

М 86108

Московский ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции
и ордена Трудового Красного Знамени
государственный технический университет имени Н.Э.Баумана

На правах рукописи

ТКАЧЕНКО Игорь Валентинович

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ КРИТЕРИАЛЬНЫХ
ЗАВИСИМОСТЕЙ ОТКАЗОВ ОСЕВЫХ РЕЖУЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ

Специальность 05.03.01. Процессы механической и физико-
технической обработки, станки и
инструменты

И.В.Ткаченко

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва 1992

Работа выполнена в Московском ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции и ордена Трудового Красного Знамени государственном техническом университете имени Н.Э.Баумана.

Научный руководитель - кандидат технических наук,
доцент ДРЕВАЛЬ А.Е.

Официальные оппоненты - доктор технических наук,
профессор ЯРОСЛАВЦЕВ В.М.
кандидат технических наук,
АНДРЕЕВ В.Н.

Ведущая организация - ПО ММЗ им. Калинина.

Защита состоится "29" июня 1992 г. на заседании специализированного совета К.053.15.15. в Московском государственном техническом университете имени Н.Э.Баумана по адресу: 107005, Москва, Б-5, 2-я Бауманская ул., д.5.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке МГТУ имени Н.Э.

печ

тре, заверенный
ному адресу.

Авт

Уче
Сое
доп

Р.К.Мещеряков

Заказ № 309

М 86108

Актуальность работы. Режущий инструмент является слабым элементом технологической системы производства. Поэтому для обеспечения заданного уровня надежности оборудования необходимо обеспечить надежную работу режущего инструмента, учитывая условия его эксплуатации.

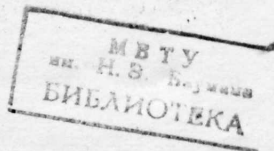
Осевой инструмент является одним из наиболее распространенных режущих инструментов и предназначен для обработки отверстий. Для малых диаметров – это практически единственный способ их изготовления. Осевой инструмент занимает особое место среди режущих инструментов в технологическом процессе изготовления деталей, т.к. применяется в основном на завершающих операциях (развертки, метчики). Его поломки, сколы, выкрашивания, отказы по точности и шероховатости приводят к трудноустраняемому браку основного производства, увеличению затрат на его устранение, простоям оборудования, повышенному расходу инструмента.

Одним из способов обеспечения надежности инструментов, не требующим дополнительных затрат на его реализацию, является установление научно обоснованных критериев их износа. Существующие нормативы режимов резания и большая часть исследователей рекомендуют в качестве критерия износа осевых инструментов – критерий равного износа, использование которого в одних диапазонах режимов резания приводит к значительному увеличению функциональных и параметрических отказов инструмента и снижению надежности технологических операций, в других – не позволяет полностью расходовать ресурс режущих свойств инструментов. И в том и в другом случае использование критерия равного износа значительно увеличивает расход инструмента. В существующих нормативах критерий износа рассматривается как детерминированная величина, что не отражает реальный характер процесса изнашивания инструментов.

В связи с этим исследования, направленные на установление научно обоснованных критериев оптимального износа, позволяющих обеспечить надежность осевых инструментов, являются актуальными.

Цель и задачи работы. Целью работы является повышение эксплуатационных свойств осевых быстрорежущих инструментов посредством назначения научно обоснованных критериев оптимального износа.

Для достижения поставленной цели необходимо последовательно решить следующие основные задачи:



- теоретически обосновать переменный характер критерия оптимального износа в зависимости от основных параметров процесса резания;

- установить виды, причины возникновения отказов осевых режущих инструментов и закономерности их формирования;

- изучить влияние износа режущих элементов инструмента осевого типа на физические явления, сопровождающие процесс обработки и приводящие к отказам инструментов, разработать модели отказов осевых режущих инструментов;

- установить обобщенные уравнения для расчета критериев оптимального износа, обеспечивающих безотказную работу сверл, разверток и метчиков с заданной вероятностью при обработке конструкционных углеродистых сталей;

- обосновать преимущества применения критериев оптимального износа для рационального расходования ресурса и повышения надежности осевых инструментов по сравнению с использованием критериев равного износа;

- разработать методики и пакет программ расчета основных технико-экономических показателей нормативов режимов резания осевого инструмента при использовании критериев оптимального износа.

Методы исследований. Разработаны общая и частные методики проведения экспериментальных и теоретических исследований. Использованы методы моделирования, статистических испытаний, разделы теории резания, теории вероятностей и математической статистики.

Исследования проводились в лабораторных и производственных условиях. При проведении экспериментов применялась современная контрольно-измерительная аппаратура. Результаты экспериментальных исследований обработаны на ЭВМ "Электроника-100-25", персональном компьютере и представлены в виде математических зависимостей и моделей.

Научная новизна. Теоретически обоснован переменный характер критерия оптимального износа при функциональных и параметрических отказах осевых инструментов.

На основании изучения физических закономерностей формирования отказов осевых инструментов установлены причины и разработаны модели их отказов. Показано, что отказы инструментов обусловлены износом определенного конструктивного элемента в

зависимости от основных параметров режима резания и требований, предъявляемых к точности или шероховатости обработанных отверстий. Установлено, что распределения величины критериев оптимального износа осевых инструментов согласуются с законом Гаусса или с законами, близкими к нему. Показаны преимущества критерия оптимального износа в сравнении с критерием равного износа при организации системы эксплуатации и восстановления режущих свойств сверл, разверток и метчиков.

Практическая ценность. Получены частные и общие зависимости для расчета величины критериев оптимального износа спиральных сверл, машинных разверток и машинно-ручных метчиков в зависимости от конструктивных (d, P, φ), режимных (v, s, t) параметров процесса резания и физико-механических свойств обрабатываемого материала (НВ), обеспечивающие безотказную работу указанных инструментов с заданной вероятностью при обработке конструкционных углеродистых сталей.

Разработана методика и предложены зависимости для расчета критериев оптимального износа, позволяющие свести к минимуму количество трудоемких стойкостных испытаний при использовании новых конструкций инструментов, новых инструментальных и обрабатываемых материалов и т.д.

Предложена методика расчета и разработан пакет прикладных программ для расчета основных технико-экономических показателей механической обработки при эксплуатации сверл, разверток и метчиков до критерия оптимального износа.

Результаты исследований прошли промышленную проверку и внедрены на п/о Херсонский комбайновый завод и Херсонском судостроительном объединении. Экономический эффект составил 22620 и 18000 рублей, соответственно.

Апробация работы. Основные результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались: на научных семинарах кафедры "Резание металлов" МГТУ им.Н.Э.Баумана, на научно-технических семинарах в Центральном Российском доме знаний "Проблемы эксплуатации инструмента в металлообрабатывающей промышленности", "Прогрессивная технология изготовления резьб" (Москва 1992 г.).

Автор выражает благодарность к.т.н., доценту кафедры МТ-2 Литвиненко А.В. за консультации и помощь в работе.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введе-

ния, 7 глав и общих выводов, списка литературы из 107 наименований, приложений. Работа изложена на 340 страницах, из них текста 159 стр., рисунков 132, табл. 40, приложений 2.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы и сформулирована цель диссертационной работы.

В первой главе определен объект исследования, осуществлен анализ ранее выполненных исследований и нормативно-технической документации по вопросам сверления, развертывания, резьбонарезания метчиками. Обосновано, что критерий оптимального износа является более предпочтительным при эксплуатации сверл, метчиков и разверток.

Показано, что критерии равного износа сверл, разверток и метчиков установлены неточно. Не всегда связаны с элементом, износ которого является причиной отказа инструмента. Не учитывают основных режимных, конструктивных параметров процесса резания и основных физико-механических свойств обрабатываемого материала, оказывающих влияние на работоспособность инструментов.

Анализ ранее выполненных исследований показал, что критерии равного износа, в основном, представлены в детерминированной форме, что не отражает реальные явления, сопровождающие процесс изнашивания инструментов.

Установлено, что существующие модели отказов сверл, разверток и метчиков обладают рядом недостатков.

Для реализации цели диссертационной работы были сформулированы задачи исследования с учетом результатов проведенного анализа литературных источников.

Во второй главе представлены общая и частные методики проведения производственных и лабораторных экспериментальных исследований.

Лабораторные исследования выполнены в МГТУ им. Н.Э. Баумана на заготовках из конструкционной углеродистой стали марки 45 ГОСТ 1050-74 на вертикально-сверлильном станке с ЧПУ модели 2Р13542. Вид заготовки - квадратная плита размерами 200х200х32. Моделирование процессов свободного резания и развертывания выполнено на поперечно-строгальном станке модели 7Е35. Вид заготовки - специальный стальной брусок размерами

32x200x2. Производственные испытания производились на заготовках деталей основной продукции завода из конструкционных углеродистых сталей, обрабатываемых на автоматических линиях и агрегатных станках. Режимы резания соответствовали принятым на заводе. 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 производственных исследованиях использованы спиральные сверла ГОСТ 10903-77 и ГОСТ 4010-77, машинные развертки ГОСТ 1672-80, машинно-ручные метчики ГОСТ 3266-81 из стали Р6М5 ГОСТ 19265-73.

Все партии исследуемых осевых инструментов подвергались тщательному входному контролю, который осуществлялся на микроскопе УИМ-23 и приборе "Царатест" фирмы "Цейсс". По результатам контроля формировались партии инструментов с близкими параметрами в пределах допустимых отклонений.

При эксплуатации осевых инструментов в лабораторных условиях спиральные сверла крепились жестко, машинные развертки - в плавающе-качающемся патроне, машинно-ручные метчики - в плавающем патроне с осевой компенсацией.

Для измерения и фотографирования износа, величины нароста и его положения на рабочей части инструмента непосредственно на станке и вне станка, в лабораторных исследованиях использовались специальные оптико-механические устройства, сконструированные и изготовленные на базе микроскопа "Биолам-2" и микроскоп УИМ-23.

Исследование крутящих моментов, осевых сил и термо-ЭДС на отдельных режущих элементах спиральных сверл проводилось на специально изготовленных заготовках с использованием электротензодинамометра УДМ-600 со стандартной регистрирующей аппаратурой.

Разбивка развернутых отверстий измерялась с помощью нутромера ГОСТ 9384-60. Шероховатость обработанной поверхности и поверхности инструмента, радиус округления режущих лезвий изучались с помощью профилографов-профилометров модели 201 и 252 завода "Калибр". Микроструктура и микротвердость поверхностных слоев обработанной поверхности определялись с помощью косых и прямых шлифов на микроскопах ПМТ-3 и МИМ-7.

Обработка экспериментальных данных проводилась с помощью методов математической статистики и прикладной математики.

В третьей главе дано теоретическое обоснование переменного характера критерия оптимального износа при функциональных и параметрических отказах инструмента.

При контактировании изношенных задних поверхностей инструмента с поверхностью резания в момент отказа, в соответствии с работами проф. И. В. Крагельского и Н. Б. Демкина, рассмотрены три различных площади изношенной поверхности инструмента. A_n - номинальная площадь износа (визуально наблюдаемая площадь изношенных участков инструмента), A_r - фактическая площадь износа, площадь, на которой непосредственно взаимодействуют инструмент и поверхность резания в момент контакта (контакт на уровне микронеровностей) и A_c - контурная площадь износа, которая представляет собой зоны номинальной площади износа A_n , где вследствие ее волнистости группируются микронеровности изношенной поверхности инструмента, участвующие в контакте с поверхностью резания. Согласно Н. Б. Демкину, доминирующим фактором, определяющим фактическую площадь износа A_r инструмента при кратковременном, прерывистом, "пластическом контакте с упрочнением" с поверхностью резания и повышенных температурах, будет являться время контакта.

Выдвинута гипотеза, что присутствие нароста на режущем лезвии приводит к прерывистому контакту изношенных участков инструмента с поверхностью резания и определяет время их контакта, которое зависит от основных параметров процесса резания.

Обработкой данных проф. Г. И. Грановского получена зависимость среднего времени между двумя соседними срывами нароста ($\bar{t}_{c.n.}$) от скорости скольжения индентора. Установлено, что время между двумя срывами нароста величина переменная, а зависимость $\bar{t}_{c.n.} = f(v)$

имеет экстремальный характер с минимумом в области устойчивого нароста. Анализируя упрощенную схему наростообразования, предложенную Г. И. Грановским, время $\bar{t}_{c.n.}$ условно разделено на две составляющие: время, в течение которого нарост нависает над режущим лезвием, выполняет его функции и предохраняет его изношенную заднюю поверхность от контакта с поверхностью резания, и время $\bar{t}_{a.n.}$, в течение которого нарост формируется на режущем лезвии после очередного срыва и не предохраняет задние поверхности инструмента от контакта с поверхностью резания на заготовке. Моделированием процесса свободного резания получена зависимость $\bar{t}_{a.n.} = f(v)$. Установлено, что $\bar{t}_{a.n.}$ величина переменная, а зависимость $\bar{t}_{a.n.} = f(v)$ имеет экстремальный

характер с минимумом в области устойчивого нароста и идентична зависимости $\bar{t}_{с.н.} = f(v)$.

Выдвинута вторая гипотеза о том, что причиной функциональных отказов инструментов является равенство не номинальных площадей износа A_n инструмента, а фактических A_f .

Используя результаты экспериментов, рассчитаны значения номинальной площади изношенных участков инструмента A_n и величины критерия оптимального износа при предположении, что в момент отказа инструмента фактическая площадь износа $A_f = \text{const}$ и не зависит от скорости резания. В результате анализа и расчета установлено, что критерий оптимального износа инструментов должен быть величиной переменной, а зависимость $\bar{h}^{\text{опт}} = f(v)$ иметь экстремальный характер с максимумом в области устойчивого нароста.

Переменный характер критерия оптимального износа при параметрических отказах осевых инструментов также объясняется присутствием нароста на режущем лезвии. В результате моделирования работы единичного зуба развертки установлено, что по мере увеличения износа режущих лезвий увеличивается высота нароста и изменяется его положение на лезвии. С определенной высоты ($\bar{H}_{\text{доп.}}$), которая постоянна и не зависит от основных параметров процесса резания, нарост выступает за пределы образующей ленточки развертки и начинает принимать активное участие в формировании обработанной поверхности, что приводит к отказам по точности и шероховатости. Доказано, что при различных значениях параметров режима резания высота нароста $\bar{H}_{\text{доп.}}$ достигается при различных величинах износа режущих элементов инструмента.

В четвертой главе в результате обработки статистического материала установлено, что сверлам характерны функциональные отказы. Разработана классификация отказов сверл. Установлено, что одной из основных причин отказов сверл диаметром более 6 мм является постепенное накопление повреждений в виде износа режущих элементов сверла.

Экспериментально доказано, что при скорости сверления менее 0,3 м/с отказ сверл обусловлен износом ленточек, при скорости более 0,3 м/с - износом задних поверхностей режущих лезвий.

Разработаны модели формирования постепенных отказов и

предложены зависимости для расчета вероятности безотказной работы сверл, с учетом конструктивного элемента, износ которого приводит к их отказам:

$$\begin{aligned}
 &v < 0,3 \text{ м/с} & v > 0,3 \text{ м/с} \\
 &P(\tau) = 0,5 + \Phi\left(\frac{h_{\lambda}^{\text{онт}} - \bar{k}_{\lambda} \cdot t}{t \cdot \sigma_{k_{\lambda}}}\right) \quad (1); & P(\tau) = 0,5 + \Phi\left(\frac{h_3^{\text{онт}} - \bar{h}_{30} - \bar{k}_3(t - \bar{t}_0)}{\sqrt{\sigma_{h_{30}}^2 + \sigma_{k_3}^2(t - \bar{t}_0)^2}}\right) \quad (2);
 \end{aligned}$$

где $0 \leq \Phi \leq 0,5$; $t \geq t_0$;

$h_{\lambda}^{\text{онт}}, h_3^{\text{онт}}$ - критерии оптимального износа ленточек и главных задних поверхностей;

$\bar{h}_{30}, \bar{t}_0$ - соответственно средние величины приработочного износа и времени приработки главных задних поверхностей;

$\bar{k}_{\lambda}, \bar{k}_3$ - средние скорости изнашивания ленточек и главных задних поверхностей;

$\sigma_{h_{30}}, \sigma_{k_3}$ - средние квадратические отклонения приработочного износа и скорости изнашивания задних поверхностей.

Разработаны зависимости для расчета критерия оптимального износа, связанные с режущим элементом, который обуславливает отказы сверл:

$$\begin{aligned}
 &v < 0,3 \text{ м/с} & v > 0,3 \text{ м/с} \\
 &h_{\lambda}^{\text{онт}} = a \cdot v^{b_1} \cdot s^{b_2} \cdot d^{b_3} \cdot \text{HB}^{b_4} \cdot e^{(c_1 \cdot v - c_2 \cdot s)}, \text{ мм}; & h_3^{\text{онт}} = a' \cdot v^{b'_1} \cdot s^{b'_2} \cdot d^{b'_3} \cdot \text{HB}^{b'_4} \cdot e^{(c'_1 \cdot v - c'_2 \cdot s)}, \text{ мм}. \quad (3)
 \end{aligned}$$

Установлено, что распределения критериев оптимального износа ленточек и задних поверхностей удовлетворительно согласуются с законом Гаусса или близкими к нему. Предложена зависимость для расчета $h_i^{\text{онт}}$, обеспечивающих безотказную работу сверл с заданной вероятностью:

$$\begin{aligned}
 &v < 0,3 \text{ м/с} & v > 0,3 \text{ м/с} \\
 &h_{\lambda\gamma} = \bar{h}_{\lambda}^{\text{онт}}(1 - U_p \cdot \gamma_{h_{\lambda}}), \text{ мм} \quad (4); & h_{3\gamma} = \bar{h}_3^{\text{онт}}(1 - U_p \cdot \gamma_{h_3}), \text{ мм} \quad (5);
 \end{aligned}$$

где U_p - квантиль нормального распределения;

$\gamma_{h_{\lambda}}, \gamma_{h_3}$ - значения коэффициентов вариации величины критерия оптимального износа ленточек и задних поверхностей.

Зависимости (3), (4), (5) рекомендованы для расчета $h_i^{\text{онт}}$ ста: дартных сверл и нормирования операции сверления.

Выведены зависимости момента резания от основных параметров процесса сверления и износа режущих элементов сверла:

$$v < 0,3 \text{ м/с}$$

$$v > 0,3 \text{ м/с}$$

$$\bar{M}_{\text{рез}} = \alpha \cdot s^{\delta_1} \cdot d^{\delta_2} \cdot \text{HB}^{\delta_3} \cdot e^{\delta_4} \cdot h_1, \text{ Н·м}; \quad \bar{M}_{\text{рез}} = \alpha' \cdot s^{\delta_1} \cdot d^{\delta_2} \cdot \text{HB}^{\delta_3} \cdot e^{\delta_4} \cdot h_3, \text{ Н·м (6)}.$$

Установлено, что в качестве прочностного ограничения работоспособности сверл должен выступать не разрушающий момент $\bar{M}_{\text{разр}}$ (зависимость для расчета которого рекомендована В.И.Жилисом), а допустимый $\bar{M}_{\text{доп}}$ (предшествующий появлению "всплесков" $\bar{M}_{\text{кр}}$), который по величине меньше $\bar{M}_{\text{разр}}$ и оценивается соотношением $K = \bar{M}_{\text{разр}} / \bar{M}_{\text{доп}}$. Доказано, что коэффициент K является величиной переменной и зависит от основных параметров процесса сверления. С учетом принятого ограничения $\bar{M}_{\text{рез}} \leq \bar{M}_{\text{доп}} = \bar{M}_{\text{разр}} / K$ (7), выведены зависимости для расчета критериев оптимального износа режущих элементов, которые позволяют сократить количество трудоемких стойкостных испытаний при изменении условий эксплуатации сверл:

$$v < 0,3 \text{ м/с}$$

$$v > 0,3 \text{ м/с}$$

$$h_{\lambda}^{\text{опт}} \leq \frac{\ln \left[\frac{\alpha \cdot 10^{1,4m+0,2n'}}{K \cdot s^{\delta_1} \cdot d^{\delta_2} \cdot \text{HB}^{\delta_3}} \cdot \bar{t}_{\text{max}} \cdot q \right]}{\alpha}, \text{ мм}; \quad h_{\lambda}^{\text{опт}} \leq \frac{\ln \left[\frac{\alpha' \cdot 10^{1,4m+0,2n'}}{K \cdot s^{\delta_1} \cdot d^{\delta_2} \cdot \text{HB}^{\delta_3}} \cdot \bar{t}_{\text{max}} \cdot q \right]}{\alpha'}, \text{ мм (8)}.$$

Зависимость (8) рекомендована для расчета критериев оптимального износа сверл новых конструкций, при использовании новых инструментальных и обрабатываемых материалов, а зависимость (7) — для диагностирования состояния режущих элементов сверла по крутящему моменту.

В пятой главе обработки статистического материала установлено, что разверткам характерны параметрические отказы. Представлена классификация отказов машинных разверток. Установлено, что одной из основных причин отказов по точности и шероховатости является постепенное накопление повреждений в виде износа задних поверхностей режущих лезвий и калибрующих ленточек.

Лабораторными экспериментами доказано, что износ задних поверхностей режущих лезвий разверток определяет разбивку отверстий и параметрические отказы по точности, а износ калибрующих ленточек определяет шероховатость обработанных отверстий и параметрические отказы разверток по шероховатости.

Разработаны модели формирования постепенных параметрических отказов и зависимости для расчета вероятности безотказной работы разверток, с учетом конструктивного элемента, из-

нос которого обуславливает отказы по точности (аналогична зависимости (2)) и шероховатости (аналогична зависимости (1)).

Установлены частные и обобщенные зависимости для расчета критерия оптимального износа, связанные с режущим элементом разверток, который обуславливает их параметрические отказы по точности или шероховатости.

По точности (H9)

$$h_3^{\text{онт}} = a \cdot v^{b_1} \cdot s^{b_2} \cdot t^{b_3} \cdot d^{b_4} \cdot e^{(c_1 \cdot v + c_2 \cdot s + c_4 \cdot d)}, \text{ мм.}$$

По шероховатости ($R_a \leq 2,5$ мкм)

$$h_A^{\text{онт}} = a' \cdot v^{b'_1} \cdot s^{b'_2} \cdot t^{b'_3} \cdot d^{b'_4} \cdot e^{(c'_1 \cdot v + c'_2 \cdot s + c'_4 \cdot d)}, \text{ мм.}$$

($R_a \leq 1,25$ мкм)

$$h_A^{\text{онт}} = a'' \cdot v^{b''_1} \cdot s^{b''_2} \cdot t^{b''_3} \cdot d^{b''_4} \cdot e^{(c''_1 \cdot v + c''_2 \cdot s + c''_4 \cdot d)}, \text{ мм.} \quad (9)$$

Установлено, что распределение величин критериев оптимального износа конструктивных элементов разверток удовлетворительно согласуется с законом Гаусса или близкими к нему. Предложены зависимости для расчета $h_i^{\text{онт}}$, обеспечивающие безотказную работу разверток с заданной вероятностью. При ограничениях по точности – аналогична зависимости (5), по шероховатости – аналогична зависимости (4).

В процессе исследований установлено, что лимитирует работоспособность разверток в области скоростей резания менее 0,141 м/с и подач менее 0,5 мм/об износ задних поверхностей режущих лезвий ($h_A^{\text{онт}} < h_{R_A}^{\text{онт}}$), в области скоростей более 0,141 м/с и подач более 0,5 мм/об – износ калибрующих ленточек ($h_{R_A}^{\text{онт}} < h_A^{\text{онт}}$). Определены диапазоны параметров режима развертывания, где критерии износа по точности и шероховатости соизмеримы ($h_A^{\text{онт}} \approx h_{R_A}^{\text{онт}}$).

Установлено, что машинным разверткам характерны два вида параметрических отказов, которые протекают одновременно, независимо друг от друга и отличаются по скорости протекания. Отказы, причиной которых является износ режущих и калибрующих элементов, протекают более быстро и определяют период стойкости разверток. И отказы, причиной которых является изменение формообразующего размера разверток из-за износа по наружному диаметру, протекают более медленно и определяют суммарный ресурс разверток.

Доказано, что реализации износа наружного диаметра разверток от времени их работы представляют собой линейную зависимость $d_h = d - d_h \cdot t$, мм (10) и имеют постоянную скорость изнашивания в пределах партии инструментов. Выведена зависимость

скорости изнашивания разверток по наружному диаметру от основных параметров процесса резания: $\dot{h}_{d_h} = a \cdot v^{b_1} \cdot s^{b_2} \cdot t^{b_3}$, мм/мин (II).

Разработана модель формирования постепенных отказов разверток из-за потери их формообразующего размера и предложена зависимость для расчета вероятности безотказной работы разверток:

$$P(t) = 0.5 + \Phi\left(\frac{d - \dot{h}_{d_h} t - d_{\min}}{\sigma_d}\right). \quad (12)$$

В шестой главе в результате производственных испытаний партий метчиков установлено, что метчикам характерны функциональные и параметрические отказы. Представлена классификация отказов машинно-ручных метчиков. Установлено, что одной из основных причин функциональных отказов метчиков является постепенное накопление повреждений в виде износа режущих и калибрующих профилей. Одновременно установлено, что у метчиков наблюдаются отказы на участке нормального износа, которые возникают внезапно и частота их появления приблизительно постоянна. На основании литературного обзора установлено, что распределение внезапных отказов удовлетворительно согласуется с экспоненциальным законом распределения. Выведена обобщенная зависимость параметра распределения λ внезапных отказов метчиков от шага (P), диаметра (d) и твердости обрабатываемого материала (HB), которая позволяет оценить появление внезапных отказов: $\lambda = a \cdot d^{b_1} \cdot P^{b_2} \cdot HB^{b_3}$ (13).

Разработана модель формирования функциональных отказов метчиков и предложена зависимость для расчета вероятности безотказной работы, учитывающая, что причиной отказов является совместное действие постепенного накопления повреждений в виде износа резцовых профилей и внезапных отказов, обусловленных пиковыми нагрузками на инструмент:

$$P(t) = [0.5 + \Phi\left(\frac{h_3^{ont} - \bar{h}_{3_0} - \bar{h}_3(t - t_0)}{\sqrt{6h_{3_0}^2 + 6h_3^2(t - t_0)^2}}\right)] \cdot e^{-\lambda t}. \quad (14)$$

Установлены частные и обобщенные зависимости для расчета критерия оптимального износа метчиков в зависимости от основных параметров процесса резбонарезания:

$$h_3^{ont} = a \cdot v^{b_1} \cdot s^{b_2} \cdot P^{b_3} \cdot d^{b_4} \cdot HB^{b_5} \cdot e^{(c_1 \cdot v - c_2 \cdot \sin \varphi - c_3 \cdot P + c_4 \cdot d)}, \text{ мм.} \quad (15)$$

Доказано, что распределение величины критерия оптимального износа метчиков удовлетворительно согласуется с законом Гаусса или близкими к нему. Предложена зависимость, аналогичная зависимости (5), для расчета h_3^{ont} , обеспечиваю-

чего безотказную работу метчиков с заданной вероятностью.

Зависимости (15) и (5) рекомендованы для расчета критерия оптимального износа стандартных метчиков и нормирования операции резьбонарезания.

Выведена обобщенная зависимость момента резьбонарезания от основных параметров процесса резания и износа метчиков:

$$\bar{M}_{\text{рез}} = \bar{Q} \cdot d^{b_1} \cdot p^{b_2} \cdot \varphi^{b_3} \cdot z^{b_4} \cdot \theta^{b_5} \cdot h_3, \text{ Н} \cdot \text{м}. \quad (16)$$

Экспериментально установлено, что в качестве прочностного ограничения работоспособности метчиков должен выступать не разрушающий момент $M_{\text{раз}}$ (зависимость для расчета которого рекомендована В.В.Матвеевым), а допустимый $\bar{M}_{\text{доп}}$, предшествующий появлению "всплесков" момента на зависимости $\bar{M}_{\text{рез}} = f(h_3)$, который по величине меньше $M_{\text{раз}}$ и оценивается соотношением $K = M_{\text{раз}} / \bar{M}_{\text{доп}}$. Доказано, что коэффициент K является величиной переменной и зависит от основных параметров процесса резьбонарезания. С учетом принятого ограничения (зависимость, аналогичная зависимости (7)) выведена зависимость для расчета критерия оптимального износа метчиков, которая позволяет значительно сократить количество трудоемких стойкостных испытаний при изменении условий эксплуатации метчиков:

$$h_3^{\text{опт}} \leq \frac{\ln}{\alpha} \left[\frac{\bar{\sigma}_s \cdot \Gamma_{b_n}^3}{\alpha_1 \cdot k \cdot K \cdot d^{b_1} \cdot p^{b_2} \cdot \varphi^{b_3} \cdot z^{b_4}} \right], \text{ мм}. \quad (17)$$

Зависимость (17) рекомендована для расчета критерия оптимального износа метчиков новых конструкций, при использовании новых инструментальных и обрабатываемых материалов, а зависимость (7) — для диагностирования состояния режущих профилей метчиков по крутящему моменту.

Установлено, что метчикам характерны функциональные и параметрические отказы, которые протекают одновременно, независимо друг от друга и отличаются по скорости протекания. Функциональные, причиной которых является износ резьбовых профилей и внезапные отказы, протекают более быстро и определяют период стойкости метчиков. Параметрические отказы, причиной которых является изменение формообразующего размера метчиков из-за износа по наружному диаметру, протекают более медленно и определяют суммарный ресурс метчиков.

Доказано, что реализации износа наружного диаметра метчиков от времени их работы представляют собой линейную зависимость (аналогичную зависимости (10)) и имеют постоянную интенсивность изнашивания в пределах партии метчиков. Выведена зависимость

интенсивности изнашивания метчиков по наружному диаметру от основных параметров процесса резбонарезания:

$$J_{dh} = a \cdot v^{b_1} \cdot \varphi^{b_2} \cdot HB^{b_3} \cdot e^{(b_4 \cdot d - b_5 \cdot P)}, \text{ мм/м.} \quad (18)$$

Разработана модель формирования постепенных отказов метчиков из-за потери их формообразующего размера и предложена зависимость (аналогичная зависимости (12)) для расчета вероятности безотказной работы метчиков.

В седьмой главе представлено сравнение основных показателей надежности и технико-экономических показателей механической обработки при использовании различных критериев износа осевых инструментов.

Сравнение периода стойкости (наработки) при различных критериях износа осуществлялось с помощью коэффициента относительной стойкости $K_T = \frac{T_{\text{опт}}}{T^P}$ и по приращениям стойкости (наработки), выраженным временем $\Delta T = T_{\text{опт}} - T^P$ (мин), длиной $\Delta L = L_{\text{опт}} - L^P$ (м) и количеством обработанных отверстий $\Delta n = n_{\text{опт}} - n^P$ (шт.). В результате установлено, что в зависимости от вида осевых инструментов и используемого диапазона скоростей резания применение критерия равного износа в одних случаях (при $n^P < n_{\text{опт}}$) не позволяет полностью использовать ресурс режущих свойств инструментов на величину $\Delta T, \Delta L, \Delta n$, а рекомендуемая нормативами стойкость инструментов может быть увеличена в K_T раз. В других случаях (при $n^P > n_{\text{опт}}$) использование критерия равного износа приводит к тому, что рекомендуемая нормативами стойкость завышена в K_T раз ($T^P > T_{\text{опт}}$), а инструмент часть времени (наработки) ($\Delta T, \Delta L, \Delta n$) должен эксплуатироваться в недопустимых условиях.

Сравнением вероятности безотказной работы инструментов при использовании различных критериев износа показано, что использование критерия равного износа приводит к тому, что значительную часть времени метчики, эксплуатирующиеся в автоматизированном производстве, вынуждены работать в условиях, когда вероятность их отказа близка к единице. Применение критерия равного износа при эксплуатации спиральных сверл не позволяет использовать значительную часть их ресурса. Показано, что применение критерия оптимального износа при эксплуатации осевых инструментов в условиях автоматизированного производства позволяет с достоверной вероятностью максимально использовать ресурс инструментов.

Определено, что критерий оптимального износа, в отличие от

равного, связан с элементом, износ которого является причиной отказа инструмента. Показано, что использование критерия оптимального износа позволяет рационально использовать суммарный ресурс инструментов за счет обоснованного назначения норм стачивания (Δl^{opt}) элемента, определяющего отказ инструментов, и количества переточек (k^{opt}).

Представлены результаты расчета основных технико-экономических показателей обработки при использовании критерия оптимального износа и их сравнение со значениями, рекомендуемыми нормативами режимов резания. Даны рекомендации для корректировки нормативов режимов резания сверл, разверток и метчиков с учетом критерия оптимального износа и его вероятностного характера.

Установлено, что использование критерия оптимального износа в сравнении с критерием равного износа изменяет значения стоимости и производительности обработки. Изменяются значения скоростей резания, при которых достигаются минимальные величины стоимости обработки или максимальные величины производительности.

В приложениях вынесены следующие материалы: методики и алгоритмы расчетов основных технико-экономических показателей при эксплуатации сверл, разверток и метчиков до критерия оптимального износа, а также результаты внедрения данной работы.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Установлено, что нарост, образующийся на режущих лезвиях, является причиной переменного характера величины оптимального износа при функциональных и параметрических отказах осевых инструментов, т.к. в первом случае он определяет время контакта изношенной задней поверхности инструмента с поверхностью резания, во втором - определяет формообразующий размер инструмента.

2. Установлено, что прерывистость контакта и переменные значения времени контакта изношенных задних поверхностей инструмента с поверхностью резания при различных скоростях резания приводят к различным значениям номинальной площади износа инструмента в момент отказа и, следовательно, критерия оптимального износа.

3. Установлено, что осевым инструментам характерны модели постепенного формирования отказов, при этом отказ инструментов обусловлен износом определенного конструктивного элемента в зависимости от основных параметров режима резания.

4. Разработаны зависимости для расчета критерия оптимального износа, обеспечивающие безотказную работу сверл, разверток и метчиков с заданной вероятностью.

5. Установлено, что износ ленточек определяет функциональный отказ сверл в области скоростей резания менее 0,3 м/с, а износ задних поверхностей – в области скоростей резания более 0,3 м/с.

6. Установлено, что износ задних поверхностей режущих лезвий разверток определяет разбивку отверстий и параметрические отказы по точности, а износ калибрующих ленточек определяет шероховатость обработанных отверстий и параметрические отказы разверток по шероховатости.

7. Установлено, что для метчиков характерным является совместное действие постепенного износа режущих и калибрующих профилей и внезапных отказов, обусловленных прочностью режущих элементов и инструмента в целом. Предложена зависимость для оценки возникновения внезапных отказов метчиков.

8. Зависимость крутящего момента резания при сверлении и нарезании резьбы метчиками по мере нарастания износа инструментов изменяет характер. При определенных значениях $M_{доп.}$ на монотонной зависимости $M_{рез.} = f(h_i)$ появляются "всплески" крутящего момента из-за адгезионного схватывания изношенных поверхностей инструмента с обрабатываемым материалом, которые превышают прочность режущих элементов и инструмента в целом. Установлены зависимости допустимого крутящего момента от основных параметров процесса резания.

9. Суммарный ресурс разверток и метчиков определяется медленно протекающим, по сравнению с износом режущих элементов, износом формообразующего размера и определяет допустимое количество переточек разверток и метчиков. Предложена модель формирования отказов указанных инструментов и зависимость для расчета вероятности их безотказной работы.

10. Проведенный анализ основных технико-экономических показателей обработки и показателей надежности подтвердил преимущества критерия оптимального износа по сравнению с критерием равного износа. Разработаны методики и пакет программ для расчета нормативов режимов резания и технико-экономических показателей обработки при эксплуатации осевых инструментов до критерия оптимального износа.

II. Экономический эффект от внедрения результатов работы составил 40620 рублей.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ
ОТРАЖЕНО В СЛЕДУЮЩИХ РАБОТАХ:

1. Древаль А.Е., Ткаченко И.В. Критерии износа осевого режущего инструмента из быстрорежущей стали //Информационный сборник МАШМИР.-1991.-Вып.12.-С.1-7.

2. Модель отказов машинно-ручных метчиков /А.Е.Древаль, А.В.Литвинено, И.В.Ткаченко //Вестник МГТУ.1992.-Вып.3.- С.25-33.

3. Древаль А.Е., Ткаченко И.В., Рагрин Н.А. Модели отказов спиральных сверл //Проблемы эксплуатации инструмента в металлообрабатывающей промышленности.-М., 1992.-С.55-62.

4. Предельное состояние быстрорежущих машинно-ручных метчиков /А.Е.Древаль, А.В.Литвиненко, И.В.Ткаченко // Известия ВУЗов. Машиностроение.-1992.-№ 1-3.С.

5. Древаль А.Е., Ткаченко И.В. Техничко-экономические показатели обработки при использовании различных критериев износа //Информационный сборник МАШМИР.-1992.-Вып.1-С.6-11.