



Министерство высшего и среднего специального
образования СССР

Челябинский политехнический институт
имени Ленинского комсомола

На правах рукописи

МИРНОВ
Иван Яковлевич

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ОДНОПРОХОДНОГО НАРЕЗАНИЯ
РЕЗЬБ БОЛЬШОГО ДИАМЕТРА И РАЗРАБОТКА МЕТЧИКОВ
СПЕЦИАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ

Специальность 05.02.08 -
"Технология машиностроения"

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

Челябинск
1974

Работа выполнена на кафедре "Технология машиностроения"
Челябинского политехнического института им. Ленинского комсомола.

Научные руководители:

доктор технических наук, профессор В.В. Матвеев;
кандидат технических наук, доцент М.Х. Гольдфельд.

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, профессор Д.К. Маргулис;
кандидат технических наук, доцент А.А. Суворов.

Ведущее предприятие - Челябинский станкостроительный
завод имени С.Орджоникидзе.

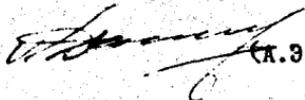
Прошу Вас и сотрудников Вашего учреждения, интересующихся
темой диссертации, принять участие в заседании Ученого Совета
машиностроительных факультетов Челябинского политехнического
института имени Ленинского комсомола или прислать свои отзывы
в 2-х экземплярах, заверенных печатью учреждения.

Автореферат разослан " ____ " _____ 1974г.

Защита диссертации состоится 19 декабря 1974г.,
в 15 час., в ауд. 244.

Адрес института: 454044, г. Челябинск, 44, проспект имени
В.И. Ленина, 76, Политехнический институт,
телефон 39-39-64.

Ученый секретарь Совета,
доцент, канд. техн. наук


(А.З. ДАНМЕР)

Успешное решение задач, поставленных XXIV съездом КПСС в области дальнейшего экономического развития нашей страны неразрывно связано с повышением качества и надежности выпускаемой продукции. Качество продукции машиностроения существенным образом зависит от уровня технологии производства, совершенства применяемых при этом оборудования, приспособлений и инструмента.

Известно, что наиболее распространенным инструментом, применяемым при получении резьбовых поверхностей в отверстиях, являются метчики. Перспективы развития инструментальной промышленности предусматривают, что в 1975 году выпуск резьбообразующего инструмента в стране только за счет специализированных заводов возрастет по сравнению с 1970 годом в 1,8 раза. При этом наибольший удельный вес в выпуске резьбообразующего инструмента занимают метчики - 60%. Это свидетельствует о том, что обработка внутренних резьб с помощью метчиков в машиностроении найдет еще более широкое применение.

Актуальность работы. Несмотря на кажущуюся простоту процесса резьбообработки с помощью метчиков, получить ожидаемый эффект не всегда удастся. С таким положением чаще всего можно встретиться при машинной обработке точных резьб за один проход. Зачастую в практике можно видеть, что после весьма высокопроизводительного станка выполняется "ручная" калибровка резьбы, так как без этого не удастся обеспечить заданную точность. Значительные трудности испытывает производство в настоящее время при нарезании отверстий большого диаметра ($d > 30$ мм) класса точности A_0 по ГОСТу 4608-65 и отверстий 4-ой и 5-ой степеней точности по ГОСТу 16093-70 (1-го и 2-го кл. точности по ГОСТу 9253-59). Обработка таких резьбовых отверстий осуществляется, как правило, в несколько проходов комплектом из 3-4 метчиков. При этом последний метчик в комплекте, осуществляющий окончательное формирование профиля и размеров нарезаемой резьбы, зачастую проходит специальную подгонку (переточку, заваливание режущих кромок, химическое травление и т.п.) в зависимости от конкретных технологических условий на данной операции. Очевидно, что такой способ в подавляющем большинстве случаев не приемлем для использования в массовом и крупно-серийном производстве, где требуется однопроходное машинное получение точных резьб в отверстиях. Комплектный инструмент не может быть использован для работы на агрегатных станках, станках-автоматах и автоматических линиях.

В последние годы в конструкциях машин появилось значительное количество деталей с резьбовыми отверстиями, относящимися к группе S по ГОСТу I6093-70 и имеющими малую (3...5 ниток) длину свинчивания. Такая резьба, как правило, выполняется в деталях типа колец, гаек больших диаметров, в тонкостенных корпусных и других деталях. ГОСТ I6093-70, вступивший в действие с I января 1974 года, предусматривает выполнение в таких деталях только точной (не ниже 5-ой степени) резьбы. В то же время известно, что обработка коротких (группа S) точных резьбовых отверстий больших диаметров на производстве связана со значительными трудностями.

Следует указать, что все ранее известные мероприятия не обеспечивают качественного решения задачи нарезания точных резьб большого диаметра на станках за один проход.

Таким образом, исследование технологии однопроходного машинного нарезания резьбовых отверстий больших диаметров и разработка новых конструкций метчиков, обеспечивающих заданную точность и высокую производительность процесса обработки, относятся к актуальным задачам машиностроения.

Цель работы. На основании теоретических и экспериментальных исследований процесса машинного нарезания резьбовых отверстий метчиками диаметром более 30 мм разработать конструкцию инструмента, обеспечивающего в условиях массового производства нарезание точных резьбовых отверстий (включая резьбы 4-ой степени точности и тугие в коротких отверстиях) за один проход; создать высокоэффективные промышленные методы изготовления этого инструмента и выработать рекомендации его эксплуатации.

Основные задачи исследования. Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие задачи:

1. Исследовать особенности однопроходного нарезания резьб большого диаметра метчиками по сравнению с обработкой резьбовых отверстий обычных размеров.

2. Определить пути обеспечения высокой точности при однопроходном машинном нарезании резьб большого диаметра; разработать конструкции инструментов, обеспечивающих нарезание резьбовых отверстий с высокой точностью; вскрыть взаимосвязь геометрических параметров нового инструмента и разработать методику их расчета.

3. Исследовать экспериментально работоспособность нового инструмента с целью подтверждения теоретических положений работы и определения его эксплуатационных характеристик.

4. Разработать и внедрить в производство промышленный метод изготовления нового инструмента; создать высокоэффективную технологическую оснастку.

Решение этих основных задач является главным содержанием работы.

Общая методика выполнения работы. Проведенные в работе исследования для решения поставленных задач выполнялись аналитически и экспериментально. Аналитическим способом выполнен анализ влияния различных технологических факторов на размер резьбы большого диаметра при обработке ее метчиком, определены пути повышения точности однопроходного машинного резбонарезания, произведена теоретическая разработка конструкций рабочей части метчиков и их геометрических параметров, разработан расчетный метод определения размера шлифовальных кругов для операции затылования заборной части.

С помощью экспериментальных исследований проверено влияние величин отдельных геометрических параметров новых метчиков и технологических факторов на точность нарезаемой резьбы в отверстиях больших диаметров. Методика этих исследований основывалась на использовании современных приборов и средств измерения. Эксперименты проводились на обычном и специально модернизированном оборудовании с использованием спроектированной автором и изготовленной при его участии оснастки.

Научная новизна работы состоит в установлении особенности однопроходного нарезания резьб большого диаметра с помощью метчиков и отыскания главного фактора, влияющего на точность обработки; определении направления разработки инструмента (метчиков) для однопроходного нарезания точных резьбовых отверстий большого диаметра на станках; вскрытии взаимосвязи геометрических параметров инструмента для нарезания точных резьб и аналитическом установлении его точностных возможностей; разработке расчетной методики определения параметров инструмента в зависимости от конкретных технологических условий обработки; создании расчетной методики определения размеров шлифовальных кругов при затыловании заборной части метчиков больших диаметров, обеспечивающей высокую производительность и качество их изготовления.

Практическая ценность и реализация результатов работы. На основании настоящих исследований созданы и внедрены в производство

новые конструкции метчиков для высокоточного нарезания резьб в отверстиях больших диаметров на ряде машиностроительных заводов: на Челябинском тракторном им. В. И. Ленина и станкостроительном им. С. Орджоникидзе заводах, на Каменск-Уральском литейном заводе, на Уральском автозаводе (г. Миасс), на Курганском заводе колесных тягачей и др. предприятиях. На этих же заводах внедрены в производство созданные в результате данной работы модернизированное оборудование и оснастка для высокопроизводительного изготовления инструмента.

Апробация работы. Основные материалы диссертации докладывались:

1. На межотраслевой конференции "Исследование методов нарезания резьб и разработка прогрессивных конструкций резьбообразующих инструментов", Тула, 1972.
2. На XXIII научно-технической конференции Челябинского политехнического института, Челябинск, апрель, 1970.
3. На научно-технической конференции "Прогрессивные методы и инструменты для обработки резанием и пластическим деформированием", Челябинск, май, 1971.
4. На ежегодных научно-технических конференциях ЧПИ, Челябинск, 1968-74.

По теме диссертации опубликовано 24 печатных работы и получено 5 авторских свидетельств на изобретения.

Диссертация содержит 142 страницы текста, 5 таблиц, 71 рисунок и приложение, включающее 12 стр. текста (акты внедрения) и 4 сводных листа чертежей специальных метчиков, внедренных на различных предприятиях. Перечень литературы - 114 наименования.

СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА

Известные исследования отечественных и зарубежных авторов посвящены в основном изучению процесса обработки резьб диаметром до 30 мм. Исключение составляют работы А. Г. Исаева и А. П. Черного, в которых решены вопросы многопроходного нарезания крупных резьб в условиях тяжелого энергомашиностроения с помощью комплектов метчиков и резьбонарезных головок. Задача однопроходного получения точных резьб больших диаметров на станках ранее никем не рассматривалась.

Отсутствие надежных рекомендаций и конструкций инструмента для однопроходной обработки точных резьб большого диаметра привело

к тому, что предприятия при необходимости используют крайне непроизводительные способы их получения. Изучение операции резьбообработки на ряде предприятий серийного производства показало, что нарезание точных резьб диаметром более 30 мм производится в несколько проходов (от 2-х до 5-ти проходов). При этом чистовой метчик каждого комплекта проходит предварительную проверку и "доводку" на образцах.

В массовом и крупносерийном производстве получение таких резьб в большинстве случаев связано с подгонкой (корректировкой размеров) инструмента для каждой конкретной операции. С этой целью метчики изготавливают с измененными (заниженными) размерами по среднему диаметру резьбы по сравнению с ГОСТом. В отдельных случаях с целью уменьшения величины разбивания и рассеивания размеров нарезаемой резьбы у нового метчика затачивают режущие кромки. Это осуществляется способом "прогонки" инструмента по чугунному притиру с использованием доводочной пасты (например, на литейном заводе в г.Каменск-Уральский).

На некоторых предприятиях, например, на Челябинском тракторном и Уральском автомобильном (г.Миасс) заводах притупление режущих кромок нового метчика при необходимости осуществляется в совокупности с переточкой передней поверхности. На заводе колесных тягачей (г.Курган) используют "травление" метчиков в кислотах, что не только притупляет режущие кромки инструмента, но и уменьшает его размер по среднему диаметру.

Естественно, что все эти мероприятия могут расцениваться как вынужденные, несколько облегчающие задачу точного резьбонарезания в отверстиях большого диаметра, но не решающие ее.

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА РАЗМЕРЫ РЕЗЬБ БОЛЬШИХ ДИАМЕТРОВ, НАРЕЗАЕМЫХ МЕТЧИКАМИ

При выполнении анализа за основу была принята схема влияния технологических факторов на размер резьбы, разработанная В.В.Матвеевым в исследованиях, посвященных нарезанию точных резьбовых отверстий диаметром от 6 до 27 мм.

В нашей работе рассматривается действие различных факторов, производится количественная оценка их влияния на точность при обработке резьб диаметром более 30 мм.

Анализ показал, что при обработке отверстия большого диаметра степень влияния как отдельных, так и обобщающих факторов на размер резьбы будет в значительной степени отличаться от их действия в случае нарезания резьбовых отверстий обычных диаметров. Установлено, что производящий средний диаметр метчика D_n (первый обобщающий фактор) может быть определен по формуле

$$D_n = d'_{cp} + 1,732 \delta S,$$

где d'_{cp} - собственно средний диаметр метчика;
 δS - величина допуска по шагу резьбы метчика.

Количественная оценка влияния этого фактора показала, что максимальная возможная погрешность среднего диаметра резьбового отверстия, вызываемая изменениями D_n годного метчика, может составить $\approx 0,54 \delta d'_{cp}$ самой высокой (4-ой) степени точности по ГОСТу 16093-70.

Анализ упругих и тепловых деформаций, вызывающий "осадку" резьбы (третий обобщающий фактор) показал, что в большинстве случаев они не оказывают практического влияния на точность обработки.

В работе установлено, что главным фактором, оказывающим решающее влияние на точность при обработке резьб больших диаметров, является нарушение закона движения метчика (второй обобщающий фактор). Это подтверждается данными статистических исследований и согласуется с выводами ранее выполненных исследований А. П. Черного.

Определены причины, вызывающие нарушение закона движения метчика при работе. Показано, что в реальных условиях, при работе метчика с самозатягиванием, всегда действуют избыточные силы, вызывающие погрешности его движения.

На основании анализа показана необходимость создания конструкции инструмента, позволяющих локализовать действие этих сил и обеспечить заданный закон движения.

ПРЕДПОСЫЛКИ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ И РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИЙ МЕТЧИКОВ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИХ ВЫСОКУЮ ТОЧНОСТЬ

В работе выполнен анализ применяемых в производстве и известных по литературным источникам конструкции метчиков для получения точных резьб обычных (диаметром от 6 до 27 мм) размеров с точки

зрения целесообразности их применения при однокроходной обработке высокоточных резьбовых отверстий больших диаметров. Показано, что ни одна из существующих конструкций не может обеспечить высокой точности крупных резьбовых отверстий при однокроходном нарезании их на станках.

Установлено, что исходя из условий массового и серийного производства при создании инструмента для нарезания точных резьб, необходимо исследовать два направления.

Первое направление должно обеспечить создание инструмента, конструкция которого позволяла бы на протяжении всего процесса резания сохранить заданный закон винтового движения.

Второе направление предусматривает создание такой конструкции инструмента, которая наряду с обеспечением надежной ориентации в витках нарезаемой резьбы позволяла бы изменять свой производящий размер и, следовательно, размер резьбового отверстия.

На основании анализа показано, что первое направление может быть реализовано путем ввода в конструкцию рабочей части метчика специальных ведущих элементов (метчик с ведущими перьями), вступающих в работу и сохраняющих заданную траекторию движения инструмента, начиная с момента формирования заходных витков резьбы. При исследовании второго направления определено, что регулирование размера нарезаемой резьбы целесообразно производить за счет заданной величины расширения ее профиля. Установлено, что последнее может быть получено с помощью необходимого по величине смещения специального калибрующего элемента относительно режущего за счет его поворота вокруг оси инструмента (регулируемые метчики).

М е т ч и к с в е д у щ и м и п е р ь я м и

Анализ конструкции рабочей части метчика показал, что в качестве ведущих элементов можно использовать часть зубьев, придав им определенную геометрию. Установлено, что с целью обеспечения одновременного вступления в работу различных по назначению элементов и возможности их производственного изготовления необходимо режущие и ведущие зубья инструмента выполнять на отдельных, поочередно расположенных перьях. На основании выполненного в работе анализа получена новая конструкция метчика * (рис.1).

* Авторское свидетельство 288519, кл.49е,10.

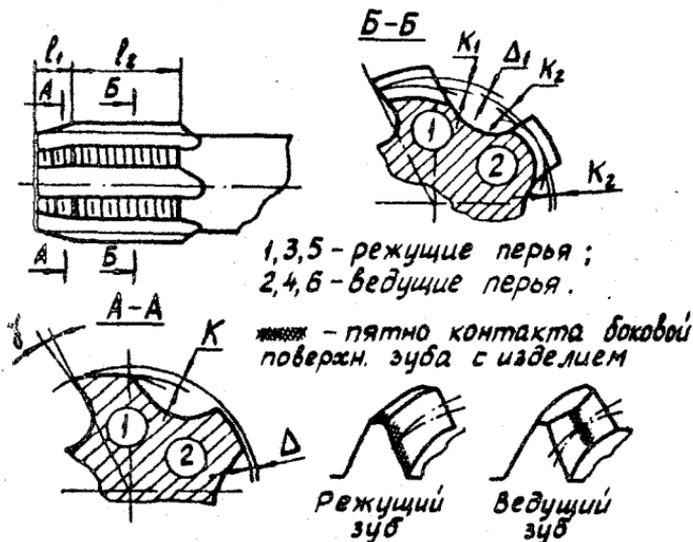


Рис. I. Метчик с ведущими перьями

Рабочая часть такого метчика, как и обычного, состоит из заборной части l_1 и калибрующей l_2 . Число перьев Z должно быть четным и не менее 6. Перья 1,3,5... являются режущими, 2,4,6... - ведущими. Зубья режущих перьев по профилю имеют обычное затылование K_1 , а по задней поверхности на заборной части - затылование K . Ведущие элементы в дуговом сечении по среднему диаметру имеют бочкообразную форму, опорные поверхности (вершины) которых выполнены с некоторым радиусом R . С целью исключения снятия поверхности резьбы сникками ведущих зубьев последние выполняются по отношению к зубьям режущих перьев заниженными на величину Δ .

В работе выполнен анализ характера формирования профиля резьбы в зависимости от соотношения средних диаметров режущих и ведущих элементов по самым высоким точкам профиля (перепад Δ_1). Установлено, что в случае $\Delta_1 \geq 0$ профиль резьбы формируется как и при работе обычными метчиками за счет последовательного удаления стружек режущими элементами, расположенными на заборной части l_1 . При этом предполагается, что ведущие элементы, вступая в работу в самом начале формирования заходных витков резьбы, будут сохранять

заданную траекторию перемещения режущих элементов, обеспечивая высокую точность обработки.

В случае $\Delta_1 < 0$ профиль резьбы детали будет формироваться (предварительным вырезанием с последующей раскаткой (выглаживанием) по боковым поверхностям (рис.2). Вырезание профиля до некоторого размера $d_{cp}^{рез}$ будет производиться зубьями режущих перьев, а зубья ведущих (теперь уже и раскатывающих) перьев будут раскатывать (а при малых Δ_1 - выглаживать) боковые поверхности, обеспечивая окончательный размер $d_{cp}^{рез}$. При этом каждый раскатывающийся зуб, перемещаясь вслед за режущим, обрабатывает небольшие по высоте участки сторон профиля. Это должно обеспечить сравнительно небольшие нагрузки на отдельных раскатывающих элементах и, следовательно, их высокую стойкость. Анализ такой схемы формирования профиля резьбы предполагает получение высокой точности и качества резьбовой поверхности.

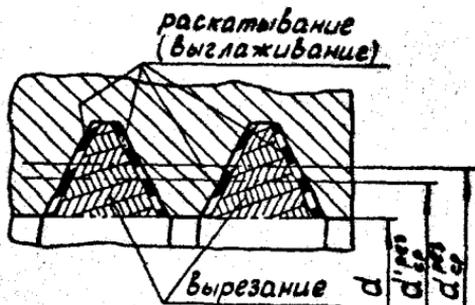


Рис.2. Схема формирования профиля резьбы метчиком с перепадом $\Delta_1 < 0$

Регулируемые метчики

Реализация второго направления исследования, выполненных в работе, позволила получить принципиально новые конструкции метчиков*, обеспечивающих заданную точность обработки за счет регулирования производящего размера (D_n) инструмента и изменения схемы формирования профиля резьбы. Вариант конструктивного исполнения одного из них (трехсекционного) и схема формирования профиля резьбы представлены на рис.3.

Рабочая часть такого метчика состоит из трех секций: режущей 1, калибрующей 2 и ведущей 3. Калибрующая и ведущая секции имеют форму

* Авторское свидетельство 310749, кл. В23 5/08;

* Авторское свидетельство 323208, кл. В23 5/08.

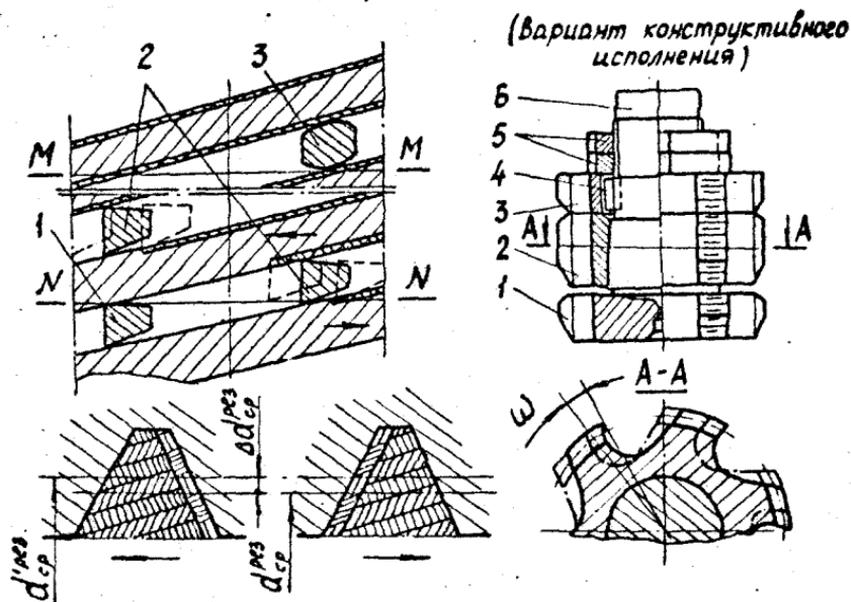


Рис. 3. Конструкция регулируемого метчика для нарезания сквозных резьбовых отверстий и схема формирования профиля резьбы

колец, одевающихся на хвостовик 6. Калибрующая секция устанавливается на конической поверхности хвостовика и имеет возможность изменить свое положение относительно режущей во время регулировки производящего размера (D_n) метчика. Ведущая секция закрепляется с помощью шпонки 4. Крепление калибрующей и ведущей секций на хвостовике метчика осуществляется гайками 5.

Средний диаметр резьбы метчика выполняется заведомо заниженным на величину, достаточную для получения (с учетом возможного разбивания) в детали "тугой" резьбы, то есть резьбы, средний диаметр $d'_{ср}$ (см. схемы формирования профиля на рис. 3) которой будет меньше, заданного $d_{ср}$. Поворот калибрующей секции (зубья 2) относительно режущей (зуб 1) и ведущей (зуб 3) на некоторый угол ω обеспечит определенное по величине осевое смещение ее зубьев. Установлено, что такое рассогласование секций позволит

увеличить ширину профиля нарезаемой резьбы и соответственно ее средний диаметр на некоторую величину $\Delta d_{cp}^{рез}$, значение которой можно определить по формуле

$$\Delta d_{cp}^{рез} = \frac{\sqrt{3} S \omega}{180}$$

где S - шаг нарезаемой резьбы.

В работе установлено, что ведущая секция необходима только при обработке сквозных резьб. Конструкция регулируемого метчика для нарезания глухих резьбовых отверстий может быть упрощена за счет исключения ведущей секции.

АНАЛИТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТОЧНОСТНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ МЕТЧИКОВ С ВЕДУЩИМИ ПЕРЬЯМИ И УСТАНОВЛЕНИЕ ЗАВИСИМОСТЕЙ ДЛЯ РАСЧЕТА ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ РАБОЧЕЙ ЧАСТИ

В работе были выполнены аналитические исследования точностных возможностей метчиков с ведущими перьями. Исследовалась величина осевого смещения нового инструмента и связанная с ним погрешность обработки резьбы в результате действия осевых сил. Было установлено, что осевое смещение метчика с ведущими перьями возможно за счет упругой деформации обрабатываемого материала в зоне контакта опорных (ведущих) элементов.

При расчете осевого смещения метчика была принята следующая упрощенная модель (рис. 4б), основанная на малости ширины A опорной поверхности (рассматривалась обработка заднего витка резьбы, т.е. наилучшие условия ориентации инструмента). Точки отрезка $(-l, l)$, принадлежащего поверхности упругого полупространства и лежащего на оси Oy (линия контакта) испытывают перемещения u_x в направлении оси Ox

$$u_x = u - \frac{y^2}{2R}$$

где R - радиус кривизны при вершине ведущего зуба;

u - перемещение середины линии контакта.

При этом вдоль линии контакта, на полосе шириной A' (на рис. 1б заштриховано), возникают касательные напряжения τ , являющиеся неизвестной функцией y . Более простая модель - сосредоточение реакции полупространства на линии контакта $(-l, l)$ - невозможна, так как перемещение u станет бесконечным.

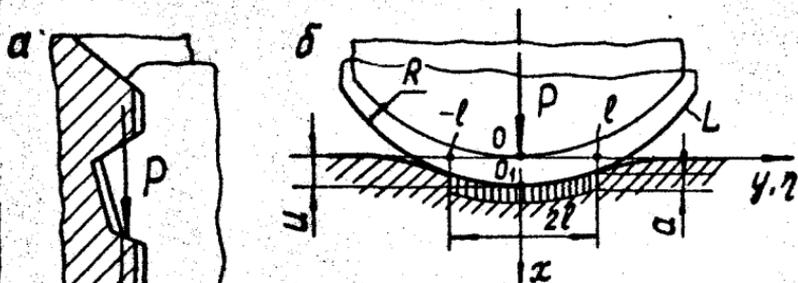


Рис. 4. Взаимодействие ведущего зуба метчика с опорной поверхностью при формировании первого витка резьбы: а-реальная схема; б-расчетная схема

В качестве функции влияния использована полученная Чарутти зависимость перемещения U_x точки (x, y) поверхности полуэллипсоида вдоль оси Ox под действием касательной силы T , которая имеет вид:

$$U_x|_{x=0} = \frac{T}{2\pi G \sqrt{x^2 + y^2}} \left[(1 - \beta) + \beta \frac{x^2}{x^2 + y^2} \right],$$

где G - модуль сдвига; β - коэффициент Пуассона.

Приравняв перемещение точек линии контакта, выраженное через U , перемещению, рассчитанному с помощью функции влияния, получим после преобразования интегральное уравнение Фредгольма первого рода

$$U - \frac{y^2}{2R} = \frac{1}{2\pi G} \int_{-l}^l K(|y - \eta|) \tau(\eta) d\eta$$

с сингулярным ядром

$$K(|y - \eta|) - K(\xi) = 2 \ln \left(\frac{a}{2} + \sqrt{\frac{a^2}{4} + \xi^2} \right) - 2 \ln \xi - \frac{a\beta}{\sqrt{\frac{a^2}{4} + \xi^2}}.$$

Интегральное уравнение, приведенное к безразмерному виду, из-за сложности ядра было решено численным методом наименьших квадратов на ЭВМ. Среднее квадратичное отклонение истинного перемещения от расчетного составило 0,5% от максимального осевого перемещения. Расчет проводился для реально возможного диапазона значений $\frac{a}{r} = 0,04 \dots 0,256$. В результате расчета получены графические зависимости (рис. 5а), позволяющие методом итераций найти

длину контакта l и величину осевого смещения метчика u при заданных величинах P и R .

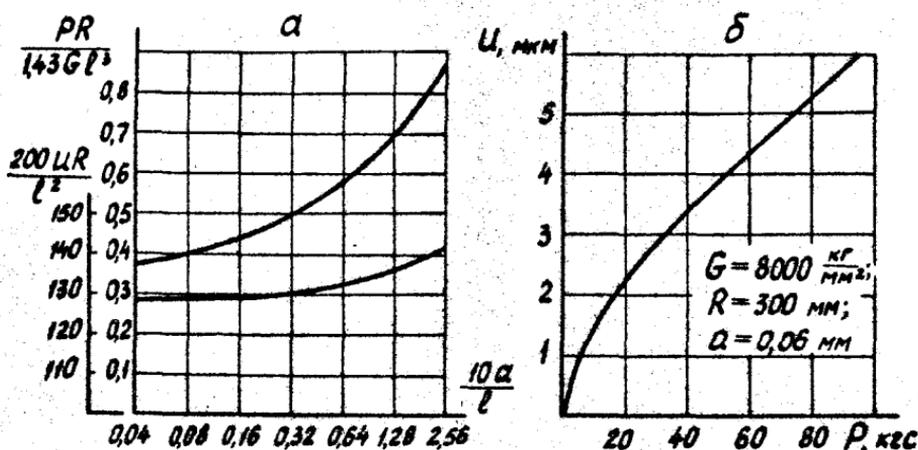


Рис. 5. Графические зависимости для определения величины u : а-для общего случая; б-для конкретных данных R , G и a

Полученная зависимость $u = f(P)$ для конкретных реальных величин G , R и a показывает (см. рис. 5б), что метчики с ведущими перьями имеет хорошую устойчивость в витках нарезаемой резьбы уже в начальный период обработки (принято $a = 0,06$ мм). Это обеспечивает постоянство заданной траектории движения на протяжении всего процесса формирования резьбы отверстия.

Для проведения расчетов в условиях производственного проектирования новых метчиков получены упрощенные зависимости, позволяющие вычислить величины u и l (погрешность не более 3%):

$$u = 0,76 \sqrt[3]{\frac{P^2}{G^2 R}} ; \quad l = 1,06 \sqrt[3]{\frac{PR}{G}}$$

В работе установлены расчетные зависимости для определения длины режущей (заборной) части (l_1), величин перепадов по наружному (Δ) и среднему (Δ_1) диаметрам между режущими и ведущими перьями, величины радиуса затылования ведущих элементов (R) и соответствующего ему спада затылка (K_2).

Определено, что основные параметры Δ и Δ_1 при переточке

режущих перьев (ведущие не перетачиваются) метчика по передней поверхности изменяют свою величину. При переточке по задней поверхности заборной части величина Δ , сохраняется. Исходя из этого установлены условия переточки, обеспечивающие длительную эксплуатацию метчиков с ведущими перьями.

С целью обеспечения простоты эксплуатации найдены расчетные и графические зависимости, позволяющие вести контроль параметров Δ и Δ_1 при переточках по ширине режущих перьев метчика.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Экспериментальные исследования проводились как в лабораторных, так и в производственных условиях.

Лабораторные испытания новых метчиков производились на модернизированном вертикально-сверлильном станке мод. 2А135. Исследование процесса формирования заходных витков резьбы выполнялось на специально разработанном и изготовленном приспособлении. Обрабатывались отверстия диаметром от 27 до 95 мм. В качестве основного размера была принята резьба М4х2. Нарезание резьбовых отверстий длиной 8, 20 и 60 мм производилось в образцах и деталях из материалов: сталь 45, сталь 40Х, сталь 38ХС, чугун СЧ18-36, Бр.ОС5-25, сплав АЛ-9.

Для регистрации величины действующего в процессе обработки крутящего момента и длительности элементов процесса использовались шлейфовый осциллограф Н-102 с тензометрическим усилителем ТУ-12М и электросекундомер П-30 с точностью 0,1 сек. Контроль размеров резьбы образцов (деталей) осуществлялся комплексными калибрами, специально изготовленным для резьбы М4х2 набором проходных калибров с интервалом между размерами 0,01 мм и специальным резьбомером конструкции ЧТЗ.

Экспериментально было подтверждено, что наличие ведущих элементов, вступающих в работу одновременно с режущими обеспечивает перемещение метчика по заданной траектории уже при формировании первых (заходных) витков резьбы. При этом резко уменьшаются величины разбивания T и рассеивания ϵ размеров обрабатываемых поверхностей, обеспечивается высокая точность резьбы на всей длине отверстия.

Исследования позволили установить, что главное влияние на

точность обработки резьбы у метчиков с ведущими перьями оказывают параметры Δ_1 и Δ (перепады по среднему и наружному диаметрам между режущими и ведущими перьями). Оказалось, что с увеличением Δ_1 и Δ разбивание резьбы T увеличивается. Наибольшая точность резьбы обеспечивается при $\Delta_1 = 0 \dots 0,005$ мм и $\Delta = \Delta_{min}$. В этом случае величина T даже при действии внешней осевой нагрузки $P_{oc}^B = (3-4)P_{oc}^P$ не превышает половины поля допуска резьбы 4-ой степени точности по ГОСТу 16093-70 (P_{oc}^P - величина осевой составляющей от сил резания, определяемая расчетным путем).

Испытания метчиков с перепадом $\Delta_1 < 0$ показали, что разбивание резьбы при действии $P_{oc}^B = (3-4)P_{oc}^P$ практически не наблюдается. При этом точность резьбы обеспечивается уже на первом витке. Дальнейшее увеличение P_{oc}^B до $(5-6)P_{oc}^P$ вызывает смятие профиля первого и частично второго витка самими ведущими элементами. Однако уже на третьем витке движение инструмента стабилизируется и величина разбивания T не превышает $0,6\delta d_{cp}^{pez}$ резьбы 4-ой степени точности (δd_{cp}^{pez} - допуск на средний диаметр). Проверка работоспособности таких метчиков в производственных условиях позволила установить для некоторых материалов (сталь 45, сплав АЛ-9, Бр.ОС5-25) наиболее приемлемые величины $\Delta_1 = -(0,01 \dots 0,02)$ мм. Дальнейшее уменьшение Δ_1 приводит к появлению гребешков на вершине профиля резьбы и ухудшению условий работы ведущих (раскатывающихся) элементов метчика. Испытания показали хорошую работоспособность метчиков с $\Delta_1 < 0$ при нарезании резьб во всех конструкционных материалах за исключением тех, которые обладают повышенной вязкостью.

Исследовалось влияние радиуса затылования R ведущих элементов метчика на величину разбивания T резьбы.

Оказалось, что приемлемыми для практического использования являются значения $R = 150 \dots 450$ мм (соответственно величины затылования $K_2 = 0,06 \dots 0,02$ мм). Уменьшение R (увеличение K_2) по сравнению с указанным приводит к заострению спинки ведущих зубьев и к уменьшению их стойкости при работе. Увеличение R за пределы 550 мм ($K_2 < 0,015$ мм) вызывает рост величины разбивания резьбы T . Это объясняется тем, что при малых величинах K_2 форма ведущих зубьев приближается к форме незатылованных режущих и при определенных условиях они начинают производить резание.

Экспериментальные исследования позволили установить, что при

обработке метчиками с ведущими перьями ($\Delta, \geq 0$) изменение скорости резания V в пределах от 3 до 20 м/мин практически не оказывает влияния на величины T и ε (ε - рассеивание размеров в партии деталей). Дальнейшее увеличение V (принималась $V_{max} = 35$ м/мин) приводит к незначительному росту T и ε . Мало влияет на величины T и ε и материал детали. Наибольшая разница в величинах разбивания T резьбы при обработке перечисленных ранее материалов составила 0,05 мм, а в величинах рассеивания ε - 0,03 мм.

С увеличением диаметра обрабатываемой резьбы значения T и ε растут, что объясняется влиянием масштабного фактора. Однако во всех случаях (обрабатывались отверстия диаметром от 27 до 95 мм) размеры резьбы не выходят за пределы допуска 4-ой степени точности.

Силовые испытания метчиков с ведущими перьями показали, что при величине перепада $\Delta_r = 0 \dots 0,005$ мм крутящий момент резания $M_{кр}^{рез}$ по сравнению с обычными метчиками увеличивается на 15...18%. С уменьшением Δ_r до 0,015 мм величина $M_{кр}^{рез}$ приближается к $M_{кр}^{рез}$ при обработке обычными метчиками.

В работе проведены испытания регулируемых метчиков. Результаты испытания подтверждают теоретические положения. Установлено, что такие метчики позволяют получать за счет изменения производящего размера (D_n) инструмента любой (в пределах диапазона регулирования) по величине размер среднего диаметра резьбы детали. При этом режущая секция, формируя предварительно профиль резьбы детали, является в то же время направляющей частью, позволяющей локализовать действие осевых сил уже при работе режущей секции до вступления в работу калибрующей. Последняя, исправляя погрешности профиля резьбы, сформированного первой секцией, обеспечивает значительно меньшие, по сравнению с обычными метчиками, величины T и ε . Испытания позволили установить, что величина составляет 60...10% величины допуска резьбы 4-ой степени точности. Это позволяет с помощью регулирования величины D_n в зависимости от величины T обеспечить получение действительных размеров резьбы в заданном поле допуска.

Установлено, что регулируемые метчики позволяют вести обработку материалов, обладающих повышенной вязкостью (за счет увеличенных задних углов по профилю резьбы - α_1). При этом потеря собственного размера при переточке по передней поверхности у такого

инструмента во время работы легко компенсируется регулированием величины D_n .

Испытания показали, что с помощью регулируемого метчика можно обрабатывать резьбы одного номинального размера, но для различных посадок.

В работе приводятся результаты производственного внедрения новых метчиков, подтверждающие эффективность их использования.

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОСНАСТКИ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ И ЭКСПЛУАТАЦИИ НОВЫХ МЕТЧИКОВ

В работе выполнен анализ технологических особенностей изготовления и эксплуатации новых метчиков по сравнению со старыми. Установлено, что для решения задачи производственного изготовления и эксплуатации этого инструмента необходимо:

1. Разработать отвечающий требованиям производства способ определения диаметра шлифовального круга на операции затывания заборной части метчиков.

2. Модернизировать используемые в производстве резьбошлифовальные станки с целью возможности шлифования резьбы метчиков по профилю.

3. Разработать конструкцию приспособления, обеспечивающего производительное затывание заборной части новых и переточку затупленных метчиков с ведущими перьями в условиях производства.

Установлено, что при обработке заборной части метчиков большого диаметра ($d_o > 36$ мм) с числом перьев $Z \geq 6$ и величиной заднего угла $\alpha > 6^\circ$ с целью обеспечения неповреждения режущих кромок метчика размер шлифовального круга необходимо ограничивать. С другой стороны, обработка кругами заведомо малого диаметра приводит к снижению их стойкости, частой правке и смене, к заниженным скоростям резания, что отрицательно сказывается на производительности изготовления инструмента. Существующий способ практического подбора $D_{кр}$ не отвечает требованиям производства.

В работе получен аналитический способ определения $D_{кр \max}$. Найдено, что $D_{кр \max} = \frac{2r}{\cos \varphi}$, где φ - угол заборного конуса;

$$\frac{1}{\rho} = \frac{1}{z} \left[-1 + \beta_1 x - \frac{\beta_2}{2} x^2 + O(x^3) \right], \text{ где } x = \frac{K_p}{z};$$

$$\beta_1 = \frac{1}{2 \sin^2 \frac{\beta}{2}} + \frac{\operatorname{ctg} \frac{\beta}{2}}{\frac{2\pi}{z} - \beta}; \quad \beta_2 = \frac{1}{2 \sin^2 \frac{\beta}{2}} - \frac{1}{\left(\frac{2\pi}{z} - \beta\right)^2};$$

$$z = \frac{d_0}{2} \left[1 - \left(\frac{2\pi}{z} - \beta_k + \Delta\beta_2 \right) \operatorname{tg} \alpha \right]; \quad K_p = z \left(\frac{2\pi}{z} - \beta \right) \operatorname{tg} \alpha.$$

В свою очередь, $\beta = \beta_k - \Delta\beta_1 - \Delta\beta_2$;

$$\Delta\beta_1 = \Delta\beta_2 = 0,1\beta_k; \quad \beta_k = \frac{2\pi}{z} - 2 \operatorname{arcsin} \frac{F}{d_0},$$

где F - ширина пера;

d_0 - наружный диаметр метчика;

z - число перьев метчика.

С целью удобства практического использования результатов исследования на основании полученных зависимостей были выполнены на ЭВМ расчеты $D_{кр \max}$ для размеров метчиков диаметром от 30 до 110 мм. Результаты расчетов приведены частично (только для метчиков с $z = 10$) на рис.6. Поскольку на рабочих чертежах метчиков вместо заднего угла α проставляют величину затылка K , то предусмотрены совмещенные графики зависимостей $D_{кр \max} = f_1(K)$ и $\alpha = f_2(K)$.

Полученный расчетный способ определения $D_{кр \max}$ пригоден практически для всех существующих типов метчиков, затылованных по спирали Архимеда. Однако при обработке метчиков с поочередно расположенными режущими и ведущими перьями эти зависимости могут быть использованы для приближенных (ориентировочных) расчетов. Для более точного расчета размера шлифовального круга в работе получена зависимость:

$$D_{кр \max}^b = D_{кр \max} \left(1 + \frac{\Delta}{a^2} \sqrt{D_{кр \max}^2 \cos^2 \varphi - a^2} \right),$$

где $D_{кр \max}^b$ - максимально допустимый диаметр шлифовального круга при затыловании метчиков с ведущими перьями;
 величина $a = \frac{1,55 d_0}{z}$;

Δ - перепад наружных диаметров между режущими и ведущими перьями на заборной части метчика.

Для осуществления одновременного шлифования профиля режущих и ведущих зубьев новых метчиков была разработана модернизация резьбошлифовальных станков мод. 5821, 5822, 5822М. В работе предлагается модернизация станка 5822, которая включает в себя устройство для настройки станка и контроля за ходом процесса обработки; комплект специальных затыловочных кулачков и переключающее устройство. Модернизированный станок позволяет осуществлять обра-

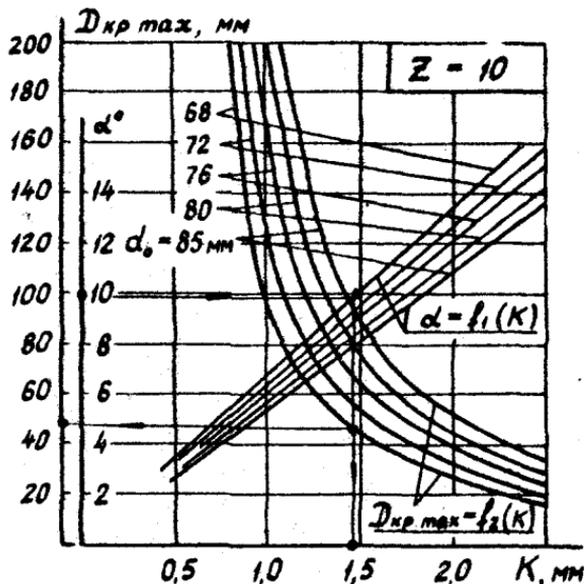


Рис.6. Зависимость α и $D_{кр\ max}$ от величины падения затылка K (пример полученных зависимостей для метчиков с числом перьев $Z = 10$)

ботку практически любых из известных конструкций метчиков. При этом переналадка станка при смене объекта обработки заключается только в замене легкоъемного затыловочного кулачка и диаграммы контрольного устройства. Результаты внедрения таких станков на ряде заводов страны показывают, что они полностью отвечают требованиям производства.

Для осуществления производительного затылования заборной части метчиков с ведущими перьями как при изготовлении, так и при переточке по задней поверхности в процессе их эксплуатации разработано в работе и предлагается специальное затыловочное приспособление^{*}. Его конструкция обеспечивает изготовление метчиков с любыми (в пределах рекомендуемых) значениями параметров K и Δ за счет специальной регулировки в затыловочном механизме.

* Авторское свидетельство 340116, кл.24в 3/22.

Приспособление позволяет вести обработку новых метчиков на любом из известных моделей заточных станков (например, мод. 3А64Д, 3В642 и др.), применяемых в инструментальном производстве. В работе рассматривается методика расчета и приводятся конструкции затыловочных кулачков, позволяющих в случае надобности (например, при изготовлении небольших партий метчиков) производить затылование заборной части на станках мод. 5821, 5822, 5822М.

ВНЕДРЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ

Выполненные теоретические и экспериментальные исследования позволили создать принципиально новые конструкции метчиков, обеспечивающих обработку высокоточных резьбовых отверстий большого диаметра (включая и короткие – группы S) за один проход. Новые метчики внедрены на ряде машиностроительных заводов (ЧТЗ, ЧСЗСО, КЭИТ, УралАЗ, К-Ур.ЛЗ и др.). Разработаны методика проектирования таких метчиков и вопросы их эксплуатации, которые нашли применение при разработке рабочих чертежей инструмента в производстве. Спроектирована технология изготовления нового инструмента, выполнена модернизация резьбошлифовальных станков 5821, 5822, 5822М, создано специальное высокоэффективное приспособление для обработки и затылования заборной части метчиков на заточных станках мод. 3А64Д, 3В642 и др.

Внедрение результатов исследования позволило получить суммарный экономический эффект только на перечисленных выше пяти заводах в сумме 182,6 тыс. рублей.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ

I. Существующие способы и инструменты (метчики) при нарезании внутренних резьб диаметром более 30 мм на станках за один проход обеспечивают точность не выше 7-ой степени по ГОСТ 16093-70 (3-го класса по ГОСТ 9253-59). Получение тугих (кл. А₀) резьб и резьб 4-ой и 5-ой степени (1-го и 2-го класса) точности машинным способом, в особенности в автоматизированном производстве, крайне затруднительно. Особую трудность представляет обработка коротких (3...5 ниток) резьб, относящихся к группе S, допуск на средний

диаметр которых по ГОСТ 16093-70 рекомендуется задавать не ниже 5-ой степени точности.

2. Проведенный в работе анализ показал, что при нарезании резьб большого диаметра метчиками главным фактором, оказывающим решающее влияние на точность резьбового отверстия, является нарушение закона движения метчика, вызываемое действием нескомпенсированных сил резания и внешних сил, приложенных со стороны элементов крепления инструмента.

3. Установлено, что решение задачи однопроходного нарезания точных резьб большого диаметра метчиками при работе по способу самозатягивания может быть достигнуто:

а) с помощью инструмента, конструкция рабочей части которого способна обеспечить его перемещение в процессе всей работы строго по заданному закону;

б) с помощью инструмента, обеспечивающего возможность регулирования получаемого размера резьбы в зависимости от конкретных технологических условий обработки.

4. Определено, что перемещение метчика в процессе всей работы строго по заданной винтовой траектории будет обеспечено, если в конструкции его рабочей части ввести специальные ведущие элементы, вступающие в работу одновременно с режущими. Для достижения последнего в работе предлагается режущие и ведущие элементы метчика выполнить с поочередным расположением на отдельных, следующих друг за другом, режущих и ведущих перьях инструмента.

5. В работе установлено, что регулирование величины среднего диаметра нарезаемой резьбы целесообразно производить за счет заданного расширения одной из сторон ее профиля. Практическое достижение последнего предлагается осуществить за счет необходимого по величине углового смещения калибрующей сепдии метчика относительно режущей при повороте ее вокруг оси инструмента.

6. Проведены аналитические исследования, устанавливающие взаимосвязь геометрии рабочей части с точностными возможностями метчиков с ведущими перьями. Полученные расчетные и графические зависимости позволяют проектировать данный инструмент с учетом конкретных технологических условий обработки и заданной точности нарезаемой резьбы.

7. Экспериментальные исследования показали, что применение в конструкции рабочей части метчика поочередно расположенных режущих и ведущих элементов обеспечивает надежную ориентацию инструмента с самого начала нарезания резьбы, т.е. в наиболее неблагоприятный (с точки зрения получения заданной точности) период обработки. Это позволяет избежать подрезания профиля и, следовательно, "разбивания" размера как на первых (заходных), так и последующих витках резьбы детали.

8. Установлено, что метчики с минимальным перепадом наружных диаметров на заборной части ($\Delta_{\text{тил}}$) и нулевым перепадом по среднему диаметру между режущими и ведущими перьями ($\Delta_r = 0$) обеспечивает получение тугой (кл. A_0) резьбы и резьбы 4-ой степени (I-го класса) точности уже на первых заходных витках отверстия.

9. Метчики с отрицательным значением перепада средних диаметров между режущими и ведущими перьями ($\Delta_r < 0$) формируют профиль резьбы детали методом предварительного вырезания с последующей раскаткой (упрочнением) обрабатываемой поверхности за один проход инструмента. Установлено, что в этом случае обеспечивается не только высокая точность (разбивание практически равно нулю), но и повышается качество резьбовой поверхности.

10. Анализа производства метчиков большого диаметра позволил установить, что существующие способы назначения диаметра шлифовального круга на операции заточки заборной части не отвечает требованиям, не учитывает особенности их обработки и не гарантирует качества изготовления инструмента. Для решения этого вопроса в работе предлагается расчетный метод и полученные на основании его графические зависимости для определения размеров круга.

11. В работе предложена конструкция модернизации резьбошлифовальных станков мод. 582I, 5822 и 5822M, разработана технологическая оснастка для производительного изготовления новых метчиков в производственных условиях. Промышленные испытания и внедрение модернизированного оборудования и оснастки показали, что они отвечают требованиям производства.

12. Производственные испытания и внедрение новых метчиков на сверлильных, токарно-револьверных полуавтоматах, агрегатных и др. станках показали, что они обеспечивают обработку резьбовых отверстий 4-ой степени точности и тугих (кл. A_0) за один проход. При этом брак деталей по резьбе ликвидируется полностью, произво-

длительность резьбонарезных операций, принятая по результатам пяти заводов, увеличивается в среднем на 46%.

Основные печатные работы и изобретения
по теме диссертации

1. Гольдфельд М.Х., Мирнов И.Я. Метчик с ведущими перьями для нарезания точных резьб. - "Станки и инструмент", 1971, №5.
2. Мирнов И.Я. Определение параметров рабочей части метчиков с ведущими перьями. Сб. "Прогрессивная технология чистовой и отделочной обработки", № 114, Челябинск, ЧПИ, 1972.
3. Мирнов И.Я. Нарезание точных резьб большого диаметра в коротких отверстиях. Сб. "Технология машиностроения" (исследования в области технологии машиностроения и режущего инструмента). Выпуск №26, Тула, ТПИ, 1972.
4. Гольдфельд М.Х., Мирнов И.Я. Новые конструкции регулируемых метчиков для нарезания крупных резьб. Сб. "Технология машиностроения" (исследования в области технологии машиностроения и режущего инструмента). Выпуск №26, Тула, ТПИ, 1972.
5. Мирнов И.Я., Дыхнов А.Е. Расчет максимального диаметра шлифовального круга при заточивании заборной части метчиков. - "Станки и инструмент", 1972, №8.
6. Матвеев В.В., Мирнов И.Я., Дыхнов А.Е. Влияние погрешностей изготовления метчиков и их деформации при работе на точность нарезаемой резьбы. Сб. "Технология чистовой и отделочной обработки поверхностей деталей", №47, Челябинск, ЧПИ, 1969.
7. Мирнов И.Я. Исследование процесса нарезания коротких резьб большого диаметра метчиками. Сб. "Материалы XIII научно-технической конференции института", Челябинск, ЧПИ, 1970.
8. Мирнов И.Я. Получение затылочных поверхностей на заборной части метчиков с ведущими перьями. Сб. "Тезисы докладов научно-технической конференции "Прогрессивные методы и инструменты для обработки резанием и пластическим деформированием", Челябинск, ЧПИ, 1971.
9. Матвеев В.В., Мирнов И.Я. Силы резания при минимальных толщинах срезаемого слоя титановых сплавов и сталей. - "Вестник машиностроения", 1970, №8.

10. Гольдфельд М.Х., Мирнов И.Я. Исследование процесса нарезания коротких точных резьб большого диаметра метчиками-раскатниками. Сб. "Прогрессивная технология чистойвой и отделочной обработки", №14, Челябинск, ЧПИ, 1972.

11. Мирнов И.Я. Прибор для контроля переднего угла метчиков. Южно-Уральский ЦНТИ. Информационный листок № 339 (3869), Челябинск, 1969.

12. Матвеев В.В., Мирнов И.Я., Выбойщик В.Н., Гольдфельд М.Х. Модернизация станка мод. 5822 для шлифования метчиков с бочкообразными ведущими зубьями. - "Станки и инструмент", 1970, №11.

13. Выбойщик В.Н., Мирнов И.Я. Повышение точности резьб при работе метчиками. Южно-Уральское ЦБТИ. Технический листок №235 (2861), индекс 83, Челябинск, 1967.

14. Гольдфельд М.Х., Матвеев В.В., Выбойщик В.Н., Мирнов И.Я., Дыхнов А.Е. Метчик для нарезания точных резьб. Авторское свидетельство № 288519, кл.49е, Ю.

15. Мирнов И.Я., Матвеев В.В., Гольдфельд М.Х., Выбойщик В.Н., Карасев А.П. Устройство для обработки и затывания заборной части метчиков. Авторское свидетельство № 340516, кл.24в 3/22.

16. Гольдфельд М.Х., Матвеев В.В., Мирнов И.Я., Выбойщик В.Н. Метчик. Авторское свидетельство № 310749, кл.В 23 5/08.

17. Матвеев В.В., Гольдфельд М.Х., Мирнов И.Я., Выбойщик В.Н. Метчик. Авторское свидетельство № 323208, кл.В23 5/08.

18. Матвеев В.В., Выбойщик В.Н., Гольдфельд М.Х., Мирнов И.Я. Способ нарезания резьбы метчиком. Авторское свидетельство № 325128, кл. В 23 1/16.

19. Гольдфельд М.Х., Мирнов И.Я. Регулируемые метчики для обработки точных резьб большого диаметра. - "Станки и инструмент", 1974, №9.

20. Мирнов И.Я., Дыхнов А.Е. Аналитическое определение величины осевого смещения инструмента при обработке точных резьб специальными метчиками. Сб. "Технология машиностроения" (Исследования в области технологии машиностроения и режущего инструмента). Тула, ТПИ. (Принято к печати).

21. Мирнов И.Я., Гольдфельд М.Х. Приспособление для затывания заборной части метчиков. - "Станки и инструмент", 1973, №12.