

М 464639

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ СССР

Московское
ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции и ордена Трудового
Красного Знамени высшее техническое училище имени Н.Э. Баумана

На правах рукописи

ЛИТВИНЕНКО Анатолий Васильевич

УДК 621.91.7

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБОВ ПОВЫШЕНИЯ
НАДЕЖНОСТИ МАШИННО-РУЧНЫХ МЕТЧИКОВ

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 учёной степени
кандидата технических наук

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 Древалъ А.Е.
Официальные оппоненты - доктор технических наук,
профессор Кликов М.И.
- кандидат технических наук,
Белодед В.В.

Ведущее предприятие - указано в решении Учёного Совета

Защита состоится "14" декабря 1987 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 им. Н.Э. Баумана.

Ваш отзыв на автореферат
печатью, просим направлять

Автореферат разослан

Учёный секретарь
специализированного совета
к.т.н., доцент

M 464639

Актуальность темы. Важное место в решении задач, поставленных в "Основных направлениях экономического и социального развития СССР на 1986-1990 годы и на период до 2000 года", принятых на XXУП съезде КПСС, занимают мероприятия по интенсификации машиностроительного производства, снижению себестоимости и улучшению качества выпускаемой продукции. Интенсификация машиностроительного производства предъявляет требования повышения надёжности технологических систем, что возможно посредством повышения надёжности их элементов, одним из которых является режущий инструмент.

Резьбонарезание метчиками является широко распространенной операцией окончательного образования внутренних резьб. Для малых диаметров (до 27 мм) - это практически единственный способ их изготовления. Метчики занимают особое место среди режущих инструментов в технологическом процессе изготовления деталей. Это определяется тем, что они применяются в основном на завершающих операциях, когда их поломка, срыв нитки, отказ по точности приводит к трудноустраняемому браку уже готовой детали, простоям оборудования, повышенному расходу инструмента.

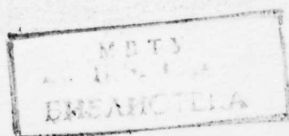
Вопросы надёжности метчиков и её обеспечения изучены недостаточно. В существующих нормативах стойкость метчиков рассматривается как детерминированная величина, что не отражает реальной действительности. Это затрудняет прогнозирование отказов инструмента и организацию системы рациональной его эксплуатации.

В связи с этим исследования, направленные на установление взаимосвязи между конструктивными параметрами инструмента, условиями его эксплуатации и основными показателями надёжности, а также разработка способов её повышения являются актуальными.

Целью работы является: на основании изучения физических закономерностей процесса резьбонарезания и производственных испытаний разработать способы оценки и пути повышения надёжности машинно-ручных метчиков при обработке конструкционных углеродистых сталей в условиях массового производства.

Методы исследований. Разработаны общая и частные методики проведения экспериментальных и теоретических исследований. Используются 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 комплексные исследования физических основ формирования отказов машинно-ручных метчиков, включающие: изучение закономерностей износа рабочих элементов метчиков и изменения их режущих свойств в течение наработки, видов отказов, влияния состояния технологической системы на работоспособность метчиков; установление критерия предельного состояния. В производственных условиях выполнены статистические испытания метчиков для установления модели их отказов, определения характеристик эмпирических распределений наработки и износа в зависимости от различных параметров инструмента и процесса резьбонарезания.

При проведении экспериментов применялась современная контрольно-измерительная аппаратура, а также специально сконструированные приборы и приспособления для моделирования работы отдельных режущих профилей и напряженного состояния в поперечном сечении инструмента. Результаты экспериментальных исследований обработаны на ЭВМ "Электроника 100-25" и представлены в виде математических моделей.

Научная новизна. Установлены физические закономерности формирования отказов и разработана математическая модель отказов машинно-ручных метчиков, учитывающая совместное действие постепенных и внезапных отказов, при резьбонарезании в конструкционных углеродистых сталях. Обосновано и разработано критериальное уравнение для определения допустимой величины износа инструмента. Исследовано влияние конструктивных и геометрических параметров инструмента и режима резания на основные показатели надёжности машинно-ручных метчиков. Показан экстремальный характер зависимости стойкости (наработки) от скорости резания. Установлены зависимости эмпирических характеристик распределения стойкости от основных параметров процесса резьбонарезания.

В рабочей части метчиков выявлены зоны наибольших напряжений, являющихся причиной выкрашивания и сколов режущих профилей инструмента. Проведена оценка влияния состояния технологической системы на стойкость метчиков и основные показатели точности резьбы.

Практическая ценность. Получены математические модели, позволяющие определить основные показатели надёжности машинно-ручных метчиков (вероятность безотказной работы, среднюю наработку до отказа и др.) в зависимости от конструктивных и геометрических параметров инструмента для диапазона скоростей, харак-

терных для массового производства. Установлены частные и общие стойкостные зависимости при резбонарезании метчиками в конструкционных углеродистых сталях.

Использование предлагаемого критериального уравнения для определения величин допустимого износа позволяет создать запас надёжности метчиков по наработке. Установлено изменение запаса надёжности в зависимости от конструктивных параметров инструмента и скорости резания.

Даны рекомендации по выбору способов повышения надёжности метчиков. Предложен способ заточки метчиков, обеспечивающий повышение стойкости до 2-х раз и стабильности процесса резбонарезания. Разработано приспособление для получения слепков внутренних резьб малых размеров, позволяющее производить комплексный контроль точности параметров и шероховатости нарезаемой резьбы.

Результаты исследований прошли промышленную апробацию и внедрены на СМЗ ПО ЗИЛ, экономический эффект составил 20 тыс. рублей.

Апробация работы. Основные результаты работы докладывались и обсуждались на научном семинаре кафедры "Теория механической обработки и инструмент" МВТУ им. Н.Э. Баумана в 1986 и 1987 годах; на семинаре МДНТП им. Дзержинского "Прогрессивная технология изготовления резьб", - Москва, 1985 г.; на Республиканской научно-практической конференции "Повышение эффективности обработки конструктивных материалов" - г. Улан-Удэ, 1985 г.; на Всесоюзной конференции "Интенсификация технологических процессов механической обработки" - Ленинград, 1986 г. Одна разработка, выполненная по теме диссертации, признана изобретением.

Объем работы. Диссертация состоит из введения, семи глав и общих выводов, списка литературы из 108 наименований, приложения. Работа изложена на 248 страницах, из них текста 150 стр., рисунков 92, табл. 37.

Содержание работы

Во введении на основании задач, поставленных решениями XXУП съезда КПСС перед машиностроением, обоснована актуальность темы, дана общая характеристика работы.

Первая глава посвящена обоснованию и выбору основных показателей надёжности для режущего инструмента, а также анализу

ранее выполненных исследований процесса резьбонарезания метчиками в стальных заготовках. Обоснованы основные показатели оценки надёжности машинно-ручных метчиков (вероятность безотказной работы, интенсивность отказов, средняя наработка и другие).

Показано, что проведены обширные исследования стойкости метчиков, прочности инструмента, условий его нагружения в зависимости от параметров инструмента и режимов резания, точности резьбонарезания метчиками, оптимизации инструментальных наладок, конструктивных и геометрических параметров метчиков и др.

Анализ ранее выполненных исследований показал, что большинство исследований выполнено в детерминированной форме методом однофакторных экспериментов. Существующие стойкостные модели дают только уровень величин стойкости и не учитывают ряд параметров процесса резьбонарезания. Критерий затупления (предельного состояния) метчиков установлен неточно и не учитывает роль ряда конструктивных и геометрических параметров инструмента, оказывающих влияние на его работоспособность. Не установлены причины отказов, в основном преобладает мнение, что отказ формируется из-за износа задних поверхностей метчиков, не учитываются разрушения инструмента. Многие явления, сопровождающие процесс резьбонарезания, не изучены или имеются противоречивые толкования их физической сущности. Вопросы надёжности резьбонарезания метчиками находятся в стадии разработки.

Данные литературного обзора и его анализа позволили выяснить состояние вопроса и установить задачи исследования: выполнить анализ существующих условий эксплуатации машинно-ручных метчиков и режимов резания на автоматизированном оборудовании; исследовать физические основы формирования отказов метчиков при обработке конструкционных углеродистых сталей; обосновать и разработать модель отказов метчиков, установить влияние основных параметров инструмента и режима процесса резьбонарезания на показатели надёжности; обосновать выбор критерия отказов метчиков и установить зависимости для его расчёта с учётом конструктивных и геометрических параметров инструмента; установить обобщённые стойкостные зависимости метчиков; оценить влияние технологической системы на надёжность метчиков; обосновать способы повышения надёжности метчиков, осуществить производственное их апробирование.

Вторая глава. Общей методикой исследований предусмотрено проведение производственных и лабораторных экспериментальных

работ, взаимно дополняющих друг друга и направленных на решение поставленных задач.

Лабораторные исследования выполнены в МВТУ им. Н.Э. Баумана на заготовках из конструкционной углеродистой стали марки 45 ГОСТ 1050-74 на вертикально-сверлильном станке с числовым программным управлением модели 2Р135Ф2. Вид заготовки - квадратная плита размером 200х200х32. Производственные испытания проводились на деталях основной продукции заводов из конструкционных углеродистых сталей марок 45, 35, 40Х, 20, 40Л, 35Н7ГС, 20Н7ГС, обрабатываемых на автоматических линиях и агрегатных станках. Режимы резания соответствовали принятым на заводах. В качестве СОТС на данном оборудовании использовались в основном 5% растворы эмульсола ЭТ-2 по ГОСТ 1975-75 или "Укринола-1" по ТУ 38-01197-76. В лабораторных и в основных производственных исследованиях использованы машинно-ручные метчики из стали Р6М5, отвечающая техническим требованиям ГОСТ 1523-81Е.

Все партии машинно-ручных метчиков подвергались тщательно входному контролю по основным параметрам, регламентированным ГОСТ. По результатам контроля формировались партии метчиков с близкими параметрами в пределах допустимых отклонений. Входной контроль метчиков осуществлялся на микроскопе УИМ-23, приборе "Царатест" фирмы "Цейс" ГДР и оптической делительной головке модели ОДГ-5.

Для измерения и фотографирования износа метчиков непосредственно на станке в лабораторных исследованиях использовались специальные оптико-механические устройства, сконструированные и изготовленные на базе микроскопа "Биолам-2". Комплексный контроль внутренней резьбы осуществлялся с помощью прибора, основанного на принципе раздвижного резьбового калибра-пробки. Измерение угла наклона осей резьбового отверстия к торцу заготовки производилось этим же прибором по специальной методике. Для дифференциального контроля точности параметров нарезанной внутренней резьбы было изготовлено устройство для получения слепка внутренней резьбы деталей (положительное решение ВНИИГПЗ по заявке на изобретение № 4055876/25-28 от 31.10.86 г.).

Для изучения топографии износа режущих профилей метчика применялось модернизированное специальное приспособление ИРИК-2 (А.С. № 450952), основанное на принципе профилографирования.

Моделирование резания единичным профилем метчика проводилось на специально изготовленном приспособлении, позволяющем

проводить измерение термо-эдс и крутящего момента при резании.

Измерение крутящего момента резьбонарезания метчиками проводилось с помощью электротензодинамометров УДМ-100 и УДМ-600 со стандартной регистрирующей аппаратурой.

Щероховатость обработанной поверхности и поверхностей инструмента, радиус округления режущих лезвий изучались с помощью микроскопа МИС-II, профилографов-профилометров в деци 20I и 252 завода "Калибр". Микроструктура поверхностных слоев резьбы метчиков определялась на рентгенографической установке УРС-50и. Изучение напряженного состояния метчиков проводилось методом фотоупругости на установке БПУ-ИМАШ в лаборатории кафедры сопромата МВТУ. В исследованиях использовались и другие приборы, установки и приспособления.

В третьей главе изложены результаты исследования влияния состояния технологической системы на точность нарезаемой резьбы и наработку метчиков. В работе показано, что влияние технологической системы на работоспособность метчиков проявляется через погрешности установки осей отверстия заготовки и инструмента. Величины погрешностей зависят от состояния технологической системы и его изменения в течение времени. В практике резьбонарезания для компенсации влияния технологической системы на точность нарезаемой резьбы и стойкость метчиков применяются различные методы крепления инструмента в шпиндель станка с помощью специальных патронов.

Проведенное моделирование погрешностей отклонения от соосности и перекоса осей метчика и отверстия в широком диапазоне величин позволило оценить влияние на работоспособность метчиков оборудования различного типа и степени его изношенности, а также установить наиболее приемлемые способы крепления метчиков, обеспечивающие высокую стойкость инструмента и точность нарезаемой резьбы. Оценка влияния технологической системы на работоспособность метчиков проведена по двум показателям: точности нарезаемой резьбы (разбивка приведенного среднего диаметра Δd , положение оси резьбового отверстия относительно торца детали μ) и стойкости метчиков.

Экспериментальные исследования показали, что погрешности установки оси отверстия заготовки, обусловленные влиянием технологической системы при резьбонарезании метчиками, существенно влияют на работоспособность инструмента. Изменение угла перекоса ϵ от 0° до 3° приводит к увеличению разбивки диаметра

ad до 120 мкм, снижению стойкости в 1,5...2 раза. Предложена зависимость, устанавливающая взаимосвязь между величинами перекоса осей ϵ и стойкости инструмента: $T = [h]_q \cdot /0,059 + 0,017 \epsilon$. Наличие несоосности в пределах до 1 мм не влияет существенно на точность резьбы и наработку при плавающем креплении инструмента.

В четвертой главе исследованы физические основы формирования отказов машинно-ручных метчиков. Рабочая часть метчика рассматривается как изделие, состоящее из ряда элементов, каждый из которых выполняет определенные функции и влияет на работоспособность инструмента в целом. Выделены следующие конструктивные элементы и их параметры, наиболее подверженные изменениям в течение процесса резбонарезания: задние поверхности режущих и первых калибрующих профилей; главные режущие лезвия и их радиусы округления; вершины резбового профиля метчика.

Изучены закономерности протекания износа и определено влияние режима резания на износ и работоспособность рабочих элементов метчиков; установлены виды отказов и выявлен ресурс рабочих элементов инструмента, лимитирующих его работоспособность; установлены критерии предельного состояния машинно-ручных метчиков.

Для установления причин, приводящих к неравномерному износу режущих профилей метчиков, проведены исследования силовых и тепловых нагрузок, возникающих в процессе резбонарезания на отдельных режущих и калибрующих профилях. Использован метод моделирования работы единичного профиля. Для более объективной оценки силовой нагрузки на режущих лезвиях, с учётом их различной длины и расположения на режущем конусе, использована относительная оценка — удельная нагрузка (сила, приходящаяся на единицу длины лезвия), определяемая по формуле $\mu = \frac{M_{кр1}}{L \cdot \tau_1}$. Распределение удельной нагрузки по режущим профилям показывает её возрастание по мере приближения к калибрующей части. Максимальные её значения приходятся на последние режущие профили. Это объясняет неодинаковый характер протекания износа задних поверхностей метчиков. Скорость резания оказывает существенное влияние на величину удельной нагрузки и температуру на режущих профилях. Зависимость удельной нагрузки от скорости резания нелинейна, имеет чётко выраженный минимум в диапазоне скоростей от 0,17 до 0,236 м/с.

В результате износа профилей существенно изменяются формы

профиля, радиус округления режущих лезвий, шероховатость задних поверхностей и т.д. Установлено, что из-за износа уменьшается высота режущих профилей; это приводит к изменению толщины срезаемого слоя и перераспределению припуска между режущими профилями. Вследствие этого повышается нагрузка, приходящаяся на последние режущие профили.

Экспериментальные исследования показали, что изменения шероховатости задних поверхностей из-за износа, начиная с $Ra \geq 2,0$, приводят к появлению обширных наливов обрабатываемого материала на них, что является одной из причин отказов метчиков из-за срыва резьбовой нитки и разрушений инструмента. Предложена функциональная зависимость изменения шероховатости задних поверхностей от наработки: $Ra = C_{Ra} \cdot T^k$.

Износ вершин резьбовых профилей направляющей части метчика в радиальном направлении приводит к постепенной потере формообразующего размера наружного диаметра, который не может быть восстановлен при переточках. Наиболее интенсивно изнашиваются первые профили направляющей части метчика, по наружному диаметру образуется прямая конусность β_1 . При величине β_1 , составляющей 0,8...0,9 от расчётной величины обратной конусности, происходит значительное увеличение момента резбонарезания, заклинивание и разрушение метчика. Изменение наружного диаметра d_k в зависимости от наработки может быть представлено линейной зависимостью: $d_k = d - C_d \cdot T$. Потеря формообразующего размера приводит к параметрическому отказу — потере точности нарезаемой резьбы, который формируется постепенно в течение ресурса инструмента. Установлена математическая модель формирования параметрических отказов, вероятность безотказной работы определяется по зависимости: $P(t) = 0,5 + \Phi \left[\frac{d_{min} - d + C_d \cdot t}{\sigma_d} \right]$. Интенсивность износа C_d зависит от: физико-механических свойств обрабатываемого и инструментального материалов, режимов резания, качества изготовления инструмента, условий эксплуатации и т.д. Установлены значения коэффициента C_d для ряда случаев резбонарезания в углеродистых конструкционных сталях.

В ряде выполненных исследований напряжения, возникающие в поперечном сечении метчиков, рассматривались как результат чистого кручения стержня сложной формы. Эта схема нагружения не соответствует реальной, когда нагружение инструмента осуществляется через режущие профили. Для изучения напряжений, возникающих в поперечном сечении метчиков, использован метод моде-

лирования работы зубьев инструмента на моделях, изготовленных из прозрачного оптически активного материала. В результате проведенных экспериментов выяснено, что наибольшие напряжения при работе метчиков возникают непосредственно в зоне резания, у вершины режущего профиля. Нормальные напряжения здесь значительно (до 3-х раз) превосходят напряжения других областей профиля зуба, в частности, в глубине стружечной канавки, где находятся опасные точки при расчёте метчиков по схеме чистого кручения. Это объясняет значительное количество отказов метчиков из-за выкрашиваний и сколов режущих и первых калибрующих профилей, а также позволяет учитывать условия достижения максимальной прочности при выборе передних и задних углов инструмента.

В практике резбонарезания машинно-ручными метчиками в качестве определяющего критерия затупления (предельного состояния) принята величина максимального износа задней поверхности h_y (мм). От правильного выбора критериев предельного состояния h_y метчика во многом зависит его суммарная стойкость. Установлено, что используемая в нормативах зависимость $h_{y.g.} = 0,125 d$ приводит к завышенным значениям величины допустимого износа, что снижает суммарную наработку и увеличивает вероятность разрушения инструмента. Износ метчиков по задним поверхностям приводит и к износу режущих и калибрующих профилей в радиальном направлении. Связь между величиной износа по задней поверхности и в радиальном направлении можно выразить уравнением $K = h_y \cdot \operatorname{tg} \alpha$. Срезание припуска в любой точке режущего профиля происходит, пока выдерживается соотношение: $\alpha_z \geq K \cdot \cos \varphi$, где $\alpha_z = \frac{p}{z} \cdot \sin \varphi$, откуда имеем: $h_y \leq \frac{p \cdot \operatorname{tg} \varphi}{z \cdot \operatorname{tg} \alpha}$. Предложенная зависимость может быть использована в качестве критериального уравнения для расчёта допустимой величины износа $[h_y]_g$. При достижении износа $[h_y]_g$ последний режущий профиль теряет способность осуществлять свои функции полностью, т.е. нарушается нормальное (расчётное) условие работы инструмента. Экспериментальные испытания метчиков показали влияние диаметра и шага метчика на значение величины h_y . Это может быть учтено поправочными коэффициентами C_p и C_d . Таким образом, с учётом поправочных коэффициентов критериальное уравнение может быть представлено в виде: $h_{y.g.} = C_d \cdot C_p \cdot \frac{p \cdot \operatorname{tg} \varphi}{z \cdot \operatorname{tg} \alpha}$.

В пятой главе представлены результаты испытаний метчиков, выполненных для установления частных и обобщенных стойкостных моделей при резбонарезании в конструкционных углеродистых ста-

лях. Испытания инструмента проводились до потери режущих свойств, что позволило проследить все промежуточные состояния метчиков. Установлено, что зависимость стойкости от скорости резания $T = f(V)$ носит экстремальный характер, это совпадает с результатами исследований ряда других видов обработки резанием. Сопоставление результатов исследований износостойкости образцов быстрорежущих сталей с зависимостями стойкости метчиков показывает их идентичный характер, это дает возможность предположить, что вид функции $T = f(V)$ отражает свойство инструментального материала сопротивляться изнашиванию. Максимальная наработка метчиков наблюдается в диапазоне скорости резания от 0,16 до 0,25 м/с.

Исследования показали, что зависимость наработки от величины угла режущего конуса имеет экстремальный характер. Максимальная наработка метчиков наблюдается в диапазоне значений угла φ от 16° до 19° .

Влияние шага резьбы P на стойкость носит сложный характер. Имеется тенденция увеличения стойкости с ростом шага, начиная с $P \geq 1$ мм. Влияние шага наиболее сильно проявляется на низких скоростях резбонарезания, при $V > 0,16$ м/с влияние шага на стойкость снижается. Особо выделяется зона мелких шагов ($P < 1$ мм), где наблюдается повышение стойкости при всех скоростях резбонарезания.

Исследованием установлено, что с увеличением диаметра метчиков стойкость постепенно повышается, что объясняется улучшением условий теплоотвода из зоны резания в тело инструмента и размещения стружки в канавках метчиков.

Испытания метчиков показали, что их стойкость снижается в результате переточек до 1,5 и более раз. Поэтому рассматривать стойкость без учёта предшествующих переточек нельзя. Установлены частные зависимости изменения стойкости от числа переточек вида $T = C \cdot K^b$ для различных условий обработки.

Введено понятие - запас надёжности, под которым понимается отношение наработки до разрушения инструмента к наработке при достижении величины допустимого износа. Стойкостные испытания показали, что использование критериального уравнения для расчёта величины допустимого износа позволяет создать запас надёжности.

Установлены частные зависимости наработки метчика в широком диапазоне варьирования V, d, P, φ , которые позволяют учесть влияние отдельных факторов на наработку. Методом полно-

факторного планирования экспериментов получены общие математические модели наработки метчиков вида:

$$T = A_T \cdot V^{b_1} \cdot d^{b_2} \cdot P^{b_3} \cdot (\sin \varphi)^{b_4} \cdot K^{b_5},$$

для двух интервалов скоростей резания: первый - от 0,07 до 0,2 м/с, второй - от 0,2 до 0,35 м/с, которые установлены с целью повышения точности расчёта в широком интервале скоростей и учитывают влияние основных факторов.

Шестая глава посвящена анализу причин и видов отказов машинно-ручных метчиков при обработке конструкционных углеродистых сталей. Приведены результаты оценки надёжности метчиков размерами от М8 до М42. Исследовано влияние конструктивных параметров и условий эксплуатации на характеристики эмпирических распределений наработки. Установлена модель отказов. Решение этих задач проводилось на основании статистических испытаний 23 партий метчиков в производственных условиях. Испытания показали, что главной причиной, приводящей к потере работоспособности метчиков, является износ режущих и калибрующих профилей. С увеличением износа задних поверхностей, ухудшением шероховатости повышается вероятность появления микросколов и налипов обрабатываемого материала на инструмент. Эти явления предшествуют появлению обширных сколов и выкрашиваний профилей, что приводит к разрушению инструмента. Однако разрушения могут возникать и без этих явлений, а только вследствие износа, при этом величина износа не достигает в большинстве случаев предельно допустимого значения. Установлено, что наиболее распространенными причинами отказов метчиков являются: износ - 43%, выкрашивания и сколы - 40%, потеря точности - 8%, разрушение рабочей части - 7%. Параметрические отказы возникают относительно редко. Для машинно-ручных метчиков размерами от М8 до М42 характерны функциональные отказы. Разработана укрупнённая схема классификации отказов.

На основании полученных реализаций износа метчиков проведена оценка изменения их свойств за период эксплуатации, установлены законы распределения стойкости при принятом критерии предельного состояния и основные показатели надёжности. Получены зависимости изменения эмпирических характеристик распределения наработки ($\bar{T}$, S^2 , $\bar{V}$) от диаметра и шага нарезаемой резьбы, твёрдости обрабатываемого материала и числа переточек метчика K . Установлен экстремальный характер изменения указан-

ных характеристик в зависимости от твёрдости заготовок. Во всех случаях увеличение размеров конструктивных элементов инструмента приводит к стабилизации дисперсии и коэффициента вариации стойкости.

Исследования показали, что распределение износа k_i и скорости его протекания (интенсивность) k на участках нормального износа согласуется с законом нормального распределения. Установлены зависимости изменения средней величины k интенсивности износа и её среднего квадратического отклонения σ_k от величины наружного диаметра, шага резьбы, твёрдости обрабатываемого материала, угла режущего конуса и количества переточек инструмента, имеющие вид:

$$\bar{k} = C_{\infty} \cdot d^{b_1} \cdot P^{b_2} (\sin \varphi)^{b_3} \cdot k^{b_4} (HB)^{b_5} \cdot e^{c_1 (n\theta)};$$

$$\sigma_k = C_{\sigma} \cdot d^{b_1} \cdot P^{b_2} (\sin \varphi)^{b_3} \cdot k^{b_4} (HB)^{b_5} \cdot e^{c_1 (n\theta)}.$$

Установлено, что для метчиков с учётом только их износа характерна модель постепенного отказа с рассеиванием начальных параметров: среднее время приработки t_0 и средняя величина износа приработки $\bar{t}_0$. Обе эти величины носят случайный характер и их распределение согласуется с законом нормального распределения.

Анализ результатов статистических испытаний позволил установить, что для машинно-ручных метчиков характерно совместное действие постепенных и внезапных отказов. Распределение внезапных отказов согласуется с экспоненциальным законом. Установлено, что параметр распределения λ зависит от диаметра метчиков и твёрдости обрабатываемого материала и менее связан с другими параметрами процесса. Предложены зависимости для расчёта

λ . Вероятность безотказной работы может определяться по зависимости: $P(t) = \left[0.5 \cdot \Phi \left(\frac{h_{\text{ог}} - h_0 - k(t - t_0)}{\sqrt{\sigma_k^2 + \sigma_k^2 (t - t_0)^2}} \right) \right] \cdot e^{-\lambda \cdot t}$. Значения параметров, входящих в данную математическую модель, определяются по зависимостям, разработанным в предыдущих разделах данной работы.

В седьмой главе рассмотрены некоторые методы повышения надёжности метчиков при обработке стальных заготовок. Оценка достигаемого уровня надёжности проводилась с экономических позиций, по зависимости: $K_3 = \frac{\theta_0 + \theta_3}{T_3}$, где K_3 - экономический показатель надёжности, руб/коп; θ_0 - стоимость изготовления инструмента, руб; θ_3 - суммарные затраты на эксплуатацию, восстановление и замену инструмента, руб; T_3 - ресурс инструмента, мин. Рассмотрены мероприятия, которые позволяют добиваться повышения надёжности не за счёт дополнительных затрат, а в основном посредством применения рациональных конструкций, оптимальных ус-

ловий эксплуатации и совершенствованием технологического процесса изготовления метчиков.

Исследования показали, что метчики одного и того же типа и размера с одинаковыми геометрическими параметрами режущей части имеют различные по форме последние режущие профили. Первая форма — главное режущее лезвие является прямолинейным и расположено на режущей части под углом ψ . В отличие от первой, главное режущее лезвие второй формы состоит из 2-х участков (ломаная линия), один из которых совпадает с наружным диаметром резьбового профиля. Первая форма режущих профилей является предпочтительной, так как обеспечивает более высокую работоспособность метчиков. Теоретические и экспериментальные исследования позволили предложить способ заточки метчиков, исключающий появление режущих профилей второй формы.

Выполнено большое количество опытов по оптимизации геометрических параметров режущей части метчиков, что позволило выявить влияние геометрических параметров на показатели надёжности инструмента. Проведенные оценки характеристик распределения стойкости и износа метчиков позволили установить, что наименьшие значения дисперсии и коэффициента вариации стойкости наблюдаются у инструмента, имеющего оптимальные геометрические параметры.

Состояние поверхностного слоя рабочих поверхностей инструмента оказывает существенное влияние на его работоспособность. Состояние поверхностного слоя определяется завершающими операциями шлифования и заточки инструмента и связано с режущей способностью абразивного инструмента, используемого на этих операциях. Сравнительный анализ качества поверхностного слоя метчиков, изготовленных шлифованием эльборовым и электрокорундовым кругами, выявил существенные структурные различия. Шлифование электрокорундовыми кругами приводит к повышению поверхностных напряжений, понижению сопротивления пластической деформации и понижению устойчивости структуры при нагреве. Всё это приводит к более быстрому износу режущих кромок метчиков. Применение кругов из эльбора для резьбошлифования и заточки улучшает показатели надёжности метчиков: средняя стойкость увеличивается в 1,3 раза, дисперсия уменьшается в 3 раза, коэффициент вариации стойкости уменьшается в 2 раза, количество разрушений инструмента сокращается в несколько раз и т.д.

Изучено влияние химико-термической обработки — карбонитра-

ции на показатели надёжности метчиков. Резьбонарезание карбонитрированными метчиками протекает более стабильно, резко сокращается количество разрушений, практически отсутствуют налипания обрабатываемого материала, снижается интенсивность износа. Сравнительные испытания показали, что карбонитрация увеличивает среднюю стойкость в 1,8...2,1 раза, дисперсия стойкости уменьшается в 2...4 раза, коэффициент вариации стойкости уменьшается в 2...3 раза.

Проведенный технико-экономический анализ показал, что наиболее эффективными методами повышения надёжности метчиков являются: получение оптимальной формы последнего режущего профиля при заточке инструмента, применение карбонитрации и комбинация этих двух методов.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. В диссертационной работе дано решение актуальной научной и практической задачи разработки способов повышения надёжности метчиков при обработке конструкционных углеродистых сталей на основании комплексных исследований физических основ формирования отказов и статистических испытаний инструмента; получены математические модели, позволяющие рассчитать основные показатели надёжности метчиков; исследованы и предложены технологические способы повышения надёжности инструмента.

2. Методом моделирования показано, что максимальные силовые и тепловые нагрузки приходятся на последние режущие профили метчика. Это обуславливает интенсивный их износ и определяющую роль в формировании отказов. Установлены зависимости характеристик распределения интенсивности износа k , σ_k от основных факторов процесса резьбонарезания.

3. Предложено критериальное уравнение для определения допустимой величины износа метчиков по задней поверхности:

$$h_{y\phi} = C_d \cdot C_p \cdot \frac{P \cdot \tan \phi}{2 \cdot \tan \alpha}$$

Использование этого уравнения позволяет установить границы безотказной работы инструмента.

4. Установлено, что для машинно-ручных метчиков размерами от М8 до М42 при обработке конструкционных углеродистых сталей характерны отказы функционирования, которые формируются в результате износа задних поверхностей и внезапных разрушений, обусловленных случайными "пиковыми" нагрузками, вероятность которых возрастает с увеличением износа. Предложена модель формирования отказов метчиков с учётом совместного действия постепенных и внезапных отказов:

$$P(t) = [0.5 + \Phi \left(\frac{h_{y\phi} - h_0 - k(t - t_0)}{\sqrt{\sigma_k^2 + \sigma_k^2 (t - t_0)}} \right)] \cdot e^{-\lambda t}$$

5. Предложены частные и общие зависимости наработки метчиков в широком диапазоне варьирования V , d , P и φ . Зависимости наработки от скорости резания V и угла режущей части φ носят экстремальный характер, что позволяет установить их оптимальные значения.

6. На основании производственных испытаний установлены закономерности изменения характеристик эмпирических распределений наработки ($\bar{T}$, S^2 , V) метчиков от условий эксплуатации и их размеров. Установлен экстремальный характер изменения средней наработки $\bar{T}$, дисперсии S^2 , коэффициента вариации стойкости V от твердости заготовок. Увеличение размеров конструктивных элементов метчиков приводит к стабилизации значений дисперсии и коэффициента вариации стойкости. Полученные математические модели позволяют с заданной вероятностью оценить основные показатели надёжности по установленным законам распределения наработки.

7. Износ метчиков по наружному диаметру приводит к параметрическому отказу – потере формообразующего размера. Формирование параметрического отказа происходит постепенно в течение ресурса инструмента. Предложена зависимость для определения вероятности безотказной работы метчиков.

8. Установлено, что при резьбонарезании напряжения у вершин режущего профиля превосходят напряжения других областей поперечного сечения метчиков приблизительно в три раза. Это приводит к значительному числу отказов инструмента и-за выкрашиваний и сколов режущих и первых калибрующих профилей метчиков.

9. Влияние технологической системы на работоспособность машинно-ручных метчиков проявляется через погрешности установки осей отверстия заготовки и инструмента. Наличие погрешностей установки во всех случаях приводит к снижению стойкости инструмента и точности нарезаемой резьбы. Влияние отклонений от соосности в пределах до 1 мм компенсируется только плавающим креплением инструмента. Перекос осей метчика и отверстия заготовки не исправляется при любом виде крепления инструмента. Положение оси резьбы детали определяется положением оси метчика при его заходе в отверстие. Предложена зависимость, устанавливающая взаимосвязь стойкости с величиной угла перекоса ϵ .

10. Теоретически обосновано существование только двух форм последнего режущего профиля. Одна из них является предпочтительной, так как обеспечивает более высокую работоспособность мет-

чиков. Разработан и опробован в производственных условиях способ заточки метчиков, обеспечивающий получение предпочтительной формы профиля, что приводит к увеличению стойкости в два раза и стабилизации процесса резбонарезания – коэффициент вариации стойкости не превышает 0,2.

II. Установлено, что эффективными способами повышения надёжности метчиков являются:

- шлифование профиля и заточка метчиков эльборовыми кругами, что приводит к увеличению средней стойкости в 1,3 раза, уменьшению дисперсии в три раза и коэффициента вариации стойкости до двух раз, количество разрушений сокращается в три раза;
- химико-термическая обработка – карбонитрация: при этом снижается интенсивность износа, средняя стойкость увеличивается в 1,8...2,1 раза, дисперсия уменьшается в 2...4 раза, коэффициент вариации стойкости не превышает 0,15.

12. Суммарный годовой экономический эффект от внедрения результатов работы на предприятии Сердобский машиностроительный завод ПО ЗИЛ составил 5,3 тысячи рублей на одну автоматическую линию, а общий экономический эффект 20000 рублей.

Основные положения диссертации опубликованы в работах:

1. Литвиненко А.В. Влияние профиля последнего режущего лезвия на стойкость метчиков // Изв. ВУЗов. Машиностроение. – 1984. – № 12, – С. 94-97.

2. Литвиненко А.В. Распределение силовых и температурных нагрузок по лезвиям метчиков // Повышение эффективности обработки конструкционных материалов: Республиканская научно-практическая конференция. – Улан-Удэ, 1985. – С. 84.

3. Древаль А.Е., Литвиненко А.В. Взаимосвязь точности геометрических параметров метчиков с их работоспособностью // Повышение эффективности обработки конструкционных материалов: Республиканская научно-практическая конференция. – Улан-Удэ, 1985. – С. 89 – 90.

4. Литвиненко А.В. Влияние системы СПИД на надёжность работы метчиков // Интенсификация технологических процессов механической обработки: Всесоюзная научно-техническая конференция. – Л., 1986. – С. 56-57.

5. Андриевская С.И., Литвиненко А.В. Изучение напряжённого состояния метчиков методом фотоупругости // Изв. ВУЗов. Машиностроение. – 1986. – № 12. – С. 118-123.