

Челябинский государственный технический университет

На правах рукописи

Калинин Олег Викторович

ПОВЫШЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ  
ПРОЦЕССА РЕЗЬБОНАРЕЗАНИЯ В ОТВЕРСТИЯХ С МАЛЫМ СБЕГОМ РЕЗЬБЫ  
ПУТЕМ НЕПРЕРЫВНОЙ РАДИАЛЬНОЙ ПОДАЧИ  
РЕЗЬБОВЫХ ГРЕБЕНК

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 1993

Работа выполнена на кафедре "Станки и инструмент" Челябинского государственного технического университета.

Научный руководитель - доктор технических наук,  
профессор Мирнов И.Я.

Официальные оппоненты: доктор технических наук,  
директор ГНИИЭП Качаев В.П.,  
кандидат технических наук,  
доцент Выбейшик В.Н.

Ведущее предприятие - ПО Машиностроительный завод  
"БУЛАТ", г. Златоуст.

Защита состоится 21 декабря 1993 года в 14 часов на заседании специализированного совета Д 053.13.05 Челябинского государственного технического университета по адресу:  
454080, г. Челябинск, пр. им. В.И. Ленина, 76, ЧГТУ

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ЧГТУ.

Отзыв в двух экземплярах, заверенных печатью, просим выслать ученому секретарю специализированного совета по вышеуказанному адресу.

Автореферат разослан "....."..... 1993 г.

Ученый секретарь  
специализированного совета  
доктор экономических наук,  
профессор.

 И.А. Баев

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ. Развитие машиностроения базируется на создании высокопроизводительного оборудования, передовых технологий обработки и сборки. Для соединения деталей наиболее часто применяют резьбу. Анализ литературных источников и технической документации показал, что свыше 25% деталей машин выполняются с внутренней резьбой. Среди них значительное место занимают детали, имеющие внутреннюю резьбу с малой длиной сбега (детали пневмо- и гидроприводов, специзделий и т.д.). По рекомендациям справочно-нормативной литературы при получении внутренних резьб с малым сбегом из-за более тяжелых (по сравнению с нарезанием наружных резьб) условий работы инструмента и возрастающего числа его отказов на практике снижают режимы резания. Кроме того, анализ производства позволил установить, что в большинстве случаев такая резьба образуется методами, основанными на перемещении режущей части инструмента (после врезания) в осевом или тангенциальном направлениях. Это ограничивает число режущих кромок, одновременно участвующих в работе, а значит — и производительность резьбообразования. В то же время, такой анализ показывает, что решить задачу повышения производительности, используя традиционные способы резьбообразования, не представляется возможным. Поэтому в производственных условиях для обеспечения планового выпуска деталей, как правило, устанавливают дополнительное оборудование. Также выявлено: при нарезании внутренних резьб традиционными способами в результате нерациональной нагрузки технологической системы происходит снижение точности образуемой резьбы.

Учитывая потребности производства, отсутствие ресурсов повышения производительности процесса образования внутренних резьб с малым сбегом известными способами, задачу повышения производительности резьбообразования можно решить на основе принципиально новых подходов.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ. Повышение производительности процесса нарезания внутренних резьб с малым сбегом.

В соответствии с постановкой вопроса поставлены следующие задачи:

1. Систематизировать известные способы образования внутренних резб с малым сбегом, провести их анализ и на этой основе выявить возможности создания новых высокоэффективных способов получения внутренних резб с ограниченной длиной сбега.
2. Провести аналитическое исследование предложенного способа резбообразования с целью определения условий, обеспечивающих высокую производительность и требуемую точность процесса образования внутренних резб с ограниченной длиной сбега.
3. Разработать и исследовать технологическую оснастку, необходимую для осуществления нового способа резбообразования.
4. Выполнить экспериментальную проверку результатов теоретических исследований и конструкторских решений по реализации данного способа и разработать методику проектирования операции нарезания внутренних резб этим способом.
5. Внедрить результаты исследований в производство.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ. При выполнении теоретических исследований использованы методы аналитической геометрии, дифференциального и интегрального исчисления, методы теории подобия и программирования на ЭВМ. При планировании эксперимента и обработке результатов исследований применены известные методы математической статистики.

НАУЧНАЯ НОВИЗНА. Научная новизна работы заключается в следующем: на основе анализа существующих методов обработки резб разработан новый высокоэффективный способ образования резьбовых поверхностей с малым сбегом, который назван **радиально-врезным**; разработана математическая модель радиально-врезного резбообразования, учитывающая основные особенности данного процесса, связь конструкции резьбового отверстия с составляющими непрерывной радиальной подачи, их влияние на геометрию инструмента и нагрузку на технологическую систему; определены условия протекания процесса резбообразования, обеспечивающие минимальную нагрузку на технологическую систему при ограниченных осевых перемещениях инструмента и механизм влияния ее погрешностей на точность нарезаемой резьбы.

Новизна технических решений подтверждена авторскими свидетельствами СССР.

ПРАКТИЧЕСКАЯ ЦЕННОСТЬ РАБОТЫ. Применение способа радиально-врезного образования внутренних резьб с малым сбегом позволило повысить производительность изготовления деталей с внутренней резьбой с малым сбегом в 1,5-4,5 раза. Для успешной реализации этого способа в условиях производства в работе:

- создан пакет прикладных программ, позволяющих проводить компьютерное исследование нового способа и существенно ускорить выбор рациональных технологических параметров резьбообразования;
- разработана методика инженерного проектирования процесса радиально-врезного резьбонарезания;
- спроектирована, изготовлена, экспериментально опробована и внедрена в производство оснастка для резьбообразования;
- получены аналитические зависимости для оценки надежности резьбонарезания новым способом.

Результаты экспериментов и производственные испытания подтвердили теоретические выводы, полученные в работе, и показали высокую производительность нового способа резьбонарезания.

НА ЗАЩИТУ ВНОСИТСЯ. Новый высокопроизводительный радиально-врезной способ образования внутренних резьб с малым сбегом и результаты его исследования; выбор путей его реализации; методика расчета основных параметров процесса образования резьбы таким способом при минимальной нагрузке технологической системы; новые конструкции технологических наладок для реализации радиально-врезного резьбонарезания; результаты лабораторных и производственных испытаний по нарезанию внутренней резьбы с непрерывной радиальной подачей резьбовых гребенок.

РЕАЛИЗАЦИЯ РАБОТЫ. Результаты работы внедрены в г. Миассе на ПО Уралаз. Годовой экономический эффект составил 4,044 тыс.руб. (в ценах 1989 г.).

АПРОБАЦИЯ РАБОТЫ. Отдельные разделы и работа в целом докладывались и обсуждались:

1. На научно-технических конференциях в Челябинском политехническом институте им. Ленинского комсомола и его филиале в г.Златоусте в 1981 - 1989 г.г.

2. На всесоюзной научно-технической конференции в г. Ленинграде в 1986 г.

3. Резьбонарезная головка для нарезания резьбы по новому способу демонстрировалась на юбилейной выставке ЧПИ в 1982 г.

**ПУБЛИКАЦИИ.** По материалам диссертации опубликовано 11 работ.

**СТРУКТУРА И ОБЪЕМ РАБОТЫ.** Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, общих выводов, списка литературы, включающего 139 наименований. Работа содержит 265 страниц машинописного текста, 73 рисунка и 17 таблиц, приложения.

#### ГЕОМЕТРО-КИНЕМАТИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ ПОВЫШЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ РЕЗЬБОНАРЕЗАНИЯ В ОТВЕРСТИЯХ С МАЛЫМ СБЕГОМ РЕЗЬБЫ

Анализ технической литературы и производственные наблюдения автора показывают, что традиционные способы образования резьб (нарезание резцом, метчиком, гребенкой и т.п.), применяемые при обработке внутренних винтовых поверхностей с коротким сбегом или "в упор", не обеспечивают нужной для практики производительности, а зачастую, являются просто неприемлемыми. Кроме того, процесс резьбонарезания, как правило, протекает при действии неуравновешенных осевых и радиальных сил, приводящих к подрезанию формируемого профиля резьбы, и, следовательно, к снижению ее точности.

Разработке вопроса повышения точности образования резьб в нашей стране и за рубежом посвящено большое число исследований. Среди них известны работы А.И.Исаева, В.В.Матвеева, И.Я.Мирнова, Т.А.Султанова, А.С.Ямникова, В.Н.Выбойдика, А.П.Черного, К.Масахиры и др. Они вскрыли механизм образования погрешностей резьбы, разработали прогрессивные конструкции резьбообразующего инструмента и технологической оснастки, позволяющих получать резьбы высокой точности в различных технологических условиях.

Работы других исследователей, занимавшихся в области резьбообразования, в частности, работы М.Н.Зюкина, В.Ф.Боброва, М.Х.Гольфельда, А.А.Грудова, А.П. Комарова, В.Н.Сидорова, С.Д.Смирнова, А.С.Пушмина посвящены исследованию путей и методов повышения производительности резьбообразования и стойкости инструмента. Однако в работах этих авторов не рассматриваются вопросы получения резьбовых поверхностей с малым сбегом. Поэтому их результаты зачастую не могут быть использованы с положительным

эффектом в рассматриваемом случае. Известно также, что в работах И.А.Коганова, А.С.Ямникова и В.П.Кузнецова изучалась проблема повышения эффективности однопроходного резьбонарезания путем увеличения числа одновременно работающих режущих кромок. Ими было проведено исследование процесса образования внутренней резьбы многолезвцевой одновитковой резьбовой головкой. Дальнейшее развитие этого направления, как показывает его анализ, представляется перспективным. Поэтому основной задачей настоящей работы является разработка и исследование условий, обеспечивающих высокую производительность образования внутренних резьб при ограниченных осевых перемещениях инструмента за счет увеличения числа одновременно работающих режущих кромок.

Поиск новых технических решений выполнен на основе систематизации известных методов резьбообработки с учетом нового признака — числа режущих одновременно участвующих в работе, в отличие от ранее применяемых. Так, например, в работах О.А.Этин и В.Г.Якухина систематизация известных методов резьбообразования проводилась по их кинематическим схемам и способам обработки.

Учитывая новый признак, существующие схемы и методы резьбообразования были сгруппированы и расположены в порядке возрастания именно этого показателя, т.е. числа одновременно участвующих в работе режущих кромок (табл.1).

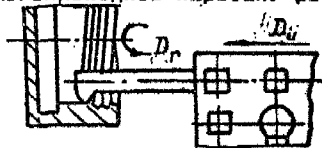
На основе синтеза известных методов резьбообразования, приведенных в таблице, установлено, что для обеспечения максимально возможного числа одновременно работающих режущих кромок необходимо, чтобы до начала резьбонарезания лезвия инструмента перекрыли всю глубину обрабатываемого отверстия (как у гребенчатой фрезы) и были расположены по его периметру в максимальном количестве (как у метчика или резьбонарезной головки). В этом случае для резьбонарезания лезвия инструмента должны синхронно перемещаться в радиальном направлении (что обеспечивается непрерывной радиальной подачей) с одновременным их вращением и перемещением по шагу резьбы. Такой способ\* в работе был назван радиально-врезным.

Сущность радиально-врезного способа резьбонарезания заключается в следующем. Рабочая часть вращающегося инструмента со сдвинутыми к его оси резьбообразующими элементами — резьбовыми гребенка-

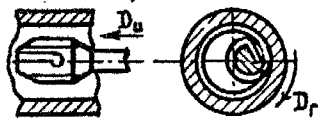


Увеличение числа одноврен. работающих реж. кромок по оси отв-ия

Многопроходное нарезан. резцом



Однопроходное точение круглой гребенкой

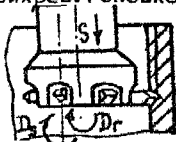


Однопроходное точение плоской широкой протяжкой



Однопроходное фрезерование

Вихрев. головкой



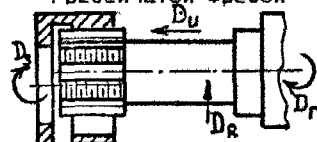
Дисковой фрезой



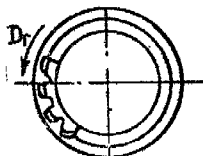
Групповой фрезой с забор-ным конусом



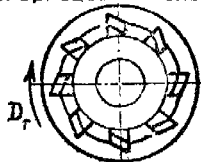
Гребенчатой фрезой



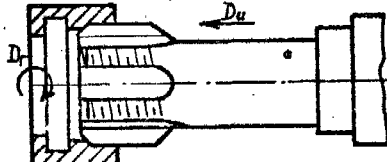
Одновитковой гребенкой



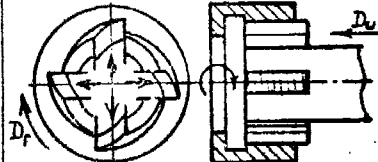
Многорезцовой головкой



Метчиком



НОВЫМ СПОСОБОМ



Увеличение числа одновременно работающих режущих кромок по периметру отверстия

Одностороннее нарезание



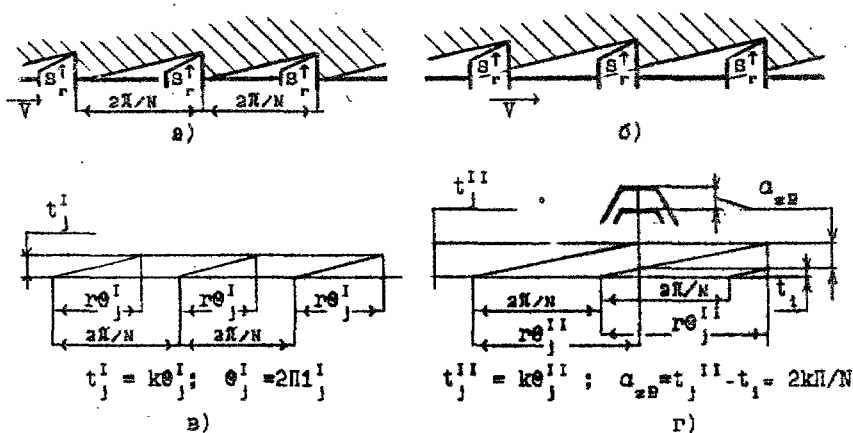
ми вводится в обрабатываемое отверстие заготовки. При этом гребенки должны перекрывать отверстие на всей его длине. После чего резьбовым гребенкам сообщается непрерывная радиальная подача. Инструмент, вращаясь, обеспечивает заданную скорость резания. Его осевое перемещение должно соответствовать шагу образуемой резьбы. Перемещаясь в радиальном направлении, режущие кромки резьбовых гребенок достигают поверхности отверстия заготовки и врезаются в нее, образуя винтовые канавки. После выхода вершинных режущих кромок на расчетный размер радиальная подача прекращается и производится зачистка и калибрование полученной резьбы. Затем резьбовые гребенки сдвигаются к оси инструмента и его рабочая часть, несущая резьбовые гребенки, выводится из отверстия.

Расположение лезвий инструмента вдоль всей длины образуемой резьбовой поверхности и непрерывная радиальная подача позволяют вести обработку резьбы как при ввинчивании, так и при вывинчивании инструмента из отверстия, что в отдельных технологических условиях может увеличить надежность его работы.

Изучение кинематики радиально-врезного резьбообразования показало, что этот процесс, благодаря синхронному движению резьбовых гребенок, можно исследовать на примере движения резьбовых резцов (по одному от каждой гребенки), образующих один виток резьбы. На рис. 1 приведена схема движения трех резьбовых резцов (при нарезании резьбы тремя гребенками) и ее графическая интерпретация. Полностью варианты циклограмм образования резьбы показаны на рис. 2.

При исследовании процесса резьбообразования установлено, что резание первоначально происходит в сплошном металле на угле поворота инструмента  $\theta < 2\pi/N$  (см. рис. 1, а), где  $N$  - число резьбовых гребенок,  $2\pi/N$  - угловой шаг расположения гребенок). После поворота инструмента на угловой шаг резьбообразование продолжается по предварительно прорезанным канавкам. Схема этапа показана на рис. 1, б. Это наиболее продолжительный этап. Он заканчивается после выхода вершинных режущих кромок на заданный размер. Радиальная подача прекращается, происходит зачистка и калибрование образованной резьбы. Калибрование является заключительным этапом резьбообразования. Для осуществления зачистки и калибрования необходимо повернуть инструмент на угол  $2\pi/N + (\alpha_1 - \beta_1) 2\pi/N$ .

Схема процесса врезания при  
радиально-врезном образовании резцов



а - этап I-врезание; б - этап II- резание с перекрытием;  
в и г графическая интерпретация первого и второго этапов

Рис. 1

В работе были установлены рациональные режимы радиально-врезного резбонарезания, определены кинематические и силовые характеристики процесса, которые взаимосвязаны с глубиной резания и толщиной среза отдельным зубом рабочего элемента инструмента. На основании рис. 1 и 2 глубина резания в общем случае может быть определена по зависимости

$$t_j = k\theta_j^M, \quad (1)$$

где  $k$ -коэффициент пропорциональности, зависящий от шага резьбы и числа оборотов для врезания;  $\theta_j$ -текущий угол поворота инструмента, пропорциональный числу его оборотов  $i_j$ .

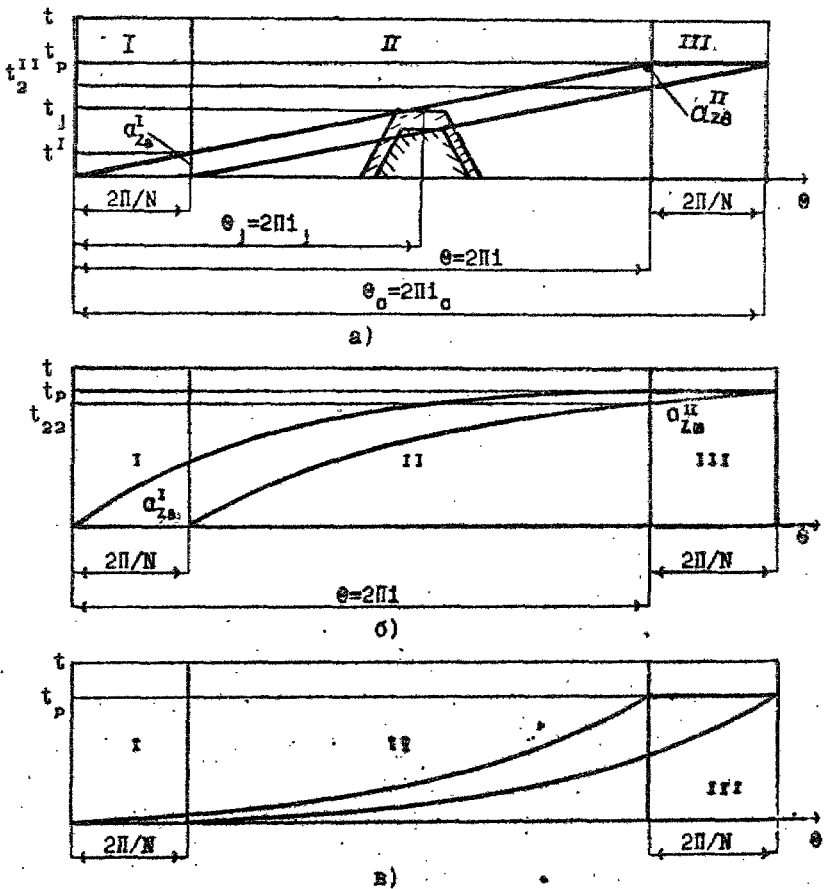
Кинематические характеристики процесса  $k$  и  $M$ , входящие в выражение (1) и зависящие от основных технологических параметров резбообразования вычислялись по формулам:

$$k = t_p / (2\pi i)^M, \quad (2)$$

$$M = \left[ \ln(t_p - a_z^{II}) - \ln t_p \right] / \ln(1 - 1/N), \quad (3)$$

где  $a_z^{II}$ - толщина среза вершинной режущей кромкой в конце второго этапа, мм;  $M$ - расчетная глубина врезания, равная глубине впадины

## Варианты циклограммы радиально-врезного резбообразования



а - при постоянной радиальной подаче ( $M=1$ ), б - при переменной, затухающей радиальной подаче ( $M<1$ ), в - при переменной возрастающей радиальной подаче ( $M>1$ )

Рис.2

резьб, мм;  $i$  - число оборотов инструмента от начала врезания до выхода вершинной режущей кромки на расчетный размер резьбы.

Этот параметр на основании выше изложенного и рис.2 находится

из условия получения резьбы при осевом перемещении инструмента, не превышающем заданной длины сбег резьбы или ширины зарезьбовой канавки. Величина  $1$  определяется по выражению

$$1 = b_1 / P - 2\pi / N - (1,1 - 1,3) 2\pi / N, \quad (4)$$

где  $P$  - шаг резьбы, мм;  $(1,1 - 1,3) 2\pi / N$  - часть угла поворота инструмента, необходимая для калибрования резьбы;  $b_1$  - ширина зарезьбовой канавки.

Для установления зависимости скорости радиальной подачи от кинематических параметров резьбообразования, продифференцировав выражения (1) и учитывая что:  $V_r = dt/dt$ ,  $\omega = d\theta/dt$ , получим формулу для расчета скорости радиальной подачи резьбовых гребенок в следующем виде

$$V_r = k M \omega^{M-1} \quad (5)$$

Из выражения (5) видно, что при  $M=1$  скорость радиальной подачи постоянна, а при  $M < 1$  или  $M > 1$  - переменна.

С целью определения рациональной радиальной подачи, обеспечивающей требуемую производительность резьбообразования, в работе выполнен совместный анализ циклограмм процесса получения резьбы новым способом и зависимостей для расчета составляющих силы резания. Поскольку из практики известно, что при значительных силах резания существенно снижается работоспособность инструмента в результате поломок и выкрашиваний его режущих кромок, что, в итоге, приводит к снижению производительности и потере точности обработки. Поэтому скорость радиальной подачи помимо обеспечения требуемой производительности должна обеспечить и протекание данного процесса при минимально возможной силе резания. В работе получены аналитические зависимости для расчета составляющих силы резания для всех этапов резьбонарезания, основанные на рекомендациях теории подобия и включающие параметры нового процесса (см. зависимости 1-3). Так, например, зависимость для расчета главной составляющей силы резания, действующей на боковой кромке одного резьбообразующего выступа, при работе на втором этапе циклограммы (см. рис. 2) имеет вид

$$P_{Z1}^{II} = \frac{k^2 \theta T \vartheta^M}{2 \cos \varphi} \tau_p \left[ 1 + \frac{1}{B_b} + 1,25 \frac{\rho_b \sqrt{B_b} \cos \alpha_b}{k \theta T \sqrt{\sin \alpha_b}} \right], \quad (6)$$

где  $\theta T = \theta - (\theta - 2\pi/N)$ ;  $\tau_p$  - сопротивление обрабатываемого материала

ла пластическому сдвигу, МПа;  $\phi$  - половина угла профиля резбобразующего элемента;  $\alpha_b$  - величина заднего угла на боковой режущей кромке;  $\rho_b$  - радиус скругления боковой кромки, м;  $V_b$  - величина, характеризующая степень пластических деформаций материала заготовки и инструмента.

Из анализа формулы видно, что при прочих равных условиях, величина указанной силы будет тем меньше, чем меньше значение показателя степени "М" при угле поворота инструмента  $\theta$  (начиная с  $\theta=1$ , что соответствует примерно 1/6 оборота инструмента). Поэтому более приемлемой является циклограмма процесса при  $M < 1$  (см. рис. 2, б), то есть при убывающей радиальной подаче. Для выявления влияния градиента убывающей скорости радиальной подачи на силу резания по полученным зависимостям проведены сравнительные расчеты составляющих силы резания. Расчеты выполнены на ЭВМ IBM PC AT. Анализ результатов расчетов показал, что из всех рассмотренных вариантов резбонарезания (работа с постоянной подачей, постоянной площадью среза на втором этапе и постоянным моментом резания на втором этапе) наибольшее снижение (на 30-60%) можно прогнозировать для циклограммы, обеспечивающей примерное постоянство момента резания на протяжении второго этапа циклограммы. Такая схема резбобразования названа равносиловой. Кроме того, установлено: при равенстве моментов резания для всех схем процесс резбонарезания по равносиловой схеме протекает быстрее в 1,3-1,8 раза. Поэтому для дальнейших исследований выбран вариант циклограммы, обеспечивающий высокую производительность при минимально возможной силе резания.

С целью предварительной оценки работоспособности режущихлезвий инструмента выполнены расчеты по проверке отсутствия их крупного разрушения. Расчеты проведены по методике М.П.Вадачкории с применением критерия Г.С.Писаренко и А.А.Лебедева. В результате расчетов установлено, что однопроходное резбонарезание новым способом в углеродистых сталях возможно для резб с шагом до 2 мм. Предложено две дополнительные схемы радиально-врезного резбобразования, позволяющие нарезать резьбу с шагом до 3 мм.

Работоспособность инструмента, как известно, также зависит от формы задней поверхности инструмента и ее положения относительно поверхности обрабатываемой, которое определяется величиной кинематического заднего угла. Поэтому для инструмента, работающего

шего с непрерывной радиальной подачей, необходимо получить такую форму задней поверхности, которая обеспечит сохранение кинематического заднего угла. В результате анализа характера движения режущих кромок получена аналитическая зависимость кинематического заднего угла от выявленных ранее кинематических параметров процесса нарезания резьбы и ее диаметра

$$\operatorname{tg} \alpha_K = \frac{0,5D_A \operatorname{KN} - \operatorname{PDMA}_r / \theta_{Tr}}{\operatorname{KNMA}_r / \theta_{Tr} + 0,5\operatorname{LDD}_A} \quad (7)$$

где  $D_A$  - диаметр отверстия заготовки, мм;  $K$  - величина затылования, мм;  $A_r$  - вероятностный радиальный зазор между вершинной режущей кромкой резьбовой гребенки в ее начальном положении и поверхность отверстия заготовки, мм;  $\theta_{Tr}$  - угол поворота инструмента для выборки радиального зазора  $A_r$ .

Из выражения (7) выведена формула для расчета величины затылования в следующем виде

$$K = \frac{\operatorname{PD}(0,5D_A \operatorname{tg} \alpha_K + A_r \operatorname{M} / \theta_{Tr})}{\operatorname{N}(0,5D_A - \operatorname{M} \cdot A_r \operatorname{tg} \alpha_K / \theta_{Tr})} \quad (8)$$

Результаты расчетов величин затылования по формуле (8) приведены на рис.3.

Влияние кинематического заднего угла ( $\alpha_K$ ), типоразмера резьбонарезной головки ( $\operatorname{DN} \times \operatorname{P}$ ) и числа оборотов для врезания на величину затылка инструмента

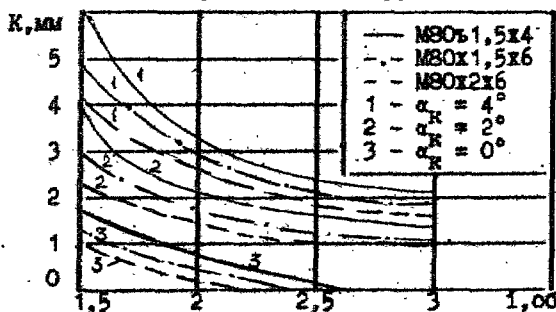


Рис.3

Из рис.3 видно, что увеличение кинематического заднего угла требует увеличения и статического заднего угла, то есть величины затылования, тогда как возрастание числа оборотов инструмента

позволяет вести резбонарезание при меньших величинах затылования.

В работе также изучен вопрос образования погрешностей резьбы, полученной радиально-врезным способом. За основу была принята методика проф. В.В.Матвеева, определяющая влияние технологических факторов на величину приведенного среднего диаметра резьбы. Этот параметр, как известно, зависит от трех обобщающих факторов: производящего среднего диаметра инструмента, погрешностей параметра винтового движения, упругих и тепловых деформаций резьбы. В данной работе в качестве объекта исследований был выбран производящий средний диаметр инструмента, так как в работах проф. В.В.Матвеева, И.Я.Мирнова, к.т.н В.Н.Выбойщика и других исследователей показано, что влияние погрешностей параметра винтового движения можно, практически, устранить, применяя специальную технологическую оснастку. Также известно, что величина погрешностей, вносимых третьим обобщенным фактором, весьма незначительна, и ее зачастую в расчет не принимают.

Как установлено проф. В.В.Матвеевым, составляющими величины производящего среднего диаметра являются: фактический средний диаметр резьбы инструмента, замещения среднего диаметра за счет погрешностей шага резьбы и угла ее профиля, приращения среднего диаметра за счет изгибных и крутильных деформаций метчика.

Расчеты, проведенные в работе, по оценке жесткости корпусов резбонарезных головок для образования резьбы М45-М80 показали, что жесткость подобных корпусов весьма высока и их деформации от действия составляющих сил резания и момента резания несут незначительные и ими можно пренебречь. Кроме того, сами резьбовые гребенки имеют сравнительно небольшую длину и являются весьма жесткими элементами. Скорее следует ожидать их возможного перекоса в пазах корпуса, вследствие чего изменит свое положение и лезвие инструмента. В результате гесметро-аналитического исследования данного вопроса установлено, что при перекосе лезвия происходит "выдвижение" производящего профиля гребенки, которое приводит к расширению выточки образуемой резьбы, то есть, к увеличению ее среднего диаметра. При этом показано, что приращение среднего диаметра резьбы зависит от положения витка на гребенке, направления отклонения лезвия и направления вращения инструмента.

Получены аналитические зависимости для определения приращения среднего диаметра резьбы. Выявлено, что при совпадении направления наклона лезвия и направления вращения инструмента приращение среднего диаметра резьбы составит 0,007мм, тогда как при несовпадении эта величина возрастает до 0,087мм.

#### ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРОЦЕССА РАДИАЛЬНО-ВРЕЗНОГО РЕЗЬБОНАРЕЗАНИЯ

Для реализации нового способа резьбонарезания разработаны структурные и кинематические схемы новых резьбонарезных головок, позволяющие нарезать резьбу на различном металлорежущем оборудовании.\* Новые конструкции резьбонарезных головок, в отличие от известных (РНТВ,КВ), снабжены механизмом непрерывной радиальной подачи резьбовых гребенок. Этот механизм может состоять, например, из клиноплунжерной пары и ее привода-гидравлического, механического и других. Наличие механизма непрерывной радиальной подачи открывает возможности управлять процессом врезания.

С целью обеспечения выполнения проектных расчетов новой технологической оснастки на основе анализа движения резьбообразующих элементов в работе получены зависимости для определения основных размеров резьбовой гребенки и корпуса. Так, например, длина резьбовой гребенки может быть вычислена по зависимости

$$L_p = H_p + [1 + (1,5-3)]P, \quad (9)$$

где  $H_p$  - длина резьбовой части детали с полной резьбой, мм.

Наружный диаметр рабочей части корпуса, несущей резьбовые гребенки, определен исходя из условия размещения гребенок внутри отверстия заготовки с гарантированным радиальным зазором

$$D_k = D - 2(1,1P + \Delta_r). \quad (10)$$

Для оценки прочности и жесткости рабочей части корпуса инструмента разработана методика расчета сил, действующих на резьбовую гребенку и рабочую часть корпуса резьбонарезной головки. Получены зависимости для поверочного расчета рабочей части корпуса. Результаты расчетов для некоторых вариантов резьбонарезания приведены на рис.4.

С целью определения профиля торцевого муляжа, заданного вы-

\* А.с. N N 1021534, 4110587, 1442339 и 1558526 (СССР)



Влияние параметров нарезаемой резьбы на величину эквивалентных напряжений в рабочем элементе корпуса



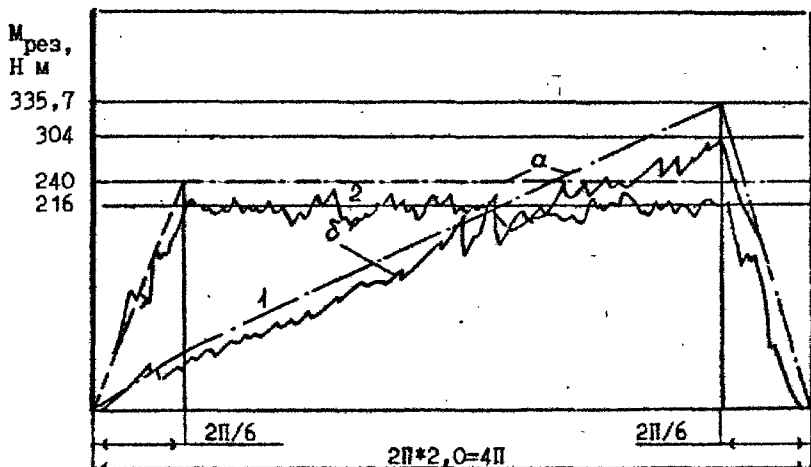
Рис.4

прерывную радиальную подачу резьбовым гребенкам, выполнено аналитическое исследование условий образования профиля при фрезеровании торцевой фрезой. При этом установлено, что при совпадении центра фрезы с центром фрезеруемой дорожки, возникает погрешность профиля в радиальном сечении (по высоте). Это ухудшает условия работы кулачка и толкателя. Для устранения указанной погрешности предложено смещать центр фрезы с центра обрабатываемой дорожки. Получены аналитические зависимости для определения положения центра фрезы.

Теоретические выводы работы, надежность и работоспособность разработанной оснастки проверены при экспериментальном исследовании нового способа. Проведены следующие эксперименты: определены рациональные величины заднего угла и радиальной подачи, а также ломяющей подачи для резьбы с шагом  $P=1,5$  мм, сравнительное резьбонарезание с постоянной и переменной радиальной подачами, форсированные испытания резьбовых гребенок на стойкость. Установлено, что при нарезании резьбы в заготовках из стали 35Л и подаче  $v=0,3$  мм/об наработка составляет 6+9 металлдеталей. Снижение подач до  $v=0,18+0,21$  мм/об увеличивает наработку в 3,5+4 раза, тогда как наработка метчика, нарезающего резьбу М80х1,5 составляет примерно 20 деталей.

Влияние вида подачи на величину момента резания при работе с постоянной подачей (см. рис.2,а) и с переменной подачей, обеспечивающей работу по равносиловой схеме показано на рис.5.

Примеры осциллограмм и расчетных изменений момента резания при нарезании внутренней резьбы М80х1,5



1- при постоянной радиальной подаче; 2- при переменной радиальной подаче; а- расчетные значения, б- фактические.

Рис.5

В результате обработки экспериментальных данных получены зависимости:

- главной составляющей силы резания, приходящейся на один резьбовой выступ резьбовой гребенки, например, для стали 20:

$$P_z = 362,09 - 1,250\gamma - 0,149V - 27,65N, \quad (11)$$

где  $\gamma$  - передний угол, град;  $V$  - скорость резания, м/мин;

- числа обработанных деталей от параметров процесса резбонарезания

$$n_g = 24,214/V^{1,906} P_z^{0,3} t_n^{0,7}, \quad (12)$$

где  $t_n$  - среднеинтегральная глубина резания, мм.

В ходе проведенных испытаний доказана возможность увеличения производительности резбонарезания в отверстиях с малым сбегом резьбы при непрерывной радиальной подаче от 1,5 до 4,5 раз.

Расчеты, проведенные по результатам экспериментов, и производственные испытания показали увеличение наработки нового

инструмента по сравнению с метчиком, работающим в аналогичных

условиях, от 2 до 7 раз. Результаты испытаний подтвердили правильность принятых в работе гипотез и полученных теоретических зависимостей. Выполненные экономические расчеты также подтвердили эффективность нового способа резбонарезания.

На основе данных теоретических и экспериментальных исследований разработана методика инженерного проектирования, реализованная в пакете прикладных программ.

#### ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ

1. Обоснована целесообразность образования внутренних резьб с малым сбегом одновременно по всей образующей отверстия и в нескольких зонах его периметра. Такая схема обеспечивает участие в работе максимально возможное число режущих кромок, равенство радиальных составляющих силы резания и сокращение машинного времени. При этом установлено, что новый способ позволяет нарезать короткие резьбы в отверстиях с малым сбегом резьбы, степени точности до 6Н, минимальным диаметром 28 мм и шагом до 3 мм, обеспечивая повышение производительности по сравнению:

- с многопроходным резбонарезанием в 5+6 раз;
- с резбобрезерованием в 6+8 раз;
- с нарезанием метчиком в 2+5 раз.

2. Получена математическая модель формообразования резьбы радиально-врезным способом, выявлена связь глубины и силы резания с параметрами непрерывной радиальной подачи, что позволяет проводить компьютерное исследование и существенно ускорить выбор рациональных технологических параметров процесса резбобразования.

3. Определены основные условия и ограничения для геометрических параметров технологических наладок, обеспечивающие получение резьб заданной степени точности. При этом установлено, что, например, для получения резьбы степени точности 6Н допуски на детали оснастки должны назначаться не ниже 5 качества точности.

4. Теоретически обоснованы и экспериментально подтверждены основные требования к геометрическим параметрам инструмента, обеспечивающие заданные кинематические параметры процесса резбонарезания при непрерывной радиальной подаче. Установлено, что наиболее влияющим на величину затылка инструмента фактором является

ся кинематический задний угол. Так при его увеличении от  $0^\circ$  до  $4^\circ$  статический задний угол возрастает до 20 раз.

5. Способ радиально-врезного образования резьбы может быть реализован на различном металлорежущем оборудовании: на токарных и сверлильных станках, токарных полуавтоматах, при этом, в качестве резьбообразующих элементов возможно использование как резьбовых резцов и гребенок, так и групповых резьбовых фрез. Установлено, что процесс получения резьбы можно осуществлять по нескольким схемам в зависимости от типоразмера резьбового отверстия, толщины стенки детали и ее материала.

6. Разработаны принципиальные схемы технологических наладок для реализации радиально-врезного способа резьбонарезания. Определена методика расчета и проектирования торцовых кулачков для обеспечения непрерывной радиальной подачи.

7. Определено, что нарезание резьбы с затухающей радиальной подачей, назначаемой по критерию постоянства момента резания на втором этапе образования резьбы, обеспечивает снижение силы резания на  $30\% + 60\%$  по сравнению с работой при постоянной радиальной подаче или площади среза.

8. Надежность и работоспособность новых технологических наладок подтверждена производственными испытаниями и внедрением. Установлено, что предложенный и исследуемый способ радиально-врезного резьбонарезания позволяет повысить надежность, производительность и экономичность нарезания резьб с малым сбоем в отверстиях средних и больших диаметров, а также кольцевой резьбы с углом профиля, меньшим  $90^\circ$ . Установлено, что наработка инструмента от четырех до семи раз превышает наработку метчика в зависимости от технологических условий производства.

Применение новой оснастки только для нарезания резьбы М80х1,5-6Н с малым сбоем в глухом отверстии наконечника цилиндра гидроусилителя в цехе ПО Уралаза, перешедшем на аренду, дало годовой экономический эффект в размере 4044 руб. ( в ценах 1989 г.).

## Л И Т Е Р А Т У Р А

1. А.с. 854626 (СССР). Способ нарезания внутренних резьб инструментом с подвижными резьбообразующими гребенками /

Урлапов Г.П., Калинин О.В. // Оpubл. в Б.И. -1981. -N 30.

2. А.с. 987640 (СССР). Устройство для образования внутренней резьбы / Урлапов Г.П., Калинин О.В. // Оpubл. в Б.И. -1982. N 39.

3. Калинин О.В., Урлапов Г.П. Устройство для выдавливания внутренней резьбы // Совершенствование машиностроительных материалов, конструкций машин и методов обработки деталей : Тематический сборник научных трудов. Челябинск.: ЧПИ, 1982. -с.48-52.

4. А.с. 1021534 (СССР). Резьбонарезная головка. / Калинин О.В., Надеин В.С., Урлапов Г.П. // Оpubл. в Б.И.-1983. -N 21.

5. А.с. 1110587 (СССР). Устройство к станку для образования внутренней резьбы. / Матвеев В.В., Калинин О.В., Надеин В.С., Зотов В.Г. и Витускин Ю.В. // Оpubл. в Б.И. -1984.- N 32.

6. Калинин О.В. Определение величины затылования инструмента при радиально-врезном образовании резьбы // Совершенствование машиностроительных материалов, конструкций машин и методов обработки деталей: Тематический сборник научных трудов. Челябинск.: ЧПИ, 1984. -с.51-55.

7. Калинин О.В., Матвеев В.В., Надеин В.С. Исследование радиально-врезного образования внутренней резьбы // Интенсификация производственных процессов механической обработки. Тез. докл. Всесоюзной конференции 14-16 октября 1986 г. Секция 3. Прогрессивные технологические процессы, инструменты и оснастка для обработки глубоких отверстий / Под ред. Уткина Н.Ф., Муссаевьяна Г.Л.- Л.: ЛМИ, 1986 -с.38-39.

8. Калинин О.В., Лобковский Г.Л., Савруллин Г.П. Экспериментальное исследование процесса радиально-врезного образования резьбы / Совершенствование машиностроительных материалов, конструкций машин и методов обработки деталей: Тематический сборник научных трудов. Челябинск.: ЧПИ, 1988. -с.57-59.

9. А.с. 1442339 (СССР). Устройство к станку для образования внутренней резьбы. / Матвеев В.В., Калинин О.В., Надеин В.С., Драный П.Д. // Оpubл. в Б.И. -1988. -N 45.

10. А.с. 1454590 (СССР). Устройство для фрезерования внутренней резьбы./ Матвеев В.В., Калинин О.В., Надеин В.С./ Оpubл. в Б.И. -1989. N4.

11. А.с. 1558586 (СССР). Устройство для фрезерования внутренней резьбы./ Михов В.Г., Калинин О.В.// Оpubл. в Б.И. -1990.N15.

Издательство при Челябинском  
государственном техническом университете

---

ГРМ20364. 20.01.92. Подписано в печать 15.11.93. Формат бумаги  
60X84 1/16. Печать офсетная. Печ. л. 1,25. Ул.-изд. л. 1.  
Тираж 100 экз. Заказ 286/538.

---

УОП издательства. 454080, г. Челябинск, пр. им. В.М.Ленина, 76.