

Мальков Олег Вячеславович

УДК 621.99

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ КОМБИНИРОВАННОГО
РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ ОБРАБОТКИ ОТВЕРСТИЙ
СЛОЖНОГО ПРОФИЛЯ

Специальность 05.03.01.

Процессы механической и физико-технической обработки,
станки и инструмент

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Май

Москва, 1999

ИТБ

Работа выполнена в Московском государственном
техническом университете им. Н.Э.Баумана

Научный руководитель - кандидат технических наук, доцент
Литвиненко А.В.

Официальные оппоненты - доктор технических наук, профессор
Гречишников В.А.
кандидат технических наук, доцент
Мельников Г.Н.

Ведущая организация - ОАО "Серпуховский завод"Металлист"

Защита состоится "24" июня 1999 г. в _____ на за-
седании диссертационного совета К.053.15.15 в Московском госу-
дарственном техническом университете им. Н.Э.Баумана по адресу:
107005, Москва, Б-5, 2-ая Бауманская ул., д. 5.

_____ иться в библиотеке МГТУ им.

_____ 1999 г.

Васильев А.С.

1563373

_____ 1999 г. Заказ № 67

МГТУ им. Н.Э.Баумана.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Повышение производительности труда в машиностроении в большой степени зависит от совершенствования конструкций режущих инструментов. Среди многообразия конструкций в особую группу выделены комбинированные режущие инструменты. Комбинированный инструмент находит широкое применение в условиях серийного и массового производства, заменяя набор элементарных инструментов, что позволяет сократить основное технологическое и вспомогательное время, а также уменьшить количество станков, инструментов и приспособлений, занятых в производстве при обработке отверстий сложного профиля (ОСП). Обработка ОСП, содержащих резьбовой участок, является сложной технологической задачей. Комбинированные инструменты для обработки ОСП с резьбовым участком в современной практике встречаются редко и являются узкоспециализированными из-за технологических сложностей реализации процесса резания.

Современные станки с ЧПУ позволяют реализовать ряд кинематических схем изготовления с одной установки ОСП с резьбовым участком комбинированным инструментом, содержащим сверлильную, зенковочную и резьбофрезерную часть. Представляется возможным изготовление одним инструментом однотипных ОСП в определенном диапазоне размеров. Тем самым становится рациональным применение комбинированного инструмента для изготовления ОСП с резьбовым участком также в условиях индивидуального и мелкосерийного производства.

Работа, посвященная разработке и исследованию кинематических схем формообразования отверстий сложного профиля, содержащих резьбовой участок, а также комбинированного резьбообразующего инструмента, реализующего обработку по этим схемам, представляется актуальной, так как позволяет увеличить производительность и снизить себестоимость обработки таких отверстий.

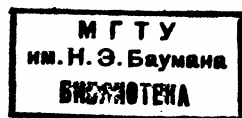
Работа выполнялась в соответствии с научным направлением кафедры МТ2 (МГТУ им. Н.Э.Баумана, и в разрезе научно-исследовательских проектов: ГБ 33-8 "Разработка нового высокопроизводительного метода формообразования внутренних резьб и его технологического обеспечения" (1996 г.); ГЦ4 "Исследование и разработка высоко-

НТБ МГТУ им. Н.Э.Баумана



1563373

Мальков О.В. Разработка и



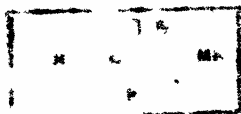
производительной конструкции режущего инструмента для обработки отверстий методом резбобфрезерования" (1997 г.).

Цели и задачи исследования. На основании анализа научно-технических литературных источников и патентного обзора, позволившего оценить состояние исследований в данном направлении, целью настоящего исследования является: повышение эффективности обработки отверстий сложного профиля, содержащих резьбовой участок, путем исследования кинематических схем их формообразования и разработки конструкции и программного обеспечения для автоматизированного расчета комбинированного резбобобразующего инструмента, реализующего обработку по этим схемам.

Для достижения указанной цели в работе были поставлены и решены следующие задачи:

- обосновать наиболее рациональные кинематические схемы формообразования отверстий сложного профиля комбинированным инструментом;
- разработать конструкции комбинированного инструмента для изготовления отверстий сложного профиля, содержащих резьбовой участок;
- установить области рациональной эксплуатации комбинированного инструмента;
- исследовать влияния конструктивных элементов и геометрических параметров инструмента на параметры получаемой резьбы;
- разработать программное обеспечение для автоматизированного расчета конструктивных и геометрических параметров комбинированного инструмента;
- произвести оценку работоспособности инструмента и установить взаимосвязи между конструктивными и геометрическими параметрами инструмента и условиями его эксплуатации;
- разработать рекомендации по промышленному применению комбинированного инструмента.

Методы исследования. Теоретические и экспериментальные исследования проводились на базе разработанных общей и частных методик проведения исследований с использованием современных представлений теории резания металлов, методов аналитической геометрии, математического анализа и математической статистики. При проведении экспериментальных исследований применялась современная изме-



рительная и регистрирующая аппаратура. При проведении теоретических исследований, а также для обработки и анализа экспериментальных данных использовался персональный компьютер.

Экспериментальные исследования проводились в лабораторных и производственных условиях. В лабораторных условиях проводились исследования влияния геометрических и конструктивных параметров сверло-резьбофрез на параметры полученных ОСП с резьбовым участком и возникаемую в процессе обработки силу резания. В производственных условиях проводились испытания сверло-резьбофрез на работоспособность при обработке ОСП с резьбой в диапазоне диаметров 27...42 мм и шагом 2 мм в алюминиевом сплаве АМгб и резьбой М27×2 в стали 45 одним типоразмером сверло-резьбофрезы. Экспериментальные исследования проводились с целью проверки теоретических предпосылок и создания научно-обоснованных рекомендаций по промышленному применению сверло-резьбофрез.

Научная новизна:

- установлены аналитические взаимосвязи между размерами наружного диаметра резьбообразующей части инструмента, номинального диаметра и шага резьбы и величиной разбивки профиля нарезанной резьбы;

- разработано шестнадцать кинематических схем формообразования ОСП с резьбовым участком комбинированным инструментом; разработаны критерии оценки экономической и технологической эффективности этих схем;

- разработана схема расчета профиля зубьев резьбообразующей части сверло-резьбофрезы для заданных величины затылования зубьев и параметров винтовой стружечной канавки с большими значениями угла наклона и малыми значениями диаметра сердцевины инструмента;

- разработаны зависимости для определения нормальных переднего и заднего кинематических углов и кинематического угла наклона режущей кромки от параметров режима резания, инструмента и размеров резьбы.

Практическая ценность:

- разработана методика проектирования комбинированного режущего инструмента сверло-резьбофреза, которая позволяет определить конструктивные и геометрические параметры инструмента и их влияние на параметры формируемых ОСП с резьбовым участком; раз-

работано программное обеспечение для автоматизированного расчета сверло-резьбофрез;

- разработаны и практически подтверждены рекомендации по выбору кинематических схем обработки, назначению параметров режима резания и условий обработки ОСП комбинированным инструментом, назначению схем переточки и других условий эксплуатации сверло-резьбофрез;

- разработана методика технико-экономической оценки эффективности применения комбинированных инструментов для обработки ОСП, содержащих резьбовой участок, по сравнению с их традиционной обработкой сверлом, зенковкой и метчиком.

Результаты исследований прошли промышленную апробацию на РКЗ ГКНПЦ им. Хруничева и ОАО "Серпуховский завод "Металлист".

Апробация работы и публикации. Основные результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на Всероссийской научно-технической конференции "Актуальные проблемы машиностроения на современном этапе" - г. Владимир, 1995 г.; на семинаре Московского химического общества им. Д.И.Менделеева "Оборудование, приборы и инструмент для размерной обработки материалов" - г. Москва, 1998 г. Работа обсуждалась на научных семинарах кафедры "Процессы и инструментальные системы механической и физико-химической обработки материалов" МГТУ им. Н.Э.Баумана. По результатам исследований опубликовано 5 работ.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, шести глав, общих выводов, списка использованных источников из 107 наименований и 4 приложений. Работа изложена на 231 странице и содержит 153 страницы машинописного текста, 102 рисунка и 26 таблиц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы и дана общая характеристика работы.

В первой главе рассмотрено состояние проблемы, проведен анализ литературных данных по теме диссертации на основе отечественной и зарубежной литературы, а также патентного обзора.

Анализ металлорежущих инструментов, применяемых в машиностроительном производстве показал, что повышение уровня автомати-

зации процесса обработки достигается наряду с другими мероприятиями применением ряда новых, в том числе специальных конструкций инструментов, которые отвечают требованиям высокой эффективности использования высокопроизводительного оборудования. К их числу принадлежат комбинированные инструменты для обработки ОСП, содержащих резьбовой участок.

Конструкции применяемых в настоящее время комбинированных инструментов для обработки таких отверстий в основном базируются на сочетании сверла, зенкера, развертки или метчика в качестве первой ступени и метчика в качестве второй ступени. При этом, только инструменты снабженные сверлом могут работать в сплошном материале. Несмотря на преимущества применения комбинированных инструментов (повышение производительности и точности обработки, высвобождение рабочих позиций, экономия инструментального материала, уменьшение количества вспомогательного инструмента и т.д.) комбинированные инструменты для обработки ОСП, содержащих резьбовой участок не получили широкого распространения в промышленности и имеют ограниченное применение.

Проведенный патентный обзор показал, что существует новый класс комбинированных инструментов для обработки ОСП с резьбовым участком, метод работы которых базируется, в основном, на процессах сверления и резьбофрезерования и, которые обладают большим преимуществом и возможностью к применению, чем комбинированные инструменты, применяемые до настоящего времени. В патентах представлены также схемы работы этих инструментов. Однако, представленные патенты ограничены лишь укрупненным описанием инструмента и схемы его работы, что не позволяет спроектировать этот инструмент и подготовить его промышленное применение. Кроме этого, нет никаких сведений по эксплуатации представленных комбинированных инструментов, а также множество представленных схем обработки не позволяют обоснованно выбрать наиболее рациональные.

Показано также, что:

- анализ особенностей геометрических и конструктивных параметров базовых инструментов, лежащих в основе конструкции выявленных комбинированных инструментов, показал их существенное различие, что требует дополнительных теоретических исследований по проектированию комбинированного инструмента.

- особенности работы комбинированного инструмента, представленные в патентах в виде схем работы не позволяют при проектировании инструмента воспользоваться приведенными в литературных источниках расчетными схемами по исследованию точности резбозврезания и профилированию резьбообразующей части инструмента, производящей самый ответственный элемент ОСП.

Во второй главе представлена методика проектирования комбинированного режущего инструмента сверло-резбозвреза, которая позволяет определить основные конструктивные и геометрические параметры инструмента и их влияние на параметры формируемых ОСП. Сверло-резбозвреза (рис. 1) предназначена для изготовления отверстий, содержащих цилиндрические, конические и резьбовые участки, как в сплошном материале, так и в готовом отверстии и представляет собой последовательное сочетание сверлильной (1), расточной (2), резьбообразующей (3), зенковочной (4) и хвостовой (5) частей. Выполнен расчет основных геометрических и конструктивных параметров частей инструмента.

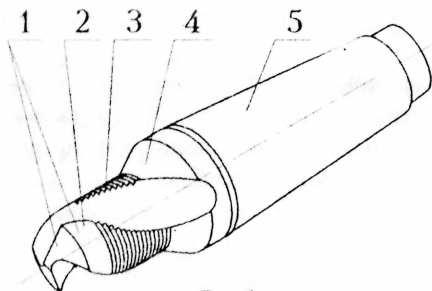


Рис.1

Сверлильная часть сверло-резбозврезы предназначена для образования гладкого отверстия в заготовке перед формированием в этом отверстии резьбы. При работе этой частью комбинированного инструмента снимается основной объем припуска, что определяет необходимость проектирования сверло-резбозврезы на элементах спирального сверла из условия обеспечения удовлетворительного стружкоотвода.

Расточная часть сверло-резбозврезы предназначена для обеспечения процесса резания во время фрезерования резьбы и для увеличения диаметра просверленного отверстия при необходимости формирования ОСП большего типоразмера.

Резьбообразующая часть инструмента предназначена для формирования резьбового профиля, который является наиболее сложным участком ОСП. Резьбообразующая часть работает по принципу резьбовой гребенчатой фрезы, однако совместная эксплуатация с другими частями комбинированного инструмента определяет ее отличия от ба-

зового инструмента - наличие двух зубьев и винтовой стружечной канавки.

При заданных параметрах резьбы определяющей задачей является нахождение максимального наружного диаметра $d_{рф}$ зубьев резьбообразующей части сверло-резьбофрезы, при котором профиль полученной резьбы удовлетворял бы требованиям ГОСТ 16093-81.

С помощью разработанной математической модели формирования впадины резьбы описана траектория движения вершины зуба инструмента (рис. 2) в некотором произвольном осевом сечении:

$$\begin{cases} y_{vi} = D/2 - \left(e \cos \eta_i + \sqrt{(d_{рф}/2)^2 - e^2 \sin^2 \eta_i} \right) \\ z_{vi} = P \eta_i / (2\pi) \end{cases} \quad (1)$$

где P - шаг резьбы, мм; D - наружный диаметр резьбы, мм, $e = (D - d_{рф})/2$ - глубина врезания резьбообразующей части инструмента при фрезеровании резьбы, мм; η_i - параметр модели формирования впадины резьбы. Поскольку точки a и b максимально подняты над теоретическим профилем резьбы (рис. 2), то в этих точках прямолинейный участок резьбового профиля переходит в скругленную вершину. Величина Δr_{max} (рис. 3), на которую поднят профиль нарезанной резьбы относительно теоретического профиля, т.е. разбивка, может быть определена при исследовании зависимости $\Delta r = f(\eta)$:

$$\Delta r = e \cos \eta + \sqrt{(d_{рф}/2)^2 - e^2 \sin^2 \eta} - D/2 + P \eta / (2\pi \operatorname{tg}(\beta/2)), \quad (2)$$

где β - угол профиля резьбы.

Установлено, что соответствие профиля нарезанной резьбы тре-

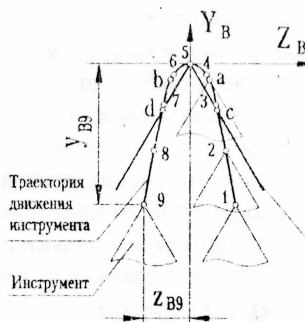


Рис. 2

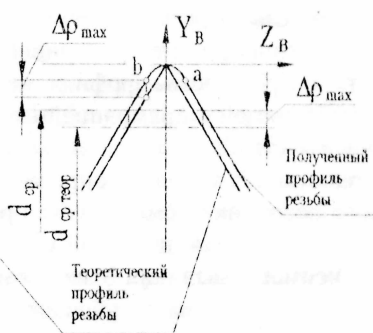


Рис. 3

бованиям принятой степени точности кроме наружного диаметра $d_{рф}$ зависит также от величины a притупления вершины зуба резбообразующей части сверло-резбофрезы и погрешности изготовления инструмента. При исследовании совокупного влияния диаметра $d_{рф}$ и величины a притупления зуба на точность профиля нарезанной резьбы при заданной погрешности изготовления установлено неравенство:

$$T_{D2}/2 \geq \Delta\rho_{\max} + \Delta h + \Delta F/2, \quad (3)$$

где T_{D2} - допуск на средний диаметр резьбы, мм; Δh - погрешность, вызванная различными значениями ширины впадины номинального профиля резьбы и вершины зуба резбообразующей части, мм; ΔF - суммарная погрешность шага и угла профиля, отражающая погрешность изготовления инструмента, мм.

На основании (2) и (3) построена номограмма, которая при заданных значениях T_{D2} и ΔF позволяет определить соотношение диаметра $d_{рф}$ и величины притупления зуба a , при котором профиль полученной резьбы удовлетворяет требованиям принятой степени точности.

Наличие винтовой стружечной канавки и затылования определяет задачу профилирования зубьев резбообразующей части сверло-резбофрезы. В результате решения поставленной задачи установлена необходимость корректировки углов профиля зубьев β_1 и β_2 , неравных между собой. Исследованы зависимости углов β_1 и β_2 от конструктивных и геометрических параметров сверло-резбофрезы. Установлено, что значения углов β_1 и β_2 вдоль режущей кромки являются переменными. Это означает, что для формирования прямолинейного профиля резьбы необходим зуб с криволинейным осевым профилем. Но, поскольку выполнение операции затылования зуба резбообразующей части сверло-резбофрезы инструментом с прямолинейным профилем более технологично, чем с криволинейным, поставлена и решена задача расчета погрешности профиля нарезаемой резьбы, выполненной сверло-резбофрезой с прямолинейным осевым профилем зуба резбообразующей части.

Разработанная методика определения геометрических параметров $\alpha_n, \gamma_n, \lambda$ на режущих кромках зубьев резбообразующей части сверло-резбофрезы в инструментальной системе координат позволяет исследовать зависимости величин этих геометрических параметров от угла наклона стружечной канавки ω , диаметра $d_{рф}$ и заднего угла α с целью обеспечения прочности зубьев и удовлетворительных условий струж-

кообразования и стружкоотвода.

Описание траектории движения вершины зуба при заданном режиме резьбофрезерования позволяет решить задачи определения возникающей при обработке огранки, угла контакта инструмента и заготовки и поверхности резания, которая в свою очередь необходима для определения кинематических углов на режущих кромках зубьев. Исследования показали, что величины кинематических углов $\alpha_{нк}, \gamma_{нк}, \lambda_k$ незначительно отличаются от инструментальных $\alpha_n, \gamma_n, \lambda$.

Зенковочная часть предназначена для обработки конической, цилиндрической или комбинированной фаски на торце ОСП. Формирование фаски осуществляется одновременно со сверлением в конце цикла обработки отверстия. При резьбофрезеровании фаска видоизменяется, но при использовании определенных кинематических схем обработки фаска сохраняет свои функциональные свойства.

В третьей главе проведено исследование кинематических возможностей образования ОСП с резьбовым участком сверло-резьбофрезой. На основе анализа принципиальных кинематических схем резания, классификация которых разработана Г.И. Грановским, описаны варианты кинематических схем обработки ОСП на всех этапах обработки - сверлении отверстия, врезании инструмента и резьбофрезеровании. Разработана блок-схема этапов работы сверло-резьбофрезы, на основании которой сформировано 16 технологических последовательностей формирования ОСП с правой и левой резьбой комбинированным инструментом. Все разработанные последовательности могут быть дополнены кинематической схемой растачивания предварительно просверленного отверстия при необходимости изготовления резьбового отверстия большего типоразмера. Определено сочетание направлений движений инструмента и заготовки при резьбофрезеровании, при которых возможно получение правой или левой резьбы в ОСП.

Выбор рациональной схемы обработки ОСП с правой или левой резьбой производился на основе анализа времени обработки и возникающей силы резания. Анализ показал, что нельзя выбрать однозначно лучшую схему обработки, поэтому следует выбирать лимитирующий параметр - стойкость инструмента или производительность - в каждом конкретном случае обработки. На рисунке 4 представлена наиболее рациональная схема обработки ОСП с правой резьбой.

Рекомендуемые схемы включают следующие этапы: 1,2 - сверле-

ние отверстия с одновременным формированием фаски на торце; 3 - подъем инструмента, 4 - радиальное врезание на глубину профиля резьбы; 5 - обработка резьбы методом встречного фрезерования с движением инструмента вниз (правая резьба) или с движением инструмента вверх (левая резьба); 6 - отвод инструмента на ось отверстия; 7 - вывод инструмента.

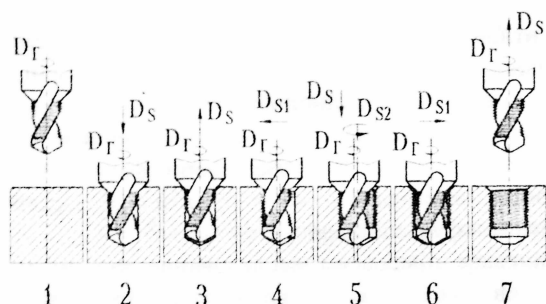


Рис. 4

В четвертой главе изложены общая методика проведения исследований, основные методы и средства проведения экспериментальных исследований, обработки и анализа экспериментальных данных.

Эксперименты проводились при обработке алюминиевого сплава Д16 с применением в качестве СОТС керосина (лабораторные исследования); алюминиевого сплава АМг6 с применением в качестве СОТС 5% эмульсии "Укринол-1" и стали 45 с применением в качестве СОТС сульфозрезола (промышленные испытания). При проведении экспериментальных исследований использовались сверло-резьбофрезы, предназначенные для формообразования ОСП с резьбой М27×2.

Основная часть экспериментальных исследований проводилась на вертикально-сверлильном станке мод. 2Н135 и вертикально-фрезерном станке мод. 6Р11 в лаборатории кафедры "Инструментальная техника и технология" МГТУ им. Н.Э.Баумана. Для измерения силы резания применялась тензометрическая станция в составе: универсальный динамометр УДМ 600; усилитель тензометрический 4-х канальный УТ4-1; персональный IBM-совместимый компьютер с платой АЦП. Станция обеспечивала выполнение непрерывных измерений усилий резания по нескольким каналам с отображением на мониторе, а также сохранение их на внешних носителях и вывод на стандартные печатающие уст-

ройства. Программное обеспечение позволяло проводить обработку полученных данных.

В производственных условиях обработка ОСП с резьбовым участком производилась на обрабатывающем центре мод. IP8001IMF4 и универсально-фрезерном станке с ЧПУ мод. MHI1000, которые обеспечивали одновременное перемещение по 3-м координатам при фрезеровании резьбы.

Для оценки профиля нарезанной резьбы в осевом сечении заготовки с ОСП разрезались на электроэрозионном вырезном станке AGIECUT 200.

Были разработаны методики для определения разбивки и формы просверленных отверстий при проведении сравнительных испытаний, а также методики для сравнения теоретических и экспериментальных результатов при определении разбивки профилей нарезанных резьб.

Шероховатость резьбы измерялась на боковых сторонах профиля на приборе фирмы TAYLOR-HOBSON мод. TALYSURF-5M

Обработка экспериментальных данных осуществлялась при помощи методов математической статистики.

В пятой главе представлены результаты исследования опытных образцов сверло-резьбофрез на работоспособность.

Эксперимент по сравнению осевой силы P_o и крутящего момента $M_{кр}$ при сверлении отверстий под резьбу в алюминиевом сплаве Д16 в сплошном материале стандартным сверлом и сверло-резьбофрезой позволил дать комплексную оценку процесса сверления двумя сравниваемыми инструментами. С целью определения степени влияния различной формы вспомогательной задней поверхности проведено сравнение по значениям осевой силы P_o и крутящего момента $M_{кр}$ сверлильной части сверло-резьбофрезы (затылованная поверхность) и спирального сверла (ленточка) при рассверливании предварительно выполненного отверстия.

Анализ полученных результатов позволяет сделать выводы о том, что незначительные различия в осевой силе P_o (11,6%) и крутящем моменте $M_{кр}$ (0,5%) при сверлении отверстия сравниваемыми инструментами свидетельствуют о схожести условий работы и стойкости сверлильной части можно считать равной стойкости спирального сверла при принятом критерии затупления; показано незначительное преимущество затылованной вспомогательной задней поверхности, кото-

рое связано с наличием положительного заднего угла.

Анализ разбивки и формы просверленных отверстий, показал, что величина разбивки отверстия, полученная в результате обработки сверлильной частью сверло-резьбофрезы ($\bar{P}=0,210$ мм) несколько меньше величины разбивки отверстия, обработанного спиральным сверлом ($\bar{P}=0,246$ мм), что может объясняться значительной разницей в длине рабочих частей инструментов; исследование диаметров отверстий, просверленных сравниваемыми инструментами показало отсутствие отклонений отверстий от цилиндричности и круглости.

Поскольку в лабораторных условиях не было возможности провести эксперименты по определению силы резания при резьбофрезеровании сверло-резьбофрезой ввиду отсутствия оборудования, обеспечивающего перемещение инструмента по заданной траектории, было решено заменить процесс резьбофрезерования на процесс фрезерования кольцевых пазов треугольного профиля при глубине врезания e в горизонтальной плоскости. Чтобы выявить вклад каждой части в результирующую силу резания при фрезеровании были проведены эксперименты по определению составляющих силы резания на каждой части сверло-резьбофрезы, а также зависимости составляющих силы резания от длины каждой части.

Анализ полученных данных позволил сделать выводы о том, что составляющие силы резания при фрезеровании кольцевых пазов в предварительно просверленном отверстии не равны между собой, что присуще процессу фрезерования; с увеличением минутной подачи в диапазоне 112...270 м/мин во всех случаях происходил рост значений составляющих силы резания при фрезеровании; увеличение длин частей сверло-резьбофрезы приводило к росту составляющих силы резания, что указывает на необходимость стремления к минимизации прежде всего расточной части сверло-резьбофрезы; участие в работе сверлильной части при радиальном врезании или резьбофрезеровании увеличивало суммарную силу резания на величину до 35%.

При исследовании параметров профилей полученных резьб рассматривались ОСП с резьбой М27×2, М30×2, М33×2 и М42×2, сформированные в сплаве АМгб сверло-резьбофрезами с диаметром резьбообразующей части $d_{рф} = 24,2$ мм с острой и притупленной вершинами профиля зубьев резьбообразующей части нового инструмента ($\bar{a}_{остр} = 0,17$ мм, $\bar{a}_{прит} = 0,36$ мм), а также ОСП с резьбой М27×2 в стали 45 и

М27×2ЛН в сплаве АМгб, выполненные сверло-резьбофрезой с диаметром резбообразующей части $d_{рф} = 24,2$ мм с острой вершиной профиля зубьев резбообразующей части ($\bar{a}_{остр} = 0,17$ мм). Отверстия сложного профиля с резьбой М27×2, М30×2, М33×2 и М42×2 были обработаны без предварительной расточки просверленного отверстия. Анализ параметров профиля резьб производился по следующим элементам: форма впадины, разбивка, погрешность шага и половин угла профиля, шероховатость боковых сторон.

Сравнительный анализа впадин профилей нарезанных резьб показал, что увеличение диаметра нарезанной резьбы приводит к изменению траектории движения зубьев резбообразующей части инструмента; изготовление резьбы сверло-резьбофрезами с различным сочетанием диаметра резбообразующей части $d_{рф}$ и ширины а вершины зуба подтвердили результаты анализа точности профилей резьб; сравнительный анализ профилей резьб, нарезанных в сплаве АМгб и стали 45, показал, что профили не отличаются формой впадины; сравнительный анализ профилей резьб, образованных резбообразующей частью сверло-резьбофрезы и машинно-ручным метчиком показал, что профили лишь незначительно отличаются формой впадины.

Анализ разбивки Δr_{max} профилей нарезанных резьб показал, что с увеличением диаметра нарезаемой резьбы одним типоразмером инструмента ширина профиля на базовом расстоянии от вершины резьбы уменьшается; фактические разности величин разбивки, рассчитанные посредством измерения ширины впадин нарезанной резьбы близки к рассчитанным по теоретической зависимости, что позволяет сделать вывод о ее справедливости; сравнение фактической и расчетной разностей разбивки профилей нарезанных резьб позволяют утверждать, что значения разбивки профилей резьб в диапазоне нарезаемых резьб не зависят от ширины вершины зубьев резбообразующей части, направления винтовой линии резьбы и марки обрабатываемого материала.

Анализ контроля шага и половин угла профиля нарезанных резьб показал справедливость расчетной схемы, принятой для профилирования зубьев резбообразующей части инструмента.

Измерения показали, что шероховатость боковых сторон профиля резьб, изготовленных в алюминиевом сплаве АМгб лежит в пределах $0,32...0,75$ мкм и нет значительных различий шероховатости на разных сторонах профиля как в пределах одной, так и в пределах всех наре-

занных резб. Шероховатость боковых сторон профиля резбы М27х2, изготовленной в стали 45 лежит в пределах 0,79...0,98 мкм.

В результате промышленных испытаний сверло-резьбофрезы показали свою работоспособность при обработке ОСП, содержащих резьбовой участок. На практике подтвердилась работоспособность рекомендуемых схем обработки, предназначенных для изготовления ОСП с правым и левым направлением резбы. На основе теоретических и экспериментальных исследований разработаны рекомендации по промышленному применению сверло-резьбофрез.

В шестой главе определена экономически эффективная область эксплуатации сверло-резьбофрезы на основе оценки ожидаемого экономического эффекта. В расчетах принималось, что создание сверло-резьбофрезы направлено на замену последовательности сверло-зенковка-метчик при нарезании ОСП с резьбовым участком на станках с ЧПУ, обеспечивающих обработку одновременно по трем координатам.

Анализ расчетных данных по ожидаемому экономическому эффекту показал, что основное время обработки оказывает существенное влияние, что объясняет снижение экономического эффекта при увеличении диаметра обрабатываемой резбы; сверло-резьбофреза особенно эффективна при обработке алюминиевого сплава; большая часть эффекта достигается за счет разницы во вспомогательном времени, что объясняет уменьшение экономического эффекта при обработке нескольких отверстий одного типоразмера и его увеличение при добавлении других типоразмеров или использовании дополнительного метчика для обработки ОСП с большими шагами резб.

В результате экономически обоснованная область применения сверло-резьбофрез выглядит следующим образом: обработка ОСП с резбой М12...М42 в деталях из алюминиевых сплавов в серийном производстве на станках с ЧПУ, обеспечивающих обработку одновременно по трем координатам, при замене традиционной схемы обработки.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Предложено решение актуальной задачи - повышение эффективности обработки отверстий сложного профиля, содержащих резьбовой участок, за счет применения комбинированного режущего инструмента, реализующего несколько кинематических схем резания. Разра-

ботано программное обеспечение для автоматизированного расчета сверло-резьбофрез для обработки отверстий сложного профиля различных форм и размеров.

2. Разработано шестнадцать схем обработки наиболее применяемых в машиностроении отверстий сложного профиля с конической фаской на торце. Предложена система зависимостей для обоснования рациональной схемы обработки, обеспечивающей минимальные время обработки и величину радиальной составляющей силы резания.

3. Аналитически показано, что ширина профиля нарезаемой резьбы в отверстиях сложного профиля монотонно нелинейно возрастает с увеличением наружного диаметра резьбы и наружного диаметра резьбообразующей части инструмента, и монотонно линейно возрастает с увеличением ширины вершины зубьев резьбообразующей части и шага резьбы.

4. Разработана методика построения номограмм для определения размеров наружного диаметра и ширины вершины зубьев резьбообразующей части сверло-резьбофрезы, которые позволяют изготовить отверстия сложного профиля с резьбой, удовлетворяющей требованиям принятой степени точности, при заданных параметрах резьбы. Экспериментально подтверждены расчетно-теоретические предпосылки.

5. Совместная эксплуатация одноименных конструктивных элементов инструмента для реализации различных кинематических схем резания предопределяет необходимость применения винтовых передних поверхностей. Применение винтовых передних поверхностей и затылования зубьев резьбообразующей части обуславливает несимметричность резьбового профиля инструмента. Установлены зависимости углов профиля от диаметра резьбообразующей части, параметров стружечной канавки и затылования.

6. Аналитическими исследованиями показано, что на протяжении угла контакта заготовки и резьбообразующего участка комбинированного инструмента с шагами 0,5...3 мм при подаче на зуб до 0,1 мм изменение кинематических нормального переднего и заднего углов и угла наклона режущей кромки относительно одноименных углов в инструментальной системе координат не более, чем на 0,12 градуса, что позволяет осуществлять входной контроль геометрических параметров инструмента только по величинам инструментальных углов.

7. С использованием результатов теоретических и эксперимен-

тальных исследований разработана и изготовлена опытная партия инструментов. Проведены производственные испытания, которые подтвердили правильность расчетов, работоспособность выбранных кинематических схем обработки отверстий сложного профиля с правой и левой резьбой, а также возможность получения таких отверстий в алюминиевом сплаве АМгб с резьбой в диапазоне размеров М27×2...М42×2. Экспериментально подтверждена работоспособность комбинированного инструмента при обработке отверстий сложного профиля с резьбой М27×2 в стали 45.

8. Разработана методика для обоснования экономической эффективности применения технологии обработки отверстий сложного профиля комбинированным инструментом по сравнению с их традиционной обработкой сверлом, зенковкой и метчиком.

Основное содержание диссертационной работы нашло свое отражение в работах:

1. Литвиненко А.В., Мальков О.В. Метод резьбофрезерования и сверления для сокращения основного времени // Актуальные проблемы машиностроения на современном этапе: Тезисы докладов Всероссийской научно-технической конференции.- Владимир, 1995.- С. 35-36.

2. Разработка нового высокопроизводительного метода формообразования внутренних резьб и его технологического обеспечения: Отчет о НИР (заключ.) / МГТУ. НИИ КМиТП; Руководитель А.В.Литвиненко; Исполнитель О.В.Мальков.- ГР №01970003303; Инв. №02970002341.- М., 1996.- 44 с.

3. Литвиненко А.В., Мальков О.В. Общий случай профилирования зубьев резьбовой части сверлорезьбофрезы // Вестник МГТУ. Машиностроение.- 1997.- №2.- С. 77-84.

4. Литвиненко А.В., Мальков О.В. Выбор наружного диаметра резьбовой части сверлорезьбофрезы // Вестник МГТУ. Машиностроение.- 1997.- №3.- С. 78-84.

5. Исследование и разработка высокопроизводительной конструкции режущего инструмента для обработки отверстий методом резьбофрезерования: Отчет о НИР (заключ.) / МГТУ. НИИ КМиТП; Руководитель А.Е.Древал; Исполн.: А.В.Литвиненко, О.В.Мальков.- ГР №01980002101, Инв. №02980001610.- М., 1997.- 97 с.