

5.02.08

1994

Министерство высшего и среднего специального  
образования СССР  
Челябинский политехнический институт  
имени Ленинского комсомола

На правах рукописи

МЯСНИКОВ ЮРИЙ ИВАНОВИЧ

УДК 621.951.1.012.5

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ СКОРОСТНОГО СВЕРЛЕНИЯ  
ГЛУБOKИХ ОТВЕРСТИЙ МАЛОГО ДИАМЕТРА ТРУБЧАТЫМИ ПЕРОВЫМИ  
СВЕРЛАМИ НА ОСНОВЕ ОПТИМИЗАЦИИ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА

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

1987

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

Научный руководитель - доктор технических наук, профессор МАТВЕЕВ В.В.

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор ТВЕРСКОЙ М.М.,  
кандидат технических наук  
ШИРЕДЕВ Э.Н.

Ведущее предприятие - Высокогорский механический завод,  
г. Н-Тагил.

Защита состоится "23" ДЕКАБРЯ 1987 г. в 15 часов на заседании специализированного совета К 053.13.01 Челябинского политехнического института имени Ленинского комсомола.

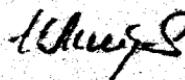
Адрес института: 454044, г. Челябинск, пр.им. В.И.Ленина, 76, ауд.226.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Просим Вас принять участие в обсуждении работы и направить свои отзывы, заверенные гербовой печатью организации, по вышеуказанному адресу на имя ученого секретаря совета.

Автореферат разослан " " 1987 г.

Ученый секретарь  
специализированного совета  
д.т.н., профессор

 И.Я.Мирнов

**АКТУАЛЬНОСТЬ.** Для выполнения задач, поставленных перед машиностроением на XXVII съезде КПСС, необходимо дальнейшее совершенствование действующих и создание новых высокопроизводительных технологических процессов обработки деталей.

В машиностроении широкое распространение получили операции обработки отверстий в деталях из конструкционных сталей и сплавов повышенной твердости ( $HRC > 30$ ) и прочности ( $G_b > 980 \text{ МПа}$ ), характеризующихся малыми диаметрами ( $D < 10 \text{ мм}$ ) и большой глубиной сверления ( $Y_d > 5$ ). К числу таких деталей относятся, например, клапаны дизельных и карбюраторных двигателей, валы и оси с отверстиями для подвода смазки к поверхностям трения, детали с сопловыми отверстиями и другие, годовой выпуск которых в масштабе страны составляет миллионы штук. Для этих деталей сверление является практически единственным методом получения отверстий. С проблемой обработки глубоких отверстий можно встретиться практически на каждом машиностроительном заводе, где эти операции являются "узким местом" производства. В настоящее время такие операции на 95–98% выполняются сверлением различными конструкциями спиральных сверл из быстрорежущей стали с периодическим выводом их из отверстий. Такие процессы, наряду с простотой применения и обслуживания, характеризуются невысокой производительностью, низким качеством обработки и стойкости сверл. Повышение эффективности выполнения таких операций нередко сдерживается из-за того, что возможности технологии сверления спиральными сверлами практически исчерпаны. Не дает требуемых результатов также применение специальных конструкций сверл (крутоспиральных, шнековых сверл, сверл с утолщенной сердцевиной и других), а также сверл, оснащенных твердым сплавом.

Основной причиной невысокой эффективности применения на этих операциях перечисленных выше конструкций сверл является то, что в основе их применения используется способ формирования стружки относительно большого сечения среза. Процесс сверления при их применении характеризуется сравнительно большими подачами  $S_o = 0,05 \dots 0,40 \text{ мм/об}$  и низкими скоростями резания  $V = 0,3 \dots 0,5 \text{ м/с} (20 \dots 30 \text{ м/мин})$  и осуществляется при больших силах резания в условиях малой прочности и жесткости инструмента.

Перспективным процессом обработки таких отверстий является скоростное сверление трубчатыми первыми сверлами (ТПС) с подводом СОЖ в зону резания под давлением, который является одним из высокопроизводительных методов обработки отверстий малого диаметра.

В основе его используется способ формирования стружки малых сечений среза, процесс сверления при этом характеризуется применением высоких скоростей резания  $V = 1,6 \dots 2,5 \text{ м/с}$  ( $100 \dots 150 \text{ м/мин}$ ) и малых подач  $S_o = 0,005 \dots 0,05 \text{ мм/об}$  и осуществляется при небольших силах резания. Однако процесс не нашел еще достаточного применения в промышленности из-за малой изученности и отсутствия научно-обоснованных рекомендаций для внедрения. Поэтому исследование особенностей технологии скоростного сверления отверстий малого диаметра ТИС с целью оптимизации режимов сверления и конструктивно-технологических параметров ТИС для повышения эффективности процесса следует отнести к актуальным задачам машиностроения.

**ЦЕЛЬ РАБОТЫ** является повышение эффективности операций обработки отверстий малого диаметра в деталях повышенной твердости и прочности на основе оптимизации процесса скоростного сверления ТИС, а также разработка практических рекомендаций и внедрение результатов работы в производство.

**НАУЧНАЯ НОВИЗНА.** В результате выполненных исследований разработана методика определения оптимальных параметров процесса скоростного сверления отверстий ТИС на стадии проектирования операций с использованием ЭВМ. При этом решены следующие вопросы:

- определены пути совершенствования процесса скоростного сверления ТИС;
- разработана математическая модель и методика решения задачи оптимизации процесса скоростного сверления ТИС;
- исследована структура задачи оптимизации изучаемого процесса, являющейся многокритериальной и многопараметрической задачей оптимизации;
- \* - разработана система ограничений и критерии оптимальности при решении задачи оптимизации;
- выполнены теоретические и экспериментальные исследования изучаемого процесса в широком диапазоне изменения режимов сверления и конструктивно-технологических параметров ТИС;
- разработаны алгоритм и программа проектирования операций скоростного сверления отверстий малого диаметра ТИС в диалоговом режиме работы на ЭВМ СМ-4 .

**ПРАКТИЧЕСКАЯ ЦЕННОСТЬ И РЕАЛИЗАЦИЯ РАБОТЫ.** Разработаны конструкция ТИС повышенной прочности и жесткости диаметром  $3,5 \dots 10 \text{ мм}$  и технология их изготовления на основе применения труб с увеличенной толщиной стенок и пластин из твердого сплава, выпускаемых отечественными заводами. Разработаны практические рекомендации и ин-

жеверная методика проектирования операций скоростного сверления ТПС с определением оптимальных режимов сверления и конструктивно-технологических параметров ТПС на ЭВМ.

**АВТОР ЗАЩИТАЕТ:**

- математическую модель и методику решения задачи оптимизации изучаемого процесса, рассматриваемую как задачу многокритериальной и многопараметрической оптимизации;
- систему ограничений и критерии оптимальности при решении задачи оптимизации;
- результаты теоретических и экспериментальных исследований изучаемого процесса, проведенные в широком диапазоне изменения режимов сверления и конструктивно-технологических параметров ТПС;
- практические рекомендации и методику проектирования операций скоростного сверления отверстий малого диаметра ТПС на ЭВМ.

**РЕАЛИЗАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ РАБОТЫ.** Выполненные в работе исследования использованы для решения конкретных производственных задач, а именно: разработки и внедрения процесса скоростного сверления отверстий диаметром  $3,8+0,1$  мм в блоке на Высокогорском механическом заводе (ВМЗ), дальнейшего совершенствования процесса скоростного сверления отверстий диаметром  $7,0+0,3$  мм в клапане выпуска на Челябинском автомеханическом заводе (ЧАМЗ) и разработки и внедрения методики расчета и проектирования сверл с внутренними каналами для Челябинского ПО "Завод имени Орджоникидзе" (ПОЗИО). Разработаны практические рекомендации и руководящие материалы по проектированию операций скоростного сверления отверстий малого диаметра трубчатыми первыми сверлами, в том числе на ЭВМ. Результаты работы включены в "Общемашинстроительные нормативы режимов резания для технического нормирования работ на металлорежущих станках" (Обработка отверстий. Часть 4, 1987, I-ая редакция). Экономический эффект от внедрения результатов работы составил 62,5 тысяч рублей.

**АПРОБАЦИЯ РАБОТЫ.** Результаты работы по теме диссертации автором доказывались: 1. На научно-технических конференциях в Челябинском политехническом институте им. Ленинского комсомола в 1970...1986 годах. 2. На Всесоюзных конференциях "Прогрессивная технология обработки глубоких отверстий" в Ленинграде в 1970 и 1974 годах и в Москве в 1979 году. 3. На республиканском научно-техническом семинаре "Прогрессивная технология механической обработки и сборки" в Килиневе в 1973 году. 4. На производственно-техническом семинаре "Оптимизация режимов обработки на металлорежущих станках" в Челябинске в 1984 году.

**ПУБЛИКАЦИИ.** По теме диссертации опубликовано в печати 13 работ.

**СТРУКТУРА И ОБЪЕМ.** Диссертация состоит из введения, шести глав, общих выводов, списка литературы и приложений. Работа изложена на 150 страницах машинописного текста, содержит 13 таблиц, 87 рисунков, 5 приложений и списка литературы из 136 наименований. Общий объем составляет 297 страниц.

### ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, сформулирована ее цель и в виде краткой аннотации изложены результаты теоретических и экспериментальных исследований.

В первой главе выполнен аналитический обзор литературы по скоростному сверлению отверстий первыми твердосплавными сверлами с подводом СОЖ в зону резания, рассмотрены методические вопросы, решаемые в литературе при оптимизации процессов сверления, и сформулированы задачи исследований.

Установлено, что большой вклад в изучение и развитие скоростного сверления внесли советские ученые и исследователи Стрелец А.А., Полураев В.Н., Маргулис Д.И., Холмогорцев Ю.П., Астанин В.Н. и другие.

В результате анализа установлено, что скоростное сверление ТПС, впервые использованное В.Н.Астаниным, является наиболее производительным процессом обработки отверстий малого диаметра, позволяющим удалять металлы с малыми сечениями среза. Однако широкого применения этот процесс не нашел, так как ряд вопросов, обеспечивающих его внедрение в производство, оказались нерешенными. В настоящее время не определены технологические возможности скоростного сверления ТПС, а именно: не определены диапазоны режимов сверления, параметры подвода СОЖ, конструктивно-геометрические параметры сверл, требования к оборудованию и технологической оснастке. В исследованиях не уделялось должного внимания вопросам совершенствования и оптимизации этого прогрессивного процесса. В связи с изложенным и была сформулирована, приведенная выше, цель работы.

Для решения поставленной цели намечены следующие задачи исследований.

1. Определить пути совершенствования процесса и на основе их разработать математическую модель задачи оптимизации и методику исследований.

2. Выполнить экспериментальные исследования для подтверждения теоретических предпосылок и получения ряда экспериментальных зависимостей, необходимых для решения практических задач оптимизации.

3. Выполнить теоретические исследования математической модели задачи оптимизации, разработать алгоритм и программу ее решения на ЭВМ.

4. Разработать практические рекомендации, определить экономическую эффективность процессов скоростного сверления отверстий ТИС и внедрить результаты работы в производство.

Во второй главе определены пути совершенствования процесса скоростного сверления ТИС, разработана математическая модель задачи оптимизации и общая методика исследований.

Установлено, что одним из путей совершенствования изучаемого процесса является повышение работоспособности ТИС (рис.1) за счет дальнейшего совершенствования и оптимизации их конструктивных и геометрических параметров, так как наблюдения за эксплуатацией ТИС на ЧАМЗе показали, что вариант конструкции ТИС диаметром 7,0 мм и технология его изготовления, предложенные В.Н.Астаниным, имеют очевидных недостатков, а именно: сверла такой конструкции часто выходят из строя из-за поломок и характеризуются чрезвычайно большими колебаниями стойкости, что неблагоприятно сказывается на надежности выполнения операции и ее технико-экономических показателей. Эти же недостатки привели к отрицательным результатам при предварительных испытаниях ТИС диаметром 3,8 мм, спроектированных и изготовленных нами по аналогии с ТИС диаметром 7,0 мм для Высокогорского механического завода.

Анализ недостатков существующих конструкций ТИС позволил разработать предпосылки для совершенствования их конструктивных и геометрических параметров.

Совершенствование конструктивных параметров ТИС направлено на повышение их прочности и жесткости за счет изготовления трубчатых корпусов из труб с увеличенной толщиной стенок и формирования профиля с переменной толщиной стенок по периметру. В связи с этим рассмотрены три возможные формы профиля (рис.2,а): с равномерной ( $\delta_1 = \delta_2$ ) и переменными ( $\delta_1 > \delta_2$  и  $\delta_1 < \delta_2$ ) толщинами стенок по периметру. Различной толщиной стенок достигается изменение соотношений между конструктивными параметрами профиля корпуса – площадями  $F_K$ ,  $F_C$  и  $F_O$ , определяющих условия прочности (жесткости) и условия структуроудаления. Профиль корпуса при этом образуется за счет выполнения шести конструктивных размеров (рис.2,б)  $R$ ,  $R_C$ ,  $R_k$ ,  $V$ ,  $\delta_1$  и  $\delta_2$ , определяющих его оптимальную форму.

Совершенствование геометрических параметров ТИС направлено на

Конструкция трубчатого перового сверла (ТПС):

- 1 - твердосплавная режущая пластина;
- 2 - трубчатый профилированный корпус.

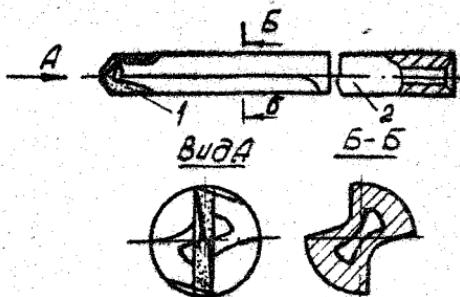


Рис.1

Формы (а) и конструктивные размеры (б) трубчатых корпусов исследуемой конструкции ТПС в профильной части

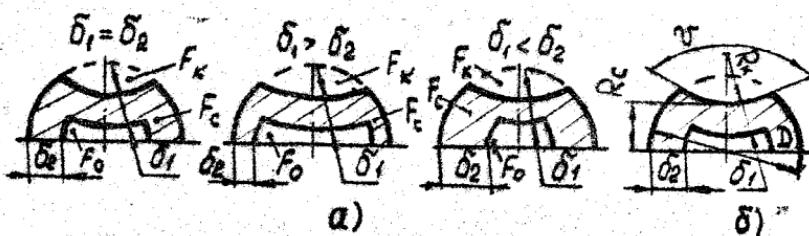


Рис.2

Формы поперечной режущей кромки (а) и геометрические параметры (б) режущей части исследуемой конструкции ТПС

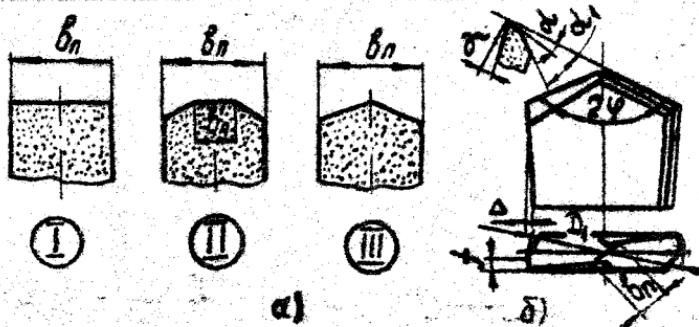


Рис.3

повышение износостойкости и прочности режущей части и достигается получением таких ее форм, которые наилучшим образом учитывают особенности работы поперечной режущей кромки в условиях скоростного сверления. В связи с этим рассмотрены три возможные ее формы (рис. 3, а), получаемые заточкой режущей части со стороны задних поверхностей по одной и двумя плоскостям: плоскообразная (I), плоскообразная со скосами (II) и пикообразная (III). Режущая часть, таким образом, образуется при выполнении девяти геометрических размеров (рис. 3, б):  $D_1, \alpha, \gamma, 2\gamma, b_n, d_1, b'_n, \Delta$  и  $f$ , определяющих ее оптимальную форму.

Таким образом оптимизацией процесса и, следовательно, каждой операции скоростного сверления ТИС необходимо получить, во-первых, оптимальные значения режимов сверления (скорости резания  $V^*$  и подачи  $S_0^*$ ), во-вторых, оптимальные значения конструктивных размеров ( $R^*, R_c^*, R_k^*, V^*, \delta_1^*, \delta_2^*$ ) и, в-третьих, оптимальные значения геометрических размеров ( $D_1^*, \alpha^*, \gamma^*, 2\gamma^*, b_n^*, d_1^*, b'_n^*, \Delta, f$ ). В такой постановке задача оптимизации изучаемого процесса (операции) является многокритериальной и многопараметрической задачей оптимизации и рассматривается в дальнейшем как задача многокритериальной оптимизации, решение которой сводится к совместному определению всех значений оптимальных параметров.

На основе моделирования изучаемого процесса определена структура и разработана математическая модель задачи оптимизации режимов сверления совместно с оптимизацией конструктивно-технологических параметров ТИС. Установлено, что по своей структуре она является задачей оптимизации режимов сверления с ограничениями, в число которых ограничения на конструкцию ТИС входят в виде подзадачи оптимизации его конструктивно-технологических параметров.

Ограничениями на режимы сверления являются также условия обработки по производительности, стойкости, качеству обработки отверстий и возможные пределы изменения режимов сверления.

Подзадача оптимизации геометрических параметров режущей части ТИС сформулирована как задача определения оптимальных по стойкости (критерию оптимальности) геометрических параметров в зависимости от формы режущей части. Методикой решения предусмотрено их определение на стадии проведения стойкостных испытаний.

Подзадача оптимизации конструктивных параметров сформулирована как задача оптимального проектирования, решение которой сводится к определению оптимальных размеров профиля корпуса в зависимости от толщины стенок по периметру. В математической модели задачи пред-

усмотрено наличие критерия оптимальности и ограничений, зависящих от конструктивных размеров профиля, где ограничения определяют условия прочности сверл, условия стружкоудаления и возможные пределы изменения конструктивных размеров.

Сформулированная, таким образом, задача оптимизации изучаемого процесса (операции) является задачей математического программирования и для ее решения необходимы зависимости критериев оптимальности и ограничений, алгоритм и программа решения на ЭВМ. В связи с этим методикой исследований предусмотрено проведение экспериментальных и теоретических исследований с использованием современных методов планирования экспериментов, математических методов обработки результатов экспериментов, математических методов оптимизации, основных положений технологии машиностроения и теории резания, теории прочности и гидромеханики.

В третьей главе приведены результаты экспериментальных исследований процесса скоростного сверления отверстий диаметром  $7,0+0,3$  мм в клапане выпускса (материал - жаропрочная сталь 80Х20НС, предел прочности  $G_b = 980$  МПа, твердость НРС 32...38), выполненных в производственных условиях ЧАМЗа. Эксперименты проводились на автоматической линии обработки клапанов (режимы сверления:  $V = 1,66$  м/с (99,5 м/мин) и  $S_o = 0,027$  мм/об) и на модернизированном токарно-винторезном станке ИК62 (режимы сверления:  $V = 1,16...2,16$  м/с (70...130 м/мин) и  $S_o = 0,017...0,037$  мм/об). Для сверления отверстий использовались ТИС, изготовленные и перетачиваемые в инструментальном цехе завода.

В результате выполненных исследований подтверждена эффективность заточки ТИС по двум плоскостям (формы II и III) и получены экспериментальные зависимости по стойкости ТИС и качеству обработки отверстий, необходимые для оптимизации операции обработки отверстий в клапане выпускса (ЧАМЗ).

В четвертой главе приведены результаты экспериментальных исследований процесса скоростного сверления отверстий диаметром  $3,8+0,1$  мм в блоке (материал - сталь 40Х, предел прочности  $G_b = 980$  МПа, твердость НРС 28...39), выполненных в лабораторных условиях. Эксперименты проводились на специальных образцах, имеющих характеристики обрабатываемой детали. Для проведения экспериментов разработана и изготовлена установка на базе вертикально-сверлильного станка 2Н118, где высокая частота вращения сверла (до 400 л/с) и малые подачи (от 0,002 до 0,05 мм/об) достигнуты путем оснащения его скоростной сверлильной приставкой. Специальная насосная станция

обеспечивала подвод СОЖ в зону сверления под давлением до 5,0 МПа при расходе до 8 л/мин. В качестве СОЖ использовался сульфоффрол.

Для сверления отверстий разработана конструкция ТИС диаметром 3,8 мм повышенной прочности (жесткости) и технология его изготовления, что достигнуто за счет исследования следующих вопросов:  
 а) особенностей формирования профилем ТИС такого диаметра из труб с увеличенной толщиной стенок, определения их рациональной формы и размеров; б) условий образования пазов под пластинки твердого сплава и нацайки их в связи с образованием отверстий в режущей части;  
 в) условий качественной заточки режущей части.

В результате выполненных исследований подтверждена эффективность изготовления ТИС малого диаметра из труб с увеличенной толщиной стенок и получены экспериментальные зависимости по стойкости ТИС и качеству обработки отверстий, необходимые для оптимизации операции обработки отверстий в блоке (ВМЗ).

В пятой главе выполнены теоретические и экспериментальные исследования, на основе которых разработана математическая модель задачи оптимизации процесса скоростного сверления ТИС (см.стр. I2 ).

В модели (I-16) приняты следующие обозначения:  $Y$  - приведенные затраты, обусловленные эксплуатацией оборудования и заработной платой рабочих (без затрат на режущий инструмент), руб/мин;  $X$  - приведенные затраты, обусловленные эксплуатацией ТИС за период их стойкости, включая затраты на переточку и заработную плату заточника, руб/дет;  $T_{CM}$  - время простоя оборудования, связанное со смесью ТИС, мин;  $[T]$ ,  $[P]$ ,  $[d]$ ,  $[R_2]$  - соответственно допустимые значения стойкости, производительности, точности отверстия и шероховатости поверхности отверстия;  $T_d$  и  $T_u$  - соответственно допуск на диаметр и увод оси обрабатываемого отверстия;  $d$  и  $\ell$  - соответственно диаметр и глубина обрабатываемого отверстия, мм;  $B_d$  и  $B_\ell$  - безразмерные коэффициенты среднего диаметра и глубины отверстия;  $B_{RK}$ ,  $B_{R_K}$ ,  $B_{U_2}$ ,  $B_b$ , и  $B_{\delta_2}$  - безразмерные коэффициенты конструктивных размеров профиля корпуса;  $B_{FK}$  - безразмерный коэффициент площади стружечных канавок;  $B_{FK'}$  - безразмерный коэффициент площади стружечных канавок, образуемых за счет кольцевого зазора;  $G_{MK}$  и  $D_{MK}$  - соответственно безразмерные коэффициенты предельного крутящего момента и минимального момента инерции сечения профиля корпуса;  $K_{MK}$  и  $K_{PK}$  - соответственно коэффициенты запаса прочности ТИС на кручение и продольную устойчивость;  $T_K$  - предел текучести материала корпуса при кручении, МПа;  $M$  - коэффициент, учитывающий характер закрепления ТИС;  $l_1$  - длина вылета сверла из патрона, мм;  $E$  - модуль упругости I-го рода материала

Найти такие значения  $V \times S_0$ , при которых критерий оптимальности

нестабильности

$$\frac{Y}{VS_0} + \frac{T_{CM}Y + X}{VS_0 T} \rightarrow \text{мин}, \quad (I)$$

$$\text{где } T = a_0 + a_1 V + a_2 S_0 + a_{11} V^2 + a_{22} S_0^2 + a_{12} VS_0 \quad (2)$$

и выполняются ограничения:

$$T(VS_0) \geq [T]; \quad (3)$$

$$\frac{VS_0 T}{T + T_{CM}} \geq [\Pi]; \quad (4)$$

$$\delta_0 + \delta_1 V + \delta_2 S_0 + \delta_{11} V^2 + \delta_{22} S_0^2 + \delta_{12} VS_0 \leq [d]; \quad (5)$$

$$\gamma_0 + \gamma_1 V + \gamma_2 S_0 + \gamma_{11} V^2 + \gamma_{22} S_0^2 + \gamma_{12} VS_0 \leq Td; \quad (6)$$

$$g_0 + g_1 V + g_2 S_0 + g_{11} V^2 + g_{22} S_0^2 + g_{12} VS_0 \leq TY; \quad (7)$$

$$\ell_0 + \ell_1 V + \ell_2 S_0 + \ell_{11} V^2 + \ell_{22} S_0^2 + \ell_{12} VS_0 \leq [R_z]; \quad (8)$$

$$V_{\min} \leq V \leq V_{\max}; \quad S_{\min} \leq S \leq S_{\max}; \quad (9)$$

имеются такие значения  $B_{RC}, B_{RK}, B_U, B_{\delta_1}, B_{\delta_2}$ ,

при которых критерий оптимальности

$$BF_K(B_{RC}, B_{RK}, B_U, B_{\delta_1}, B_{\delta_2}) \rightarrow \text{макс.} \quad (IO)$$

и выполняются условия:

$$G_{MK}(B_{RC}, B_{RK}, B_U, B_{\delta_1}, B_{\delta_2}) \geq \frac{K_{MK} M_{KP}(V, S_0)}{R^3 T_K}; \quad (II)$$

$$D_{\text{змн}}(B_{RC}, B_{RK}, B_U, B_{\delta_1}, B_{\delta_2}) \geq \frac{K_{PK} (\mu L_1)^2 P_0(V, S_0)}{\beta^2 E R^4}; \quad (I2)$$

$$BF_K(B_{RC}, B_{RK}, B_U, B_{\delta_1}, B_{\delta_2}) > BF_K \text{ мин}; \quad (I3)$$

$$(B_{F_K}^3 + B_{F_K}^5 / B_{F_K}') (B_{RC}, B_{RK}, B_U, B_{\delta_1}, B_{\delta_2}) \leq$$

$$< Q_U / K_Q \sqrt{Q_{176} \cdot 10^{-3} f S_0 V B_d^2 B_L (1 + 1,42 \cdot 10^{-8} n_c^2 d) \frac{T_{CM}}{T_{SOX}}}; \quad (I4)$$

$$\frac{\xi_{kp}}{B_{F_K}^2} (B_{RC}, B_{RK}, B_U, B_{\delta_1}, B_{\delta_2}) \leq \frac{P_U R^4}{1,4 \cdot 10^{-3} T_{SOX} Q^2(V, S_0)}; \quad (I5)$$

$$0,40 \leq B_{RK} \leq 1,60; \quad B_{\delta_1} \leq B_{RC} \leq 0,60; \quad 0,5 \pi \leq B_U \leq 0,8 \pi; \quad (I6)$$

$$0,10 \leq B_{\delta_1} \leq 0,70; \quad 0,10 \leq B_{\delta_2} \leq 0,70$$

ла стебля, МПа;  $Q_y$  и  $P_y$  - соответственно расход и давление СОЖ, обесечиваемых насосной установкой, л/мин и МПа;  $K_Q$  - коэффициент надежности стружкоудаления;  $f$  - коэффициент трения (сцепления) стружки в канавках ТИС;  $\Pi_c$  - частота вращения сверла, 1/сек;  $\zeta_{стру}$  и  $\zeta_{СОЖ}$  - соответственно удельный вес стружки и СОЖ, кг/м<sup>3</sup>;  $\zeta_{Snp}$  - приведенные потери давления СОЖ.

По своей структуре (I-16) является моделью многокритериальной задачи оптимизации с ограничениями, в число которых ограничение на конструкцию ТИС (IO-16) входит в виде подзадачи оптимизации его конструктивных параметров. Оптимизация режущей части ТИС отражена в уравнении стойкости (2), получаемом на основе экспериментальных исследований. В качестве критерия оптимальности режимов скоростного сверления, предоставленного в модели в виде целевой функции (1), принята переменная часть приведенных хозрасчетных затрат, зависящих от режимов сверления. Условия обработки отражены в виде ограничений по стойкости (3), производительности (4), качеству обработки отверстий (5-8) и возможным пределам изменения режимов сверления (9).

Ограничение на конструкцию ТИС (IO-16) представлено в виде модели подзадачи оптимального проектирования, решение которой сводится к определению оптимальных значений конструктивных размеров профиля ТИС. Все функциональные зависимости, входящие в (IO-16), представлены в виде безразмерных параметров. В качестве критерия оптимальности размеров профиля принят один из основных конструктивных параметров ТИС, определяющих условия стружкоудаления при обработке отверстий малого диаметра - площадь проходного сечения стружечных канавок  $F_K$  (коэффициент площади  $-BF_K$ ). Ограничения (II-16) определяют условия прочности ТИС (II-12), условия стружкоудаления (I3-I5) и возможные пределы изменения конструктивных размеров профиля (I6). Функциональные зависимости целевой функции (10) и ограничений (II-15) представлены в модели подзадачи (IO-16) в неявном виде и реализованы при ее решении на ЭВМ в форме алгоритмов вычисления отдельных безразмерных величин.

В такой постановке решение задачи оптимизации сводится к определению оптимальных параметров процесса (операции) - режимов сверления и конструктивно-геометрических параметров ТИС, а также необходимых параметров подвода СОЖ.

В связи со сложностью задачи (I-16), ее решение на ЭВМ СМ-4 производилось в два этапа в режиме диалога.

На первом этапе определялась область допустимых режимов сверления и координата условной точки оптимального режима сверления без ограничений (10-16) на конструкцию ТИС. При этих условиях она образуется в плоскости  $S_0 - V$  (рис.4) линиями ограничений по производительности [П], стойкости [Т], качеству обработки отверстий  $T_d \cdot T_u [R_2]$  и линиями возможных пределов изменения режимов сверления -  $V_{\min} [S_{0\min}]$ ,  $V_{\max} [S_{0\max}]$ . Координата условной точки оптимального режима сверления находится на верхней границе допустимой области и для случая, приведенного на рис.4,а, такой точкой является точка В. В этой точке линия  $(\theta_B)$  является касательной к линии ограничения по стойкости [Т]. Установлено, что координата условной точки оптимального режима сверления в этой области может иметь самые различные положения и находиться в точках пересечения различных ограничительных линий (рис.4,б) с линией "производительность - стойкость" (линия  $R-T$ ), в точках пересечения различных ограничительных линий или в точках линии  $C'-C''$  (рис.5).

На этом этапе после введения исходных данных в ЭВМ осуществляется построение графика области допустимых режимов сверления, который выводится на экран дисплея или на печать. По графику определяется точка оптимального режима сверления (точка В).

На втором этапе осуществлялся поиск оптимальных конструктивных размеров профиля ТИС - решалась подзадача оптимизации конструктивных параметров ТИС. Ее решение начиналось при режиме сверления, соответствующему условной точке (точка В), определенной на первом этапе. Если при заданных условиях не удается найти оптимальные значения конструктивных размеров ТИС (не выполняется какое-либо ограничение на проектирование), то на графике (рис.5) допустимой области имеется новая условная точка оптимального режима сверления путем движения с определенным шагом по линии  $R-T$ . Решение повторяется до тех пор, пока не будет решаться подзадача оптимизации конструктивных параметров ТИС (точка С) и, соответственно, не будут определены оптимальные конструктивные размеры профиля.

На этом этапе на экране дисплея или печати осуществляется построение профиля ТИС и выводится все значения параметров и показателей проектируемой операции.

В результате решения определены на ЭВМ оптимальные режимы сверления, оптимальные конструктивные размеры ТИС и показатели различных процессов скоростного сверления отверстий диаметром 7,0+0,3 мм в клапане выпуска (ЧАМЗ) и отверстий диаметром 3,8+0,1 мм в блоке (ВМЗ).

Область допустимых режимов сверления (а)  
и возможное положение координат (б) условных  
точек оптимальных режимов сверления без  
ограничений на конструкцию ТИС

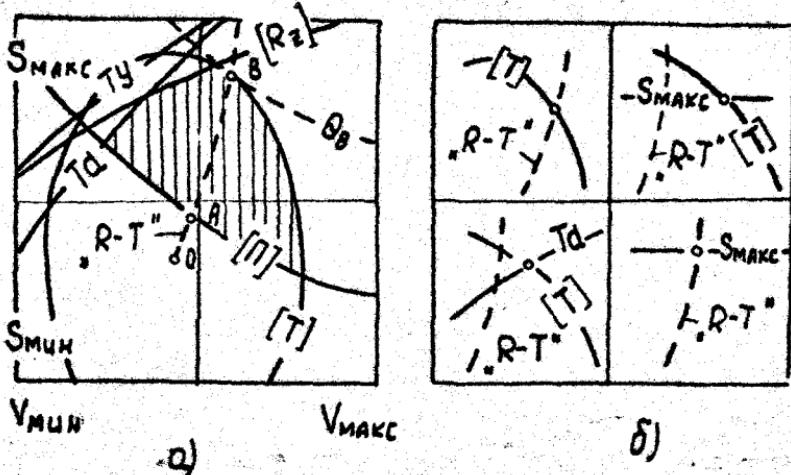


Рис.4

Область допустимых режимов скоростного сверления  
и возможное положение координат условных точек  
оптимальных режимов с учетом ограничений  
на конструкцию ТИС

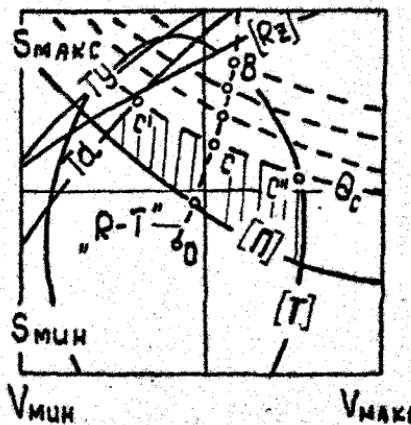


Рис.5

0330316

В шестой главе приведены расчеты экономической эффективности процессов скоростного сверления, разработаны практические рекомендации по их применению и методика проектирования операций скоростного сверления отверстий малого диаметра ТИС на ЭВМ. Установлено, что по сравнению с процессами сверления спиральными сверлами применение скоростного сверления ТИС приводит к увеличению производительности обработки в 2...7 раз, стойкости ТИС в 2...5 раз и качества обработки отверстий (повышение диаметральной точности на 1...3 квалитета, снижение уводов осей отверстий на 20...50% и снижение шероховатости поверхности в 1,5...3,0 раза).

Результаты работы внедрены на Высокогорском механическом заводе (ВМЗ), Челябинском ПО "Завод имени Орджоникидзе" (ПОЗИО), использованы на Челябинском автомеханическом заводе (ЧАМЗ) и включены в "Общемашиностроительные нормативы режимов резания для технического нормирования работ на металлорежущих станках" (Обработка отверстий. Часть 4, 1987, 1-ая редакция). Экономический эффект от внедрения результатов работы составил 62,5 тысячи рублей (без учета экономического эффекта от внедрения нормативов).

### Выводы

1. Установлено, что эффективность операций обработки отверстий малого диаметра в деталях повышенной твердости и прочности можно повысить за счет дальнейшего совершенствования технологии скоростного сверления ТИС с подводом ССЖ в зону резания под давлением, в основе которого используется способ формирования стружки малого сечения среза.

2. Определены пути совершенствования технологии скоростного сверления ТИС:

- изготовление трубчатого корпуса из толстостенных труб с переменной толщиной стенок профиля по периметру и изменение формы заточки режущей части с учетом особенностей работы ноперечной режущей кромки в условиях скоростного сверления;

- оптимизация режимов сверления и конструктивных и геометрических параметров ТИС.

3. Разработана математическая модель задачи оптимизации процесса скоростного сверления ТИС, которая по своей структуре является задачей оптимизации режимов скоростного сверления с ограничениями, в число которых ограничения на конструкцию ТИС входят в виде подзадач оптимизации его конструктивных и геометрических параметров.

Разработана методика решения задачи оптимизации, предусматривающая проведение экспериментальных и теоретических исследований.

4. Впервые выполнены экспериментальные исследования процесса скоростного сверления отверстий диаметром 7,0+0,3 мм в клапане выпуска в широком диапазоне изменения скоростей резания и подач, на основе которых подтверждена эффективность применения в условиях скоростного сверления заточки ТИС по двум плоскостям и определены стойкостные и качественные зависимости, необходимые для оптимизации процесса обработки этих отверстий (ЧАМЗ).

5. Впервые выполнены экспериментальные исследования процесса скоростного сверления отверстий диаметром 3,8+0,1 мм в блоке в широком диапазоне изменения скоростей резания и подач, на основе которых установлена принципиальная возможность изготовления ТИС малого диаметра из толстостенных труб за счет изменения толщины стенок профиля по периметру, изучены особенности изготовления ТИС такой конструкции и определены стойкостные и качественные зависимости, необходимые для оптимизации процесса обработки этих отверстий (БМЗ).

6. Выполнены теоретические исследования математической модели многокритериальной задачи оптимизации, получены функциональные зависимости критериев оптимальности и ограничений, разработаны алгоритм и программа ее решения на ЭВМ.

7. Установлено, что применение процессов скоростного сверления ТИС на операциях обработки отверстий малых диаметров (3,5...10 мм) в деталях повышенной твердости и прочности способствует повышению производительности обработки (в 2...7 раз), стойкости сверл (в 2...5 раз) и качества обработки отверстий (повышение диаметральной точности на 1...3 квалитета, снижение уводов осей отверстий на 20...50% и снижение шероховатости поверхности в 1,5...3,0 раза) по сравнению с процессами сверления спиральными сверлами из быстрорежущих сталей.

8. На основе выполненных исследований определены технологические возможности процесса скоростного сверления ТИС и разработаны практические рекомендации по их применению при обработке отверстий диаметром 3,5...10 мм в деталях повышенной твердости и прочности.

9. Результаты выполненных исследований внедрены в производство с общим экономическим эффектом 62,5 тысяч рублей.

Основное содержание диссертации изложено в работах автора:

I. Мясников Ю.И., Астанин В.Н., Триказ Е.М. Скоростное сверление отверстий малого диаметра твердосплавными сверлами с подводом смазывающе-охлаждающей жидкости в зону резания // Технология машиностроения: Сб. науч. пр.- Тула: ТИИ, вып.23, 1971. - С.29-34.

2. Дыхнов А.Е., Мясников В.И. Расчет на кручение полого стебля прямоканавочного сверла // Прогрессивная технология чистовой и отделочной обработки: Сб.науч.тр.- Челябинск: ЧИИ, №II4, 1972.- С.31.
3. Мясников В.И. Повышение прочности и жесткости трубчатых твердосплавных сверл // Прогрессивная технология чистовой и отделочной обработки: Сб.науч.тр.- Челябинск: ЧИИ, №II4, 1972.- С.33-35.
4. Мясников В.И. Пути улучшения качества заточки трубчатых перовых сверл // Прогрессивная технология чистовой и отделочной обработки: Сб.науч.тр.- Челябинск: ЧИИ, №II4, 1972.- С.36-39.
5. Мясников В.И. Эффективность применения заточки перовых твердосплавных сверл по двум плоскостям // Прогрессивная технология чистовой и отделочной обработки: Сб.науч.тр.- Челябинск: ЧИИ, №I45, 1974.- С.72-74.
6. Мясников В.И. Аналитическое определение параметров подвода СОЖ при скоростном сверлении // Прогрессивная технология чистовой и отделочной обработки: Сб.науч.тр.- Челябинск: ЧИИ, 1974.- С.75-78.
7. Мясников В.И., Дыхнов А.Е. Оптимизация конструктивных параметров трубчатых перовых сверл // Прогрессивная технология чистовой и отделочной обработки: Сб.науч.тр.- Челябинск: ЧИИ, 1978.- С.34-36.
8. Мясников В.И. Рациональная конструкция оснастки и инструмента для обработки отверстий малого диаметра // Прогрессивная технология чистовой и отделочной обработки: Сб.науч.тр.- Челябинск: ЧИИ, №249, 1980.- С.39-41.
9. Мясников В.И., Лакирев С.Г. Вопросы оптимизации конструктивно-геометрических параметров ТПС // Прогрессивная технология чистовой и отделочной обработки: Сб.науч.тр.- Челябинск: ЧИИ, №249, 1980.- С.34-36.
10. Мясников В.И. Математическая модель задачи комплексной оптимизации процесса скоростного сверления // Прогрессивная технология чистовой и отделочной обработки: Сб.науч.тр.- Челябинск: ЧИИ, №278, 1982.- С.16-18.
11. Мясников В.И. Комплексная оптимизация процесса скоростного сверления // Оптимизация режимов обработки на металлорежущих станках: Тез.докт.- Челябинск: УДНП, 1984.- С.24-25.
12. Мясников В.И. Модернизация вертикально-сверлильного станка 2Н118 // Прогрессивная технология чистовой и отделочной обработки: Сб.науч.тр.- Челябинск: ЧИИ, 1984.- С.86-89.
13. Мясников В.И., Циганков С.В. Алгоритм решения задачи оптимизации процесса скоростного сверления//Прогрессивная технология чистовой и отделочной обработки: Сб.науч.тр.-Челябинск: ЧИИ, 1986.-С.85.

3/12-6