываемого металла к рабочим поверхностям сверла, что характерно для высоких значений V ; затрудненный отвод стружки ("пакетирование"), что характерно для высоких S_0 ; потеря прочности инструмента (поломка); возникновение крутильных колебаний и т.п. Граничные испытания позволили установить зону устойчивого (стабильного) процесса сверления, где вышеперечисленные ограничения отсутствовали.

Представлены результаты стойкостных испытаний сверл диаметром 10,2 мм, при проведении которых сверла изнашивались до полной потери режущих свойств, т.е. до разрушения, что позволило установить все промежуточные состояния рабочих элементов сверл в процессе потери работоспособности. Сверло рассмотрено как сложное изделие, состоящее из совокупности конструктивных элементов, каждый из которых имеет свой запас работоспособности. Испытания проводились в диапазоне скоростей резания от 0,1 до 0,5 м/с с целью определения характера влияния скорости на износ рабочих элементов и показали, что при изменении скорости резания меняется вид изношенных участков задних поверхностей. Следы вырывов и глубокие борозды, характерные для диапазона скоростей резания от 0,1 до 0,3 м/с, уступают место гладкой поверхности износа при возрастании V от 0,3 до 0,5 м/с. Меняется характер отказа сверл, в диапазоне скоростей резания от 0,1 до 0,3 м/с сверла выходили из строя в результате заклинивания изношенного участка рабочей части в обрабатываемом отверстии, при этом главные режущие кромки сохраняют работоспособное состояние. В диапазоне скоростей резания от 0,3 до 0,5 м/с сверла выходили из строя в результате схватывания частиц обрабатываемого материала с изношенными участками задних поверхностей сверл.

Износ ленточек распространяется на обширные участки рабочей части инструмента. На ленточках у уголков сверла в пределах поло-

вины подачи, наблюдались проточки. За пределами этого участка проточки, следы вырывов, борозды и т.п. отсутствовали. Хотя наблюдались следы равномерного износа. Износ ленточек во всех случаях приводил к образованию прямой конусности на рабочей части сверла. Анализ графиков зависимостей износа ленточек от наработки показал, что во всем скоростном диапазоне данные зависимости близки к линейным.

Износ поперечной кромки в исследуемом диапазоне скоростей резания приводит к постепенному образованию конуса на вершине сверла. Дальнейшая эксплуатация инструмента существенных изменений геометрии износа поперечной кромки не вызывает. Это и дает основания считать, что этот вид износа не является причиной отказа сверл.

Анализ кривых износа задних поверхностей и ленточек сверл показал, что скорость резания оказывает существенное влияние на интенсивность их износа. С увеличением скорости резания интенсивность износа задних поверхностей монотонно возрастает, интенсивность износа ленточек резко уменьшается в диапазоне скоростей резания от 0,1 до 0,3 м/с, а при дальнейшем увеличении V существенно не изменяется.

Проведен анализ разбивки обрабатываемых отверстий в процессе увеличения наработки сверл. Анализ показал, что в диапазоне скоростей резания от 0,1 до 0,3 м/с разбивка уменьшается при увеличении наработки и в определенный момент становится отрицательной, т.е. диаметр отверстия становится меньшим номинального диаметра сверла, примерно в этот момент появляются звуковые явления - "скрип", которые продолжаются до отказа сверла. Это указывает на ухудшение условий работы ленточек за счет более плотного прилегания к стенке обрабатываемого отверстия. Увеличение скорости резания приводит к увеличению разбивки отверстия. При работе со скоростями резания выше 0,3 м/с разбивка отверстий с увеличением наработки меняется незначительно. В этой зоне скоростей резания "скрип" возникает непосредственно при отказе сверла.

Представлены зависимости наработки сверл от скорости резания до функционального отказа и наработки до критерия равного износа по задней поверхности. Указанные зависимости имеют экстремальный характер с точкой максимума в диапазоне скоростей резания от 0,2 до 0,3 м/с. В диапазоне скоростей резания от 0,1 до 0,35 м/с стойкость инструмента при работе до функционального отказа суще-

ственно выше стойкости при работе до равного износа. Это указывает на недостаточность оценки работоспособности сверл в этом диапазоне скоростей резания только по износу задних поверхностей.

Проведены исследования распределения сил и моментов на рабочих элементах острых сверл и сверл с различной степенью износа. Определено, что по мере нарастания износа графики зависимостей

$P_0 = f(v)$ и $M = f(v)$ принимают экстремальный характер с точкой минимума в диапазоне скоростей резания от 0,2 до 0,3 м/с. Точка минимума на данных зависимостях совпадает с точкой максимума на зависимости $T = f(v)$. Исследования показали, что приращение осевой силы по мере нарастания износа сверл в большей степени происходит в зоне высоких скоростей резания и в основном за счет износа главных режущих лезвий. Приращение момента резания в большей степени происходит в зоне низких скоростей резания в основном за счет износа ленточек сверла.

В работе представлена типовая осциллограмма записи осевой силы и момента сверления при отказе сверл, работавших в зоне скоростей резания, меньших 0,3 м/с. На представленных осциллограммах имеются "пилообразные" участки, характеризующие "скрип", и участки резкого всплеска момента резания, характеризующие заклинивание изношенного участка рабочей части сверла, при этом отмечались звуковые явления "шелчки", причиной которых могло быть раскручивание рабочей части инструмента. Появление "шелчков" предшествует отказу сверла в зоне скоростей резания, меньших 0,3 м/с.

Исследования показали, что влияние износа отдельных рабочих элементов сверла на формирование отказа инструмента различно и зависит от скорости резания. Так, в зоне скоростей резания, меньших 0,3 м/с доминирующим фактором в формировании отказа является износ ленточек. В этой зоне отказ выражается в заклинивании изношенного участка рабочей части сверла в обрабатываемом отверстии. В зоне скоростей резания, больших 0,3 м/с, доминирующим фактором является износ задних поверхностей, сверла выходят из строя в результате полной потери работоспособности главных режущих кромок.

Исследования влияния твердости обрабатываемого материала на износ рабочих элементов сверл показали, что при изменении твердости в диапазоне от 170 до 255 НВ характер износа рабочих элементов сверл качественно не меняется, меняются лишь количественные характеристики процесса изнашивания, что выражается в увеличении интенсивности износа всех рабочих элементов.

Четвертая глава содержит анализ результатов производственных испытаний, которыми установлены причины и виды отказов быстрорежущих спиральных сверл в автоматизированном производстве, установлены законы распределения наработки до отказа и износа рабочих элементов сверл, показано существенное влияние параметров технологического процесса сверления на характеристики этих распределений.

Для выбора режимов сверления в производственных испытаниях проведен анализ применяемых режимов сверления отверстий в углеродистых конструкционных сталях быстрорежущими спиральными сверлами на ряде машиностроительных заводов. Проанализировано 135 операций сверления отверстий на автоматических линиях, агрегатных станках и станках-автоматах отечественного и зарубежного изготовления. В результате анализа получено распределение скоростей резания и подачи для сверл диаметрами от 5,0 до 45,0 мм. Установлено, что скорости резания назначаются безотносительно к диаметру сверла, в основном находятся в диапазоне от 0,18 до 0,3 м/с. Более 50% сверл работают в узком диапазоне скоростей резания от 0,19 до 0,23 м/с, совпадающих с областью экстремума стойкостной зависимости $T = f(v)$. Применяемые подачи имеют тесную взаимосвязь с диаметром сверла. Установлена зависимость подачи от диаметра в виде: $S_0 = 0,019d^{0,9}$. Для проведения испытаний принят диапазон скоростей резания от 0,19 до 0,23 м/с.

В процессе испытаний установлено, что в основном у сверл диаметром свыше 8,0 мм наблюдается отказ функционирования из-за износа. Основными признаками отказов являлись: обширные выкрашивания и сколы ленточек и уголков сверла; интенсивное увеличение налипков на ленточках; превышение эффективной мощности сверления допустимых оборудованием пределов, в основном для сверл больших диаметров; звуковые явления "шелчки"; появление значительного заусенца на выходной стороне сквозных отверстий. Общепринятый критерий "скрип" недостоверен, т.к. не имеет количественной оценки и появляется значительно ранее отказов сверл. Признаки отказов позволяют предположить превалирующее влияние ленточек на потерю работоспособности быстрорежущих спиральных сверл для режимов сверления автоматизированного производства.

Анализ реализаций износа задних поверхностей и поперечной кромки показал, что они, в основном, не имеют участков катастрофического износа, т.е. отказ сверл наступает до его появления. Зависимости износа ленточек близки к линейным и хорошо аппроксимируются уравнением первой степени.

Корреляционный анализ взаимосвязи наработки и износа рабочих элементов сверл позволил определить тесную корреляционную связь между износом ленточек и наработкой до отказа, коэффициент корреляции равен от 0,51 до 0,92 при доверительном интервале от 0,4 до 0,95. Наименьшая корреляционная связь между наработкой до отказа и износом поперечной кромки, коэффициент корреляции равен от 0,15 до 0,86 при доверительном интервале от -0,35 до 0,93.

Производственными испытаниями установлено, что основной причиной отказа быстрорежущих спиральных сверл в автоматизированном производстве является износ ленточек, приводящий к образованию прямой конусности на обширных участках рабочей части сверла. Отказ сверл происходит в результате заклинивания изношенного участка ленточек в обрабатываемом отверстии. Производственные испытания подтвердили результаты лабораторных исследований.

Полученные реализации износа задних поверхностей и ленточек сверл позволяют установить распределение наработки при принятом критерии равного износа и распределение износа при равной наработке сверл, а также распределение наработки и износа инструмента при отказах. Распределения наработки и износа сверл согласуются с законом Гаусса. Установлено существенное влияние параметров технологического процесса сверления на средние значения и дисперсии распределений износа и наработки до отказа сверл. Обоснована правомерность использования для расчета показателей надежности сверл средней величины коэффициента вариации износа и наработки до отказа равной 0,23.

Пятая глава содержит частные и общие стойкостные зависимости сверл от основных параметров технологического процесса, критериальные уравнения и модель формирования отказов сверл.

Общая стойкостная зависимость строилась посредством обработки на ЭВМ частных стойкостных зависимостей и учета фактических результатов производственных испытаний по специально разработанной программе. Общая стойкостная зависимость имеет вид:

$$\bar{T} = a \cdot b^{c_1} \cdot S_0^{c_2} \cdot e^{c_3 \cdot V + c_4 \cdot S_0} \cdot d^{c_5} \cdot HB^{c_6}$$

и позволяет рассчитать среднюю наработку до отказа быстрорежущих спиральных сверл в условиях автоматизированного производства. Сравнение результатов производственных испытаний со значениями средней наработки до отказа, рассчитанной по полученным формулам, показало расхождение расчетных и фактических значений в пределах 15%.

Общая стойкостная модель, экспериментальное подтверждение нормальности распределения наработки до отказа и использование среднего коэффициента ее вариации позволяют установить наработку с принятой вероятностью γ по зависимости:

$$T_{\gamma} = \bar{T}(1 - U_{\gamma} V).$$

С целью определения величин допустимых износов задних поверхностей и ленточек сверл проведен анализ распределений износа испытанных сверл. Так как ранее проведенные исследования и нормативная документация указывают на то, что величина допустимого износа зависит только от диаметра сверла, рассматривались распределения относительных коэффициентов $K_h = \frac{h_{zg}}{d}$ и $K_k = \frac{K_{\Delta g}}{d}$, где h_{zg} и $K_{\Delta g}$ величина износа задних поверхностей и ленточек при отказе сверл соответственно.

Распределения коэффициентов K_h и K_k согласуются с законом Гаусса, что подтверждает отсутствие доминирующего фактора, влияющего на величину допустимого износа инструмента, кроме диаметра сверла. Установлены характеристики распределений указанных коэффициентов, что позволяет определить допустимую величину износа с принятой вероятностью по полученным критериальным уравнениям в виде: $h_{zg} \cdot \gamma = K_h(1 - U_{\gamma} V_{K_h}) \cdot d$, $K_{\Delta g} \cdot \gamma = K_k(1 - U_{\gamma} V_{K_k}) \cdot d$.

Проведены исследования зависимости интенсивности износа ленточек от основных параметров технологического процесса сверления. Установлен закон распределения интенсивности износа и коэффициенты вариации интенсивности. Получено общее уравнение средней интенсивности износа ленточек в виде:

$$\bar{K}_{\Delta k} = \alpha V^{\beta_1} \cdot S_0^{\beta_2} \cdot e^{C_1 V + C_2 S_0} \cdot d^{\beta_3} \cdot n B^{\beta_4}$$

Производственными испытаниями установлено, что для спиральных сверл диаметром от 8,0 до 40,0 мм, эксплуатируемых в условиях автоматизированного производства, характерна модель постепенного отказа по причине износа ленточек.

Полученная общая модель интенсивности износа ленточек, критериальные уравнения и экспериментальная проверка факта, что реализации износа ленточек линейны позволяют установить плотность вероятности наработки до отказа по зависимости:

$$f(t) = \frac{\bar{T}}{V_{J_{K\Delta}} \sqrt{2\pi}} \cdot \frac{1}{T^2} e^{-\frac{(\bar{T} - T)^2}{2 V_{J_{K\Delta}}^2 \cdot T^2}}.$$

Вероятность безотказной работы может быть определена по зависимости:

$$P(t) = 0,5 + \Phi\left(\frac{K_{\lambda g} - \bar{J}_{\kappa\lambda} T}{T \sigma_{\kappa\lambda}}\right),$$

где $\sigma_{\kappa\lambda}$ — среднее квадратичное отклонение интенсивности износа ленточек.

Шестая глава содержит анализ способов эксплуатации и методов восстановления режущих свойств спиральных сверл, экономическое обоснование их эффективности: схему построения нормативной документации режимов сверления с учетом надежности, норм стачивания и расхода инструмента, примеры нормативных таблиц.

В главе проведен анализ двух способов эксплуатации спиральных сверл. Первый способ предусматривает эксплуатацию сверл до функционального отказа; второй — планово-принудительную замену частично изношенного инструмента. На примере эксплуатации сверл и анализа производственных испытаний показано, что при работе инструмента до функционального отказа возможен только один метод восстановления режущих свойств, предусматривающий отрезку изношенного участка режущей части сверла при каждой переточке. При втором способе эксплуатации возможны три метода восстановления режущих свойств, связанные с величиной износа ленточек сверл в зависимости от величины наработки между переточками: заточка по задним поверхностям на нормативную величину стачивания Δe , если величина износа ленточек K_{λ} за период эксплуатации не превысила величины стачивания, $K_{\lambda} < \Delta e$; отрезка изношенного участка ленточек при каждой переточке, если $K_{\lambda} \geq \Delta e$; отрезка изношенного участка ленточек после нескольких переточек по задним поверхностям, если $K_{\lambda} > \Delta e$. Этот метод допускает неполное восстановление сверл при переточке по задним поверхностям, накопление повреждений ленточек до тех пор, пока величина их износа не достигнет допустимой величины $\Delta K = K_{g\lambda}$, после чего изношенный участок рабочей части сверла отрезается. Проведен экономический анализ методов восстановления и способов эксплуатации сверл на примере фактических результатов испытаний. Рассчитывалась стоимость обработки одной детали и ресурс сверл. Стоимость обработки одной детали рассчитывалась по формуле, удобной для применения ЭВМ и учитывающей все виды затрат. Анализ показал, что более целесообразным является первый способ эксплуатации, т.к. он обеспечивает минимальные затраты на эксплуатацию и восстановление инструмента и его

максимальный ресурс.

На основании вышеприведенного анализа общих стойкостных зависимостей и зависимости интенсивности износа ленточек разработана схема построения нормативной документации режимов сверления, норм стачивания и расхода спиральных сверл для автоматизированного производства с учетом надежности, даны примеры нормативных таблиц.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. В диссертационной работе дано решение актуальной научной и практической задачи разработки системы рациональной эксплуатации и исходных данных для нормирования параметров режима резания и расхода быстрорежущих спиральных сверл при обработке углеродистых конструкционных сталей, эксплуатируемых в автоматизированном производстве, на основе комплексных исследований физических основ формирования отказов сверл и статистических испытаний инструмента; получены математические модели, позволяющие рассчитать основные показатели надежности сверл.

2. Проведенный анализ физических явлений изнашивания рабочих элементов позволил установить, что отказ сверл происходит из-за износа задних поверхностей в диапазоне скоростей резания от 0,3 до 0,5 м/с, в диапазоне скоростей резания от 0,1 до 0,3 м/с отказ сверл происходит из-за износа ленточек; статистическими испытаниями установлены допустимые величины износа задних поверхностей и ленточек сверл, которые зависят от диаметра сверла и могут быть определены с заданной вероятностью по уравнениям: для допустимой величины износа задних поверхностей $-h_{ззг} = K_{хг} \cdot d$, для допустимой величины износа ленточек $-K_{лгг} = K_{хг} \cdot d$.

3. Интенсивность износа рабочих элементов сверл зависит от скорости резания и твердости обрабатываемых заготовок; во всех случаях с увеличением твердости интенсивность износа возрастает, при этом характер зависимости износа от наработки не изменяется; с увеличением скорости резания интенсивность износа ленточек падает и начиная со скорости 0,26 м/с изменяется незначительно, интенсивность износа задних поверхностей во всем скоростном диапазоне возрастает.

4. Износ рабочих элементов сверл приводит к изменению осевой силы и момента сверления, при этом в диапазоне скоростей резания от 0,1 до 0,15 м/с с увеличением износа сверл в большей степени наблюдается приращение крутящего момента, а в диапазоне скоростей резания от 0,43 до 0,5 м/с - осевой силы, в диапазоне скоростей резания, соответствующих наибольшей стойкости инструмента, приращение осевой силы и момента с увеличением износа сверл незначительное; с увеличением износа инструмента зависимости осевой силы и момента сверления от скорости резания принимают экстремальный характер с точкой минимума, расположенной в точке максимума на зависимости $T=f(v)$.

5. Анализ режимов резания автоматизированного производства показал, что скорости резания в основном находятся в диапазоне от 0,18 до 0,3 м/с и совпадают с областью экстремума стойкостной зависимости, подачи связаны с диаметром инструмента и могут быть определены по формуле: $S_0 = 0,019d^{0,8}$.

6. Производственные испытания показали, что распределения наработки и износа сверл совпадают с законом Гаусса, характеристики распределений зависят от параметров технологического процесса сверления; коэффициент вариации наработки и износа задних поверхностей и ленточек сверл в среднем равен 0,23.

7. Установлено, что для спиральных сверл диаметром от 8,0 до 40 мм в автоматизированном производстве характерен отказ функционирования по причине износа ленточек. Предложена модель отказов сверл, вероятность безотказной работы может быть определена по зависимости:

$$P(t) = 0,5 + \Phi\left(\frac{K_{\lambda}t - \bar{T}_{\lambda}T}{\sigma_{\lambda}T}\right).$$

8. Предложены частные зависимости наработки спиральных сверл в широком диапазоне варьирования параметров v, S_0, d, HB ; зависимость наработки от скорости резания носит экстремальный характер; установлена общая зависимость средней наработки до отказа спиральных сверл от основных параметров технологического процесса сверления для значений v и S_0 характерных автоматизированному производству вида: $\bar{T} = av^b \cdot S_0^c \cdot e^{d_1 v + d_2 S_0} \cdot d^{d_3} \cdot HB^{d_4}$.

9. Лабораторными и производственными испытаниями показано, что широко используемый критерий "скрип" не является объективным критерием отказа, т.е. не имеет количественной оценки и его проявление зависит от скорости резания, так, в области скорости резания свыше 0,35 м/с "скрип" предшествует отказу инструмента, в

14

области скоростей резания автоматизированного производства менее 0,35 м/с "скрип" сопровождает процесс обработки продолжительное время, а отказу предшествуют "шелчки".

10. Существующие нормативные рекомендации не обеспечивают полного восстановления режущих свойств сверл в автоматизированном производстве из-за накопления остаточного износа ленточек; для полного восстановления режущих свойств сверл необходимо удалять участок рабочей части сверла с изношенными ленточками при переточках, предложены зависимости для расчета величины удаляемого участка; разработаны варианты способов эксплуатации и методов восстановления режущих свойств, дан сравнительный анализ их эффективности.

11. Разработана схема построения нормативной документации режимов сверления, норм стачивания и расхода быстрорежущих спиральных сверл с требуемой вероятностью их безотказной работы, даны примеры нормативных таблиц.

Основные положения диссертации опубликованы в работах:

1. Рагрин Н.А. Установление критериев износа быстрорежущих спиральных сверл // Изв. вузов. Машиностроение. - 1984. - № 2. - С. 156-158.

2. Рагрин Н.А. Восстановление режущих свойств спиральных сверл // Электронная техника. - 1984. - Вып. 3. - С. 20-21.

3. Рагрин Н.А. Повышение работоспособности спиральных сверл в условиях автоматизированного производства. - Фрунзе: Киргиз НИИНТИ, 1985. - 3 с.

4. Древаль А.Е., Рагрин Н.А. Восстановление работоспособности спиральных сверл. - Фрунзе: Киргиз НИИНТИ, 1985. - 4 с.

5. Рагрин Н.А. Повышение ресурса спиральных сверл // Ресурсосберегающие технологии и прочность в машиностроении. - Фрунзе, 1986. - С. 16-17.

6. Надежность типового быстрорежущего инструмента для обработки отверстий / Н.Ф. Зеленцова, А.В. Литвиненко, Н.А. Рагрин // Тр. МВТУ. - 1987. - № 476. - С. 34-46.

7. Рагрин Н.А., Древаль А.Е. Выбор режимов резания быстрорежущими спиральными сверлами. - Фрунзе: Киргиз НИИНТИ, 1987. - 3 с.

