МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ТЮМЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НЕФТЕГАЗОВЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

На правах рукописи

Чернышов Михаил Олегович

ПОВЫШЕНИЕ РАБОТОСПОСОБНОСТИ СБОРНЫХ СВЕРЛ НА ОСНОВЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ И ПРОЧНОСТИ РЕЖУЩИХ ТВЕРДОСПЛАВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Специальность 05.02.07 – «Технология и оборудование механической и физико-технической обработки»

Диссертация на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Научный руководитель –
Доктор технических наук,
Профессор Е.В. Артамонов

Тюмень – 2015

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ…….. 4
ГЛАВА 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О СБОРНЫХ СВЕРЛАХ……. 11
1.1 Проблемы прочности и работоспособности сборных сверл……. 11
1.2 Понятие работоспособность режущего инструмента……. 16
1.3 Применение сборного инструмента для обработки отверстий……. 19
1.4 Геометрические параметры разных видов сверл…… 32
1.5 Патентный анализ конструкций сборных сверл……. 39
1.6 Радиальные колебания и неуравновешенные радиальные силы резания сверл разных видов…… 42
1.7 Предпосылки к расчету прочности режущей части инструмента……. 49
1.8 Цель, задачи и этапы исследований……. 52
ГЛАВА 2. МЕТОД РАСЧЕТА НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ И ПРОЧНОСТИ СМЕННЫХ ТВЕРДОСПЛАВНЫХ РЕЖУЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ СБОРНЫХ СВЕРЛ……. 55
2.1 Расчет сил резания ……..…….. 55
2.2 Задание граничных условий и расчет сил резания при сверлении сверлами разных видов…… 59
2.3 Тестовые задачи …… 68
2.3.1 Тестовая задача №1 «Задача силового нагружения вершины клина»……. 68
2.3.2 Тестовая задача №2 «Кручение стержня с круглым поперечным сечением»…….. 72
2.4 Выбор критерия прочности……...…… 74
2.5 Выводы ……..…….. 78
ГЛАВА 3. ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ И ПРИЧНОСТИ СМЕННЫХ РЕЖУЩИХ ПЛАСТИН СБОРНЫХ СВЕРЛ 79
3.1 Построение расчетных моделей СРП с учетом граничных условий нагружения…… 79
3.2 Анализ схем крепления и базирования центральной и

периферийной пластин сборных сверл…….. 82
3.3 Исследование влияния формы и схемы базирования СРП сборных сверл на их напряженное состояние и прочность……. 85
3.4 Выводы …..……. 107
ГЛАВА 4. ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ И ПРИЧНОСТИ СМЕННЫХ РЕЖУЩИХ ГОЛОВОК СБОРНЫХ СВЕРЛ.. 109
4.1 Имитационное моделирование радиальных колебаний сверл со сменными режущими головками…… 109
4.2 Построение расчетных моделей сменных режущих головок с учетом граничных условий нагружения……. 111
4.3 Напряженное состояние и прочность сменных режущих головок сборных сверл…….. 113
4.4 Выводы…… 121
ГЛАВА 5. ПРАКТИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ……. 123
5.1 Выбор, расчет и проектирование сменных режущих твердосплавных элементов сборных сверл повышенной работоспособности …….. 123
5.2 Разработанные и запатентованные конструкции сменных режущих пластин и сборных сверл повышенной работоспособности…… 125
5.2.1 Сменная режущая пластина повышенной прочности (Пат. №2531336)…….. 126
5.2.2 Сборное сверло с режущими пластинами (Пат. №2539255)…… 128
5.2.3 Сборное сверло со сменной режущей головкой повышенной прочности (Заявка на пат. № 2014132270 от 05.08.2014)…….. 129
5.3 Результаты производственных испытаний созданных сборных сверл 131
5.4 Выводы…….. 134
ЗАКЛЮЧЕНИЕ…… 135
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ……... 137
ПРИЛОЖЕНИЯ…… 149

ВВЕДЕНИЕ

С целью формирования в России отрасли станкоинструментальной промышленности, конкурентоспособной на внутреннем рынке и восстановления технологической независимости российского машиностроения правительством РФ 15 апреля 2014 года было принято постановление №328 об утверждении государственной программы «Развитие промышленности и повышение ее конкурентоспособности».

В настоящее время для обработки отверстий, как правило, используют импортный металлорежущий инструмент фирм: Sandvik Coromant, Mitsubishi, Walter и Iscar и др. В современных условиях импортозамещения невозможно обеспечить хозяйственную деятельность страны без использования оборудования и инструментов отечественного производства.

Одним из важнейших элементов подъема эффективности производства, гарантирующих качество, является совершенствование технологии механической обработки, на основе применения высокоэффективных конструкций режущего инструмента. Работоспособность режущего инструмента существенно влияет на качество обработки, производительность, экономическую эффективность и конкурентоспособность производства. В настоящее время, самыми эффективными являются режущие инструменты, оснащенные режущими элементами из инструментальных твердых сплавов. Твердый сплав – хрупкий материал, поэтому главной проблемой эксплуатации твердосплавных инструментов является проблема их прочности.

Таким образом, задача совершенствования конструкций сборных сверл, оснащенных режущими элементами из инструментальных твердых сплавов с целью существенного повышения работоспособности сборных инструментов и прочности их режущих элементов является актуальной.

Методы исследования. Разработан метод численного исследования напряженного состояния и расчета прочности сменных режущих твердосплавных элементов на основе конечных элементов. Исследования НС и прочности режущих элементов сборных сверл осуществлялись автором с использованием программы «T-Flex Анализ» с применением конечных элементов. Экспериментальные исследования включали изучение силового нагружения, разрушения и работоспособности режущих твердосплавных элементов сборных инструментов.

Достоверность. Испытания разработанных сборных сверл проводились в лабораторных и производственных условиях на предприятиях машиностроительной и нефтегазовой отрасли. В качестве критерия для оценки работоспособности сборных сверл использовался путь резания (количество просверленных отверстий). Повышение эффективности механической обработки за счет повышения работоспособности сборных сверл подтверждено результатами производственных испытаний и внедрением разработанных методик на производстве.

Научная новизна работы:

1. Разработан метод численного исследования напряженного состояния и расчета прочности сменных режущих твердосплавных элементов на основе конечных элементов для обеспечения максимальной работоспособности сборных сверл путем снижения величины опасных напряжений растяжения σ_1 в режущих лезвиях, посредством оптимизации конструктивных параметров.

2. В результате численного исследования напряженно-деформированного состояния и прочности сменных режущих элементов сборных сверл установлено:

- в режущих лезвиях сборных сверл вдоль главной режущей кромки наличие максимальных напряжений растяжения σ_1, опасных для режущих элементов из инструментальных твердых сплавов;

- в сменных режущих твердосплавных пластинах сборных сверл увеличение угла при вершине ε и применение схемы базирования и крепления пластин в угловой паз корпуса инструмента по двум боковым поверхностям так, чтобы одна из них приходилась на вспомогательную режущую кромку, обеспечивающая существенное снижение опасных напряжений растяжения σ_1 в режущем лезвии;

- с увеличением радиального биения вспомогательных режущих кромок сменной режущей головки сборного сверла прямо пропорционально растут опасные напряжения растяжения σ_1 в режущих лезвиях, и, соответственно, снижается прочность;

- введение в конструкцию головки сверла главной режущей кромки, формируемой из трех и более участков прямых, с различными углами в плане φ на каждом участке, которые уменьшаются от центра к периферии, обуславливает снижение величин опасных напряжений растяжения σ_1, по причине уменьшения зоны контакта периферийной части режущего лезвия с обработанной поверхностью отверстия.

3. Установлено, что по картинам изолиний опасных напряжений растяжения σ_1 определяются границы предельных поверхностей хрупкого разрушения сменных режущих твердосплавных головок сборных сверл, траектории которых хорошо описываются геометрической моделью критерия прочности Писаренко-Лебедева.

Практическая значимость результатов исследования

1. Разработана методика выбора, расчета и проектирования сменных режущих твердосплавных элементов и сборных сверл повышенной работоспособности.

2. Разработана новая сменная режущая твердосплавная пластина повышенной прочности с увеличенным углом при вершине ε, защищенная патентом РФ на изобретение (Пат. № 2531336).

3. Разработана конструкция сборного сверла со сменными режущими пластинами с увеличенным углом при вершине ε и схемой базирования пластин в угловой паз, при котором усилие закрепления совпадает по направлению с результирующей силой резания (Пат. № 2539255).

4. Разработан ранжированный ряд сменных режущих пластин (СРП) разных форм по прочности для сборных сверл ведущих инструментальных фирм мира.

5. Разработана конструкция сборного сверла с режущей твердосплавной головкой с главной режущей кромкой, сформированной из трех и более участков прямых с различными углами в плане φ на каждом участке, при этом углы φ уменьшаются от центра к периферии (Подана заявка на патент на изобретение № 2014132270 от 05.08.2014).

6. Разработанная методика и новые запатентованные технические решения переданы для внедрения в ОАО ПИИ «Газтурбосервис», ООО «Тюменьстальмост», ОАО «Сибнефтепровод: Тюменский Ремонтно-механический завод».

7. Результаты исследований используются в учебном процессе подготовки студентов по специальностям: «Технология машиностроения» и «Металлообрабатывающие станки и комплексы», и направлениям бакалавров и магистров: «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств» и «Технологические машины и оборудование».

Апробация работы и публикации

Основные результаты диссертационной работы докладывались автором на VI научно-технической конференции с международным участием «Новые материалы, неразрушающий контроль и наукоемкие технологии в машиностроении» (Тюмень, 2012 г.), на Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, посвященной 50 – летию Тюменского индустриального института «Новые

технологии нефтегазовому региону» (Тюмень, 2013 г.), на Молодежном научно-инновационном конкурсе «УМНИК-2013» (Тюмень, 2013 г.), на Международной научно-технической конференции, посвященной 50-летию Тюменского индустриального института (Тюмень, 2013 г.).

Всего опубликовано 13 печатных работ, в том числе 3 работы в изданиях, рекомендованных ВАК Российской Федерации, 1 статья в журнале, индексируемом в базе данных SCOPUS, 2 патента РФ на изобретение.

Личный вклад автора заключается в непосредственном проведении исследований, анализе данных и установлении факторов, влияющих на повышение работоспособности сборных сверл со сменными режущими элементами из инструментальных твердых сплавов, а также проведении расчетов, в обработке и анализе полученных результатов, разработке конструкций сборных сверл, оформлении положений и выводов, выносимых на защиту, подготовке публикаций по данной теме.

В первой главе приведен литературный обзор результатов экспериментальных и теоретических исследований по теме диссертации.

Проблемой работоспособности режущего инструмента занимались ученые: В.Ф. Бобров [22], В.Ф. Безъязычный, А.И. Бетанели [20], С.А. Васин [24], А.С.Верещака [25], А.А. Виноградов [27], Г.И. Грановский [36], В.А. Гречишников [37], С.Н. Григорьев [39], В.И. Гузеев [41], С.Н. Даниелян [42], А.Е. Древаль, Н.Н. Зорев [43], С.В. Кирсанов [46], В.С. Кушнер [26], Д.В. Кожевников [49], Т.Н. Лоладзе [53], А.Д. Макаров, Д.К. Маргулис, И.А. Мирнов, И.А. Ординарцев [61], В.А. Остафьев [62], С.И Петрушин [66], Ю.Е. Петухов [68], А.Ю. Попов [73], В.Н. Подураев [71], М.Ф. Полетика [75], Ю.А.Розенберг [78], В.А. Рогов, А.Н. Резников [76], В.К. Старков [90], С.С. Силин, Н.В. Талантов, С.И. Тахман [79], В.Г. Шаламов [99], Ю.В. Щепетильников, И.А. Щуров [101], А.С. Ямников. В этом направлении работали также М.Х. Утешев [93], Е.В. Артамонов [2], Ю.И. Некрасов, В.Д. Самохвалов [82], Б.В. Барбышев, И.А. Ефимович и др.

В настоящее время на практике применяют три основных вида твердосплавных сверл: 1. - Цельные сверла и сверла с напайной твердосплавной режущей вставкой; 2. - Сборные сверла со сменными режущими пластинами; 3. - Сборные сверла со сменными режущими головкам. Причем сверла со сменными твердосплавными режущими головками, так же как и цельные твердосплавные сверла, работают на средних скоростях резания с повышенными подачами, а сверла с механическим креплением режущих пластин применяют при высоких скоростях резания с меньшими подачами (по данным Mitsubishi, Walter и Sandvik Coromant).

На основании критического литературного и информационного анализа сформулированы цель и задачи диссертационной работы.

Во второй главе приведен метод численного исследования напряженного состояния и расчета прочности сменных режущих твердосплавных элементов сборных сверл на основе конечных элементов, который включает в себя: определение сил резания; удельных нагрузок; построение конечно-элементных трехмерных моделей сменных режущих твердосплавных элементов сборных сверл; расчет НС режущих элементов с применением метода конечных элементов (МКЭ); расчет коэффициента запаса прочности режущих элементов.

Возможность использования МКЭ была доказана на тестовой задачах о нагружении клина силой, приложенной к вершине, и кручении стержня с круглым поперечным сечением. Сравнение результатов аналитического решения и с применением МКЭ показало их совпадение с точностью, допустимой для инженерных расчетов.

В третьей главе приведены результаты численного исследования влияния форм, схем базирования и крепления сменных режущих элементов сборных сверл на их напряженное состояние и прочность. Полученные данные приведены в виде картин изолиний главных напряжений σ_1. По результатам расчетов

проведены качественный и количественный анализы влияния условий нагружения, конструктивных параметров СРП, схем базирования на напряженноое состояние и прочность.

В четвертой главе приведены результаты, полученные с применением разработанного метода численного исследования напряженного состояния сменных режущих твердосплавных головок сборных сверл. Полученные данные приведены в виде картин изолиний главных напряжений σ_1.

В пятой главе изложена практическая реализация результатов работы. На основании результатов исследования разработан алгоритм выбора и расчета конструктивных параметров сменных режущих элементов и сборных сверл повышенной работоспособности. Представлены разработанные конструкции сборных сверл со сменными режущими элементами повышенной прочности, а также результаты производственных испытаний, которые подтвердили повышение работоспособности инструмента.

ГЛАВА 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О СБОРНЫХ СВЕРЛАХ

1.1 Проблемы прочности и работоспособности сборных сверл

Практика эксплуатации сборных инстументов, в том числе для обработки отверстий, показывает, что его работоспособность во многом определяется инструментальным материалом, режимами резания, а также способом базирования, крепления и геометрических параметров режущего элемента.[2]

В ходе анализа каталогов основных фирм производителей сборного инструмента (Sandvik, Walter, Mitsubishi и т.д.), было определено, что все сборные сверла можно условно поделить на два вида, как представлено на рисунке 1. [28], [60],[83],[84]:

а) Сборные сверла со сменными режущими головкам;

б)Сборные сверла со сменными режущими центральной и периферийной пластинами.

а б

Рисунок 1 - Сборные сверла фирмы Sandvik Coromant

Анализ статистики и видов разрушения сменных режущих головок и сменных режущих пластин сборных сверл, представленный на рисунках 2 и

3, показал, что их разрушение имеет хрупкий характер. Так, по материалам ООО «Тюменьстальмост» и ПИИ ОАО «Газтурбосервис» на долю отказов в результате скалывания, выкрашивания и поломок приходится 80% для твердосплавных режущих головок и 65% для сменных режущих пластин сборных сверл.

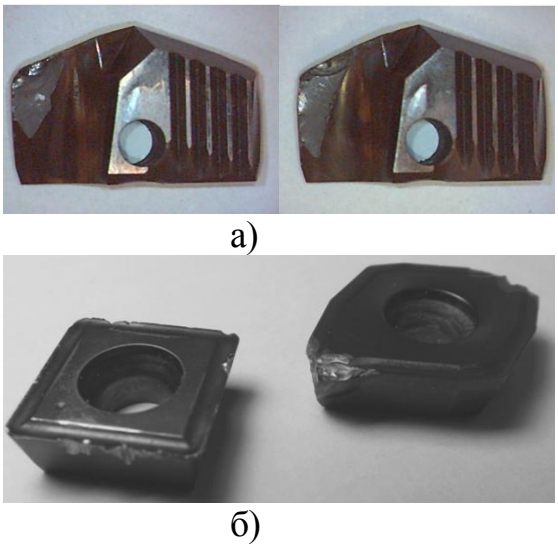


Рисунок 2– Разрушение сменных режущих элементов сборных сверл: а) головок; б) пластин

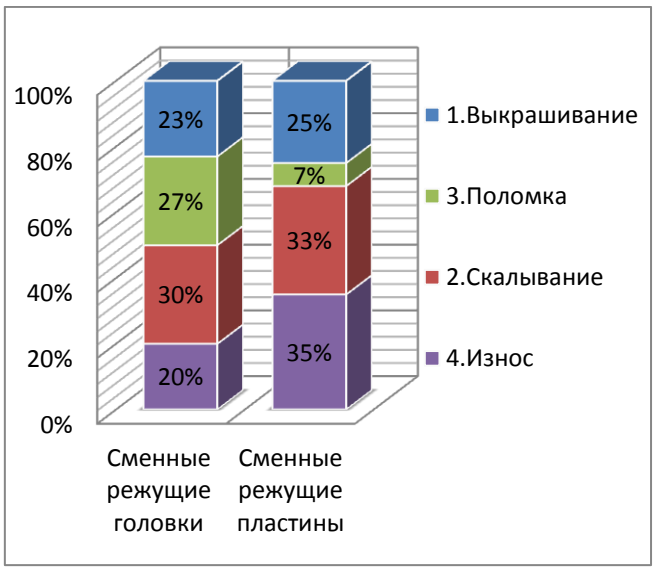


Рисунок 3 – Доли отказов сменных режущих элементов сборных сверл

Специалисты шведской фирмы Sandvik Coromant [60],[83],[103] провели анализ характера и причин износа и разрушения режущих центральной и периферийной пластин сборных сверл. Как представлено на рисунке 4 каждой пластине соответствует свой тип и характер разрушения:

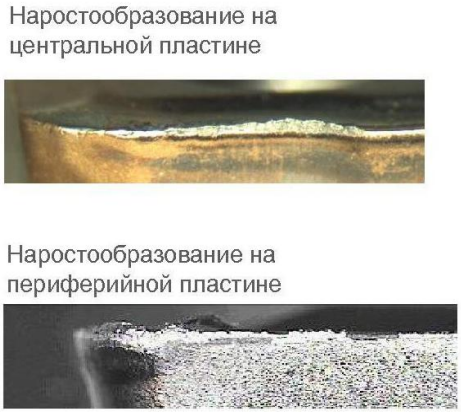
а) пластическая деформация и износ по задней поверхности происходит при слишком высокой скорости резания или слишком "мягкого" твердого сплава;

б) кратерный износ – наиболее распространенный вид износа, возникающий на передней поверхности периферийной пластины вследствие слишком высокой температуры в зоне резания. На центральной пластине вследствие наростообразования или намазывания стружки, что не характерно

для режущих головок, в виду различий в геометрии центральной части сверла;

а) Пластическая деформация
и износ по задней поверхности
периферийной пластины

б) Кратерный износ
по передней поверхности
центральной и периферийной пластин



в) Наростообразование на
центральной и периферийной пластине

г) Выкрашивание режущей
кромки центральной пластины

Рисунок 4- Характерные виды износа и разрушения сменных режущих пластин сборных сверл по данным Sandvik Coromant

в) наростообразование, также может возникнуть при обработке низкоуглеродистых или нержавеющих сталей;

г) выкрашивание режущей кромки центральной или периферийной пластины, может возникнуть из-за: несоосности оси сверла и оси вращения инструмента; увода сверла, вызванного чрезмерным вылетом, подачей или глубиной сверления; недостаточной надежности крепления пластины; недостаточной жесткости сверла в результате неправильного крепления, а так же плохого состояния шпинделя или неточной регулировки; неправильно подобранного сплава и геометрии центральной и периферийной пластин.

Режущие головки из твердого сплава имеют относительно большие размеры, и они, как правило, не разрушаются в результате поломки, в отличие от режущих пластин второго типа сборных сверл.

Анализ статистики видов разрушения режущих элементов сборных сверл со сменными режущими головками в производственных условиях по материалам ООО "Тюменстальмост" показал, что на долю отказов в результате скалывания и выкрашивания твердого сплава режущих головок приходится 80%.

По данным В.А.Остафьева [62] внутриконтактные выкрашивания, сколы, изломы режущей кромки появляются из-за повышенных режимов резания. В этой же работе сделан вывод, что поломка режущего элемента из твердого сплава, в основном, зависит от подачи, а внутриконтактные выкрашивания, сколы, изломы - от скорости (температуры) резания.

На основании всего вышеперечисленного, можно утверждать, что в независимости от типа сборного сверла, основными причинами определяющими характер разрушения и износа режущих элементов таких инструментов являются:

- высокие силовые и температурные нагрузки;
- недостаточная износостойкость и прочность твердого сплава;
- неоптимальные геометрические и конструктивные параметры.

Режущая головка № 1
сверла STAW (Mitsubishi)

Режущая головка № 2
сверла STAW (Mitsubishi)

Режущая головка №4
сверла STAW (Mitsubishi)

Режущая головка №3
сверла Xtra-tec (Walter)

Режущая головка №5
сверла Xtra-tec (Walter)

Рисунок 5 - Характерные виды износа и разрушения режущих головок сборных сверл по материалам ООО "Тюменьстальмост"

Таким образом, анализ отказов при работе сборных сверл показал, что необходимо оптимизировать конструктивные, геометрические параметры и

условия нагружения режущих элементов из твердых сплавов, этих инструментов, на основе исследования напряженно состояния [12],[13].

1.2 Понятие работоспособности режущего инструмента

В современных условиях повышения уровня автоматизации процессов механической обработки работоспособность режущего инструмента в решающей мере определяет надежность обеспечения технико-экономической эффективности производства [2],[6],[39].

Стандартные термины и определения, относящиеся к надежности режущего инструмента, приведены в ГОСТ 25751-83. Так, стандартное определение термина «работоспособность режущего инструмента» звучит, как: «Работоспособное состояние режущего инструмента (лезвия) – это состояние режущего инструмента (лезвия), при котором выполняется обработка резанием при установленных условиях с установленными требованиями». При этом, состояние режущего инструмента характеризуют совокупностью значений его параметров (например, значениями заднего и переднего углов, износа по задней поверхности лезвия и т.д.).

В работе профессора Верещаки А.С. [25] сформулировано нестандартное понятие работоспособности режущего инструмента: «это такое его состояние, при котором он способен выполнять свои функции, имея износ рабочих поверхностей, меньший критериального значения».

Хает Г.Л. [89] утверждал, что работоспособность инструмента – это способность осуществлять процесс резания с заданной производительностью и качеством обработки, а отказ – событие, заключающееся в нарушение работоспособности.

В своей работе профессор Старков В.К. [87] подвердил, что функциональное назначение режущего инструмента - сохранять свою работоспособность в течение заданного времени резания. Потеря

работоспособности в период запланированного времени его эксплуатации – это отказ инструмента с негативными последствиями для процесса резания.

Рисунок 6 – Классификация отказов режущей части инструмента [39]

Отказ режущего инструмента (лезвия) по ГОСТ 25751-83 – это событие, заключающееся в отклонении от установленных значений хотя бы одного из параметров режущего инструмента, характеризующих его работоспособное состояние, требований или характеристик обработки, выполняемой этим инструментом. При этом различают внезапный и постепенный отказ режущего инструмента (лезвия). Внезапный отказ режущего инструмента (лезвия) – это отказ режущего инструмента (лезвия), наступающий вследствие его разрушения. Постепенный отказ режущего инструмента (лезвия) – это отказ режущего инструмента (лезвия), наступающий после достижения постепенно изменяющимся значением хотя бы одного из его установленных параметров, требований или характеристик обработки критерия отказа. Критерий отказа режущего инструмента (лезвия)

– признак неработоспособного состояния, характеризуемый значением какого-либо параметра инструмента, требования или характеристики обработки, выполняемой инструментом, после достижения которого наступает его отказ.

В нашем случае работоспособность сборных сверл со сменными режущими твердосплавными элементами можно определить как способность инструмента осуществлять процесс сверления с целью получения отверстий требуемого диаметра, с требуемым качеством обработанной поверхности, с требуемой производительностью. Одним из критериев работоспособности сборных сверл является наработка на отказ их сменных твердосплавных режущих элементов. Повысить работоспособность можно за счет снижения вероятности отказов сменных твердосплавных режущих элементов из-за разрушений их режущих лезвий (поломок, выкрашивания и скалывания). Добиться этого можно за счет выбора оптимального варианта на основе сравнительного анализа напряженного состояния и прочности сменных твердосплавных режущих элементов (разных форм, с различными схемами установки и базирования, предлагаемые разными фирмами).

В соответствии с определением, приведенном в Большой советской энциклопедии, [87] *оптимизация* – это *процесс нахождения экстремума* (глобального максимума или минимума) определённой функции *или выбора наилучшего (оптимального) варианта из множества возможных*. Наиболее надёжным способом нахождения наилучшего варианта является сравнительная оценка всех возможных вариантов (альтернатив).

Практика эксплуатации сменных режущих твердосплавных элементов сборных инструментов показала, что их работоспособность во многом определяется инструментальным материалом, способом базирования и крепления, формой и типом используемых сменных режущих твердосплавных элементов, режимами резания [3],[4],[24],[39].

Существующие методы, направленные на достижение оптимальных параметров начального состояния инструмента с целью повышения его эксплуатационных показателей [39] (прочность, работоспособность, производительность и т.д.) условно можно разделить на три стадии:

1) На стадии выбора осуществляется разработка и совершенствование существующих инструментальных материалов; разработка и совершенствование существующих методов поверхностного упрочнения режущей части инструментов; выбор наиболее оптимального стандартного варианта сменных режущих твердосплавных элементов, обеспечивающих повышение прочности и работоспособности;

2) На стадии проектирования осуществляется улучшение конструкции и оптимизация геометрических параметров сменных режущих твердосплавных элементов;

3) На стадии эксплуатации осуществляется оптимизация режимов резания сборными инструментами.

В данном исследовании для повышения работоспособности сборных сверл приведена оптимизация конструктивных параметров сменных режущих элементов сборных сверл на стадии выбора расчета и проектирования, на основе сравнительной оценки напряженного состояния и прочности.

1.3 Применение сборного инструмента для обработки отверстий

Сверление является наиболее распространенной операцей для обработки отверстий [36]. Самым эффективным способом повышения производительности процесса обработки отверстий является использование сборного инструмента, оснащенного пластинами из инструментальных твердых сплавов, что обеспечивает высокопроизводительную обработку и значительное снижение себестоимости изготовления отверстий. Поэтому,

повысив производительность сверления, применяя инструмент, оснащенный инструментальным твердым сплавом, можно добиться существенного снижения производственных затрат.

В отличие от цельных инструментов, из быстрореза и твердого сплава и сверл, с напайными твердосплавными пластинами сборные инструменты, для обработки отверстий, оснащенные режущими элементами (пластинами, головками) из инструментальных твердых сплавов имеют следующие преимущества [2],[15]:

1. Повышение стойкости на 25…30 %, так как в твердосплавных пластинах отсутствуют термические напряжения (что характерно для пайки), которые существенно уменьшают запас прочности и приводят к появлению трещин, сколов и поломок.

2. Большие скорости резания и производительность за счет применения твердых сплавов.

3. Меньшее время наладки инструментов на размер из-за простоты замены затупившихся режущих кромок и взаимозаменяемости пластин.

4. Отсутствие повторной заточки инструментов.

5. Постоянство геометрических параметров инструментов, которые определяются исполнением пластин и гнезд под них.

6. Экономия дефицитного вольфрама за счет возврата в металлургическую промышленность около 90% использованных пластин, в то время как возврат напайных пластин составляет около 15%.

7. Меньший запас инструментов в целом, так как один и тот же корпус сверла, зенкера или развертки может быть использован для десятков и даже сотен режущих пластин.

8. Низкая стоимость обработки и существенное повышение экономической скорости резания.

9. Возможность применения износостойких покрытий.

10. Эффективное применение сборных режущих инструментов на современных станках с числовым программным управлением (ЧПУ), так как позволяет производить бесподналадочную обработку.

Как представлено на рисунке 7 на сегодня существуют три основных типа твердосплавных сверл [28],[60],[83],[84],[102],[103]:

- Цельные твердосплавные сверла;
- Сборные сверла со сменными режущими головкам;
- Сборные сверла со сменными режущими пластинами, центральной и периферийной.

1 2 3

Рисунок 7- Сверла фирмы Sandvik Coromant, оснащенные твердым сплавом.

Каждый из этих типов имеет свои достоинства и недостатки, поэтому правильный выбор сверла и его корректное применение имеют большое значение, так как они оказывают огромное влияние на эффективность и качество обработки - факторы, составляющие основу конкурентоспособности.

Существуют также различные комбинированные сочетания разных видов твердосплавных сверл, как представлено на рисунке 8. Однако, такие варианты не нашли широкого применения в производстве, так как они сочетают в себе недостатки, присущие тем видам сверл, на основе которых они изготовлены. Поэтому, в дальнейшем, в представленной работе данные инструменты не рассматривались в качестве объекта исследования.

а) б)

Рисунок 8- Комбинированные сочетания разных видов твердосплавных сверл:

а) комбинированное сборное сверло фирмы Kenamettal;

б) сборное сверло-резец фирмы Garant

Отверстия, обработанные сверлами со сменными пластинами, в большинстве случаев имеют допуск в пределах IT11-12. Этот инструмент обладает хорошей универсальностью и высокой надежностью и может применяться для большого числа разных операций. Сверла со сменными головками обеспечивают точность отверстий по квалитету IT9-10. Цельные твердосплавные сверла характеризуются наилучшим сочетанием подачи и точности обработанных отверстий - с допуском IT8-9, в зависимости от вида обработки [83],[84],[102],[103].

Поле допуска	Диаметра (мм)							Примеры
	3–6	6–10	10–18	18–30	30–50	50–80	80–120	
IT6	0.008	0.009	0.011	0.013	0.016	0.019	0.022	Подшипники
IT7	0.012	0.015	0.018	0.021	0.025	0.030	0.035	
IT8	0.018	0.022	0.027	0.033	0.039	0.046	0.054	
IT9	0.030	0.036	0.043	0.052	0.062	0.074	0.087	1)) Отверстие под резьбу
IT10	0.048	0.058	0.070	0.084	0.100	0.120	0.140	
IT11	0.075	0.090	0.110	0.130	0.160	0.190	0.220	
IT12	0.120	0.150	0.180	0.210	0.250	0.300	0.350	Отверстие под обычную резьбу
IT13	0.180	0.220	0.270	0.330	0.390	0.460	0.540	

1) Отверстие под накатку резьбы

Рисунок 9 - Допуск на отверстие по ISO

В справочной литературе и в инструментальных каталогах различных фирм – производителей сборных инструментов существует большое количество практических рекомендаций по применению сборных сверл (см.табл.1).

Таблица 1

Сравнительная таблица рекомендуемых режимов резания сборных сверл разных типов, фирмы Mitsubishi , Walter и Sandvik Coromant ø 16мм.

Sandvik Coromant							
Обрабатываемый материал		Цельные твердосплавные сверла CoroDrill Delta-C Ø 16мм		Режущая головка CoroDrill 870 Ø 16мм		Режущие пластины CoroDrill 880 Ø 16,5 мм	
		Скорость резания (м/мин)	Подача (мм/об)	Скорость резания (м/мин)	Подача (мм/об)	Скорость резания (м/мин)	Подача (мм/об)
P	Нелегированная сталь	80-140	0,22-0,45	120 (80-160)	0,32 (0,20-0,45)	220-390	0,04-0,10
	Высокоуглеродистая сталь	70-120	0,22-045	120 (80-160)	0,32 (0,20-0,45)	175-305	0,06-0,16
	Низколегированная сталь	70-100	0,20-0,40	110 (80-140)	0,36 (0,20-0,50)	125-265	0,06-0,16
	Высоколегированная сталь	40-80	0,16-0,32	60 (40-80)	0,30 (0,18-0,45)	155-300	0,06-0,16
	Стальное литье	70-130	0,22-0,45	110 (80-140)	0,30 (0,20-0,45)	190-345	0,04-0,12
M	Нержавеющая сталь (Незакаленная, ферритная, мартенситная)	40-80	0,14-0,24	-	-	-	-
	Нержавеющая сталь (Аустенитная)	40-80	0,14-0,24	-	-	-	-
K	Ковкий чугун	100-160	0,40-0,60	-	-	140-255	0,08-0,22
	Серый чугун	90-150	0,40-0,60	-	-	225-345	0,08-0,22
	Чугун с шаровидным графитом	90-150	0,35-0,60	-	-	120-235	0,08-0,18

Продолжение таблицы 1

Mitsubishi							
Обрабатываемый материал		Цельные твердосплавные сверла MAE/MAS Ø16мм		Режущая головка TAW Ø 16мм		Режущие пластины TAF Ø 16мм	
		Скорость резания (м/мин)	Подача (мм/об)	Скорость резания (м/мин)	Подача (мм/об)	Скорость резания (м/мин)	Подача (мм/об)
P	Малоуглеродистая сталь	-	-	80 (60-100)	0,25 (0,20-0,30)	200 (150-300)	0,07 (0,04-0,12)
	Углеродистая сталь	-	-	80 (60-100)	0,25 (0,20-0,30)	150 (120-180)	0,12 (0,06-0,14)
	Легированная сталь	-	-	70 (50-90)	0,20 (0,15-0,25)	150 (120-180)	0,10 (0,06-0,12)
M	Нержавеющая сталь	-	-	50 (40-60)	0,15 (0,12-0,18)	150 (120-200)	0,08 (0,04-0,12)
K	Чугун	80/100	0,30	80 (60-90)	0,25 (0,20-0,30)	150 (120-180)	0,15 (0,10-0,18)
	Ковкий чугун	60/80	0,20/0,25	80 (60-90)	0,25 (0,20-0,30)	150 (120-180)	0,12 (0,08-0,14)

Walter							
Обрабатываемый материал		Цельные твердосплавные сверла Ø 16мм		Режущая головка Xtra-tec Ø 16мм		Режущие пластины WOM/WOE Ø 16мм	
		Скорость резания (м/мин)	Подача (мм/об)	Скорость резания (м/мин)	Подача (мм/об)	Скорость резания (м/мин)	Подача (мм/об)
P	Нелегированная сталь	90-105	0,29	90-120	0,25	200	0,06
	Низколегированная сталь	70-85	0,29	80-110	0,25	200	0,07
	Высоколегированная сталь	50-65	0,25	60-80	0,22	170	0,05
M	Нержавеющая сталь	25	0,19	-	-	180	0,06
K	Серый литейный чугун	110-135	0,34	110-140	0,25	130	0,10
	Литейный чугун с шаровидным графитом	90-105	0,34	100-120	0,25	120	0,08
	Ковкий чугун	90-115	0,34	90-110	0,25	130	0,09

Таблица 2

Сравнительная таблица рекомендуемых режимов резания сборных сверл разных типов фирмы Mitsubishi , Walter и Sandvik Coromant ø 26мм.

Mitsubishi					
Обрабатываемый материал		Режущая головка TAW Ø 26мм		Режущие пластины TAF Ø 26мм	
		Скорость резания (м/мин)	Подача (мм/об)	Скорость резания (м/мин)	Подача (мм/об)
P	Малоуглеродистая сталь	110 (80-120)	0,30 (0,25-0,35)	200 (150-300)	0,08 (0,04-0,12)
	Углеродистая сталь	100 (80-120)	0,30 (0,25-0,35)	150 (120-180)	0,14 (0,08-0,18)
	Легированная сталь	90 (70-110)	0,25 (0,20-0,30)	150 (120-180)	0,12 (0,08-0,18)
M	Нержавеющая сталь	70 (60-80)	0,25 (0,20-0,28)	150 (120-200)	0,10 (0,04-0,14)
K	Чугун	110 (90-120)	0,35 (0,25-0,40)	150 (120-180)	0,20 (0,10-0,25)
	Ковкий чугун	100 (80-110)	0,30 (0,25-0,35)	150 (120-180)	0,15 (0,08-0,20)

Walter					
Обрабатываемый материал		Режущая головка Xtra-tec Ø 26 мм		Режущие пластины WOM/WOE Ø 26 мм	
		Скорость резания (м/мин)	Подача (мм/об)	Скорость резания (м/мин)	Подача (мм/об)
P	Нелегированная сталь	90-120	0,25-0,30	180	0,10
	Низколегированная сталь	90-120	0,25-0,30	170	0,10
	Высоколегированная сталь	80	0,25	150	0,07
M	Нержавеющая сталь	-	-	160	0,09
K	Серый литейный чугун	130-140	0,40	120	0,14
	Литейный чугун с шаровидным графитом	120	0,35	110	0,14
	Ковкий чугун	110	0,30	120	0,12

Sandvik Coromant					
Обрабатываемый материал		Режущая головка CoroDrill 870 Ø 26 мм		Режущие пластины CoroDrill 880 Ø 26 мм	
		Скорость резания (м/мин)	Подача (мм/об)	Скорость резания (м/мин)	Подача (мм/об)
P	Нелегированная сталь	120 (80-160)	0,34 (0,20-0,45)	130-225	0,08-0,26
	Высокоуглеродистая сталь	120 (80-160)	0,34 (0,20-0,45)	155-225	0,08-0,30
	Низколегированная сталь	110 (80-140)	0,36 (0,20-0,50)	105-200	0,08-0,30
	Высоколегированная сталь	60 (40-80)	0,30 (0,18-0,45)	130-225	0,08-0,26
	Стальное литье	110 (80-140)	0,34 (0,20-0,45)	135-250	0,04-0,14

Причем, сверла с режущими головками, так же как и цельные твердосплавные сверла, работают на низких скоростях резания с повышенными подачами, а сверла с механическим креплением режущих пластин применяют при высоких скоростях резания с меньшими подачами (по данным Mitsubishi, Walter и Sandvik Coromant) [12], [28],[60],[83],[84],[102],[103].

Однако, универсальной методики определения конструктивных параметров сборных сверл, обеспечивающих требования с позиции прочности и работоспособности режущих элементов из твердых сплавов, не существует. Таким образом, повышение эффективности работы сборных инструментов для обработки отверстий на стадии проектирования и эксплуатации является актуальной проблемой производственных и научных исследований.

При выборе сборного инструмента для обработки отверстий, одной из важнейших проблем является правильный выбор режущего элемента и типа сборного сверла. В каталогах основных фирм производителей сборного инструмента дано большое количество рекомендаций по выбору и эксплуатации сборных сверл, применяемых при обработке того или иного типа отверстия.

По материалам фирмы Sandvik Coromant процедура выбора инструмента осуществляется в следующем порядке:

1) *Анализ детали и материала заготовки;*

   Основные параметры отверстия:

   - диаметр отверстия;
   - глубина отверстия;
   - качество отверстия - допуск, шероховатость поверхности, прямолинейность. (см.п. 1.1)

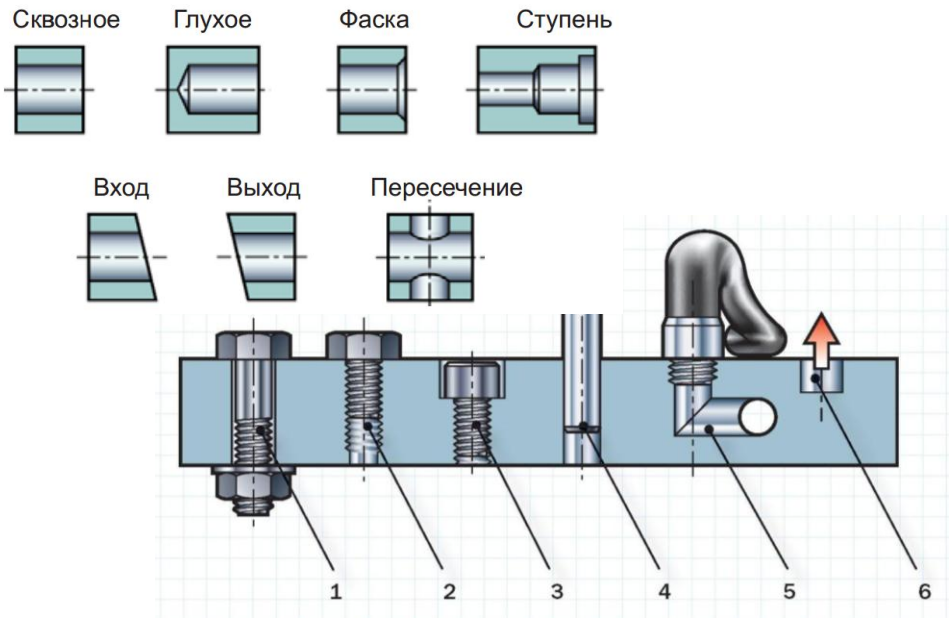


Рисунок 10- Наиболее распространенные виды отверстий

1 – Отверстия с зазором под крепеж; 2 – Резьбовые отверстия;
3 – Отверстия с цековкой; 4 – Точные отверстия (под штифты);
5 – Пересекающиеся отверстия (каналы под охлаждение);
6 – Балансировочные отверстия.

Тип отверстия и требуемая точность влияет на выбор инструмента. Имеют значение форма и расположение поверхностей входа/выхода сверла из работы, а также наличие пересекающихся отверстий.

Материал заготовки:

- обрабатываемость;
- стружкообразование;
- твердость;
- содержание легирующих элементов.

Деталь:

- Симметричность отверстия относительно оси вращения детали, то есть можно ли обработать отверстие невращающимся сверлом?

- Закрепление, силы закрепления и силы резания. Склонна ли деталь к вибрациям?

- Требуется ли удлинение инструмента, чтобы достать до поверхности, где можно просверлить отверстие?

- Есть ли необходимость в предварительной обработке поверхности или направляющем (пилотном) отверстии, например при большом вылете инструмента?

- Размер партии – одно отверстие или массовое производство отверстий, что оправдывает применение оптимизированного специального инструмента для обеспечения максимальной производительности?

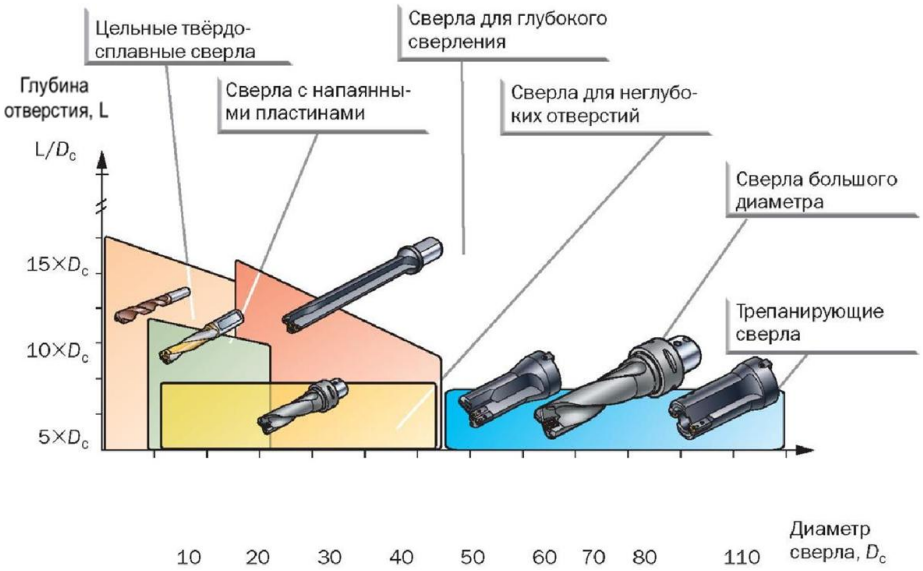


Рисунок 11 - Сверла фирмы Sandvik Coromant, оснащенные твердым сплавом

2) Анализ оборудования

<u>Состояние станка:</u>

- жесткость станка.
- частота вращения шпинделя.
- подвод СОЖ.
- давление СОЖ.
- закрепление заготовки.
- горизонтальный или вертикальный шпиндель.
- мощность и крутящий момент.
- инструментальный магазин.

3) Выбор инструмента

Выбор метода получения отверстий – пример:

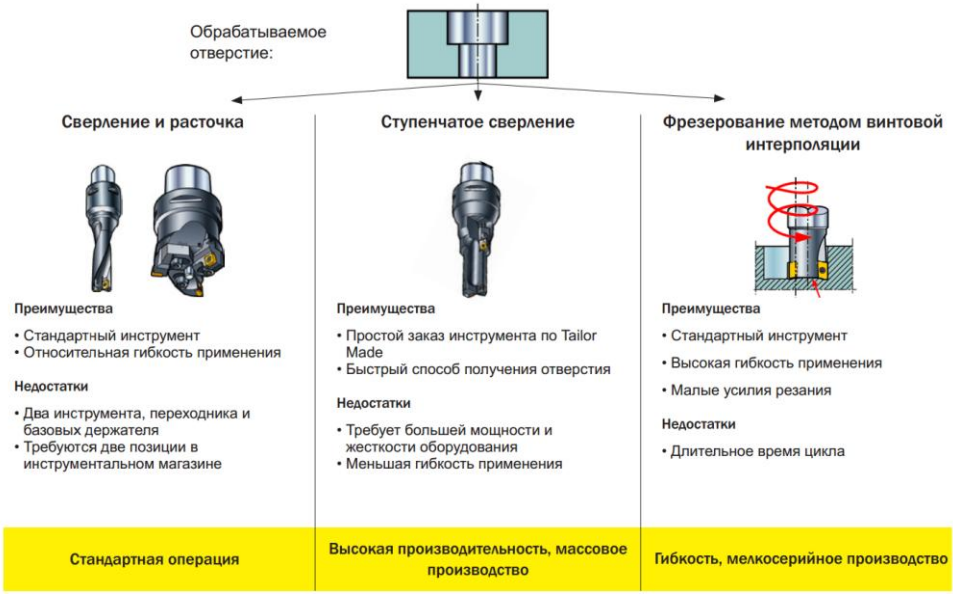


Рисунок 12 - Различные способы получения отверстий по рекомендациям фирмы Sandvik Coromant

Выбор типа сверла:

- Цельные твердосплавные сверла. Самый дорогой вид сверл.

Первый выбор для отверстий малого диаметра с жестким допуском.

Особенности применения: малый диаметр; высокие требования к точности отверстия.

- Сверла со сменными режущими головками или с напаянными пластинами. Наиболее производительный вид сборных сверл.

Особенности применения: отверстия среднего диаметра; высокая производительность и точность обработки.

- Сверла со сменными режущими пластинами.

Такой инструмент всегда должны рассматриваться как первый выбор, позволяющий снизить затраты на отверстие. Конструкция сверла позволяет расширить технологические возможности применения сборных сверл. Это наиболее универсальный тип сверл.

Особенности применения: отверстия среднего и большого диаметра; среднее требования по точности; глухие отверстия, требующие «плоского»

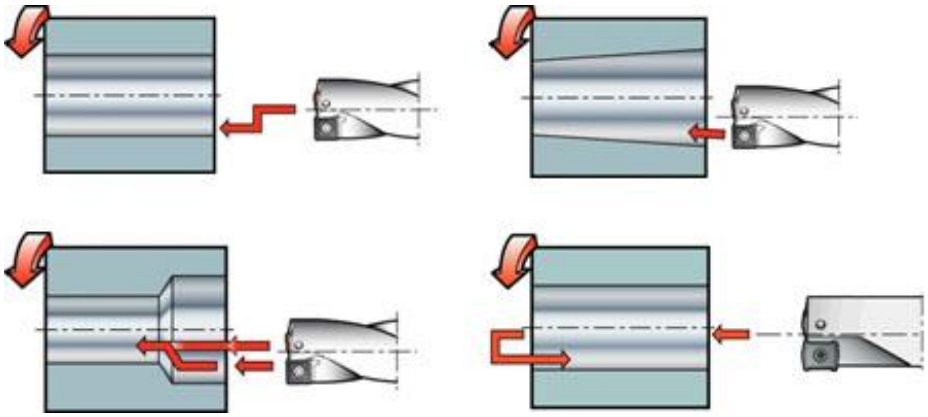
дна; сверление изогнутых и не плоских поверхностей, сверление под углом к обрабатываемой поверхности, сверление пересекающихся отверстий, сверление не сплошных отверстий, плунжерное сверление, сверление с применением винтовой интерполяции и растачивание.

а) б)

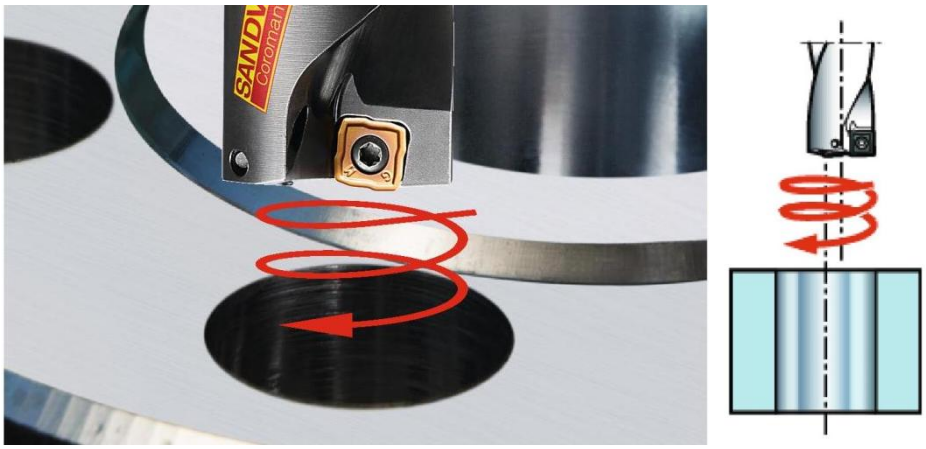
в) г)

д) е)

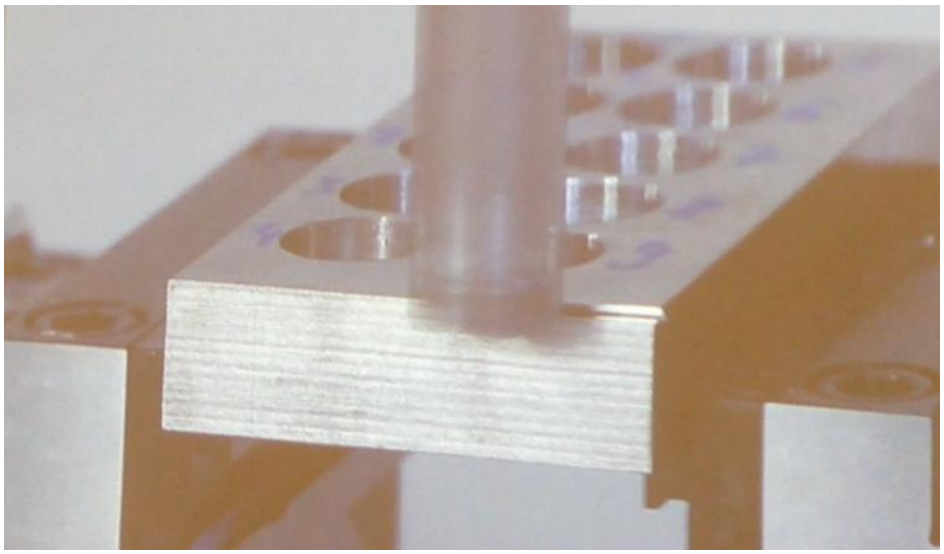
Рисунок 13 - Технологические возможности сборных сверл со сменными режущими пластинами: а – «Плунжерное» сверление; б, в - сверление неплоских и наклонных поверхностей; г, д – сверление отверстий на ребрах обрабатываемой детали; е – сверление под углом к обрабатываемой плоскости



а)



б)



в)

Рисунок 14 - Применение сборных сверл со сменными режущими пластинами для а, б - расточных; в - фрезерных операций

1.4 Геометрические параметры разных видов сверл

Цельные спиральные сверла как твердосплавные, так и из быстрорежущей стали относятся к числу сложных по геометрии инструментов [36],[37],[38],[49],[96],[97]. Переменность углов резания схематично обозначена на рисунке 15. В сочетании с переменной скоростью вдоль режущих лезвий и малая жесткость инструмента существенно осложняют условия протекания процесса резания при сверлении.

Спиральное сверло имеет пять режущих кромок: две главные режущие кромки, поперечная режущая кромка (перемычка) и две ленточки, выполняющих роли вспомогательных режущих кромок и направляющих [78],[79],[80].

Величина переднего угла γ_N зависит от главного угла в плане φ, угла наклона винтовой канавки ω и величины смещения режущей кромки от оси симметрии канавок сверла.

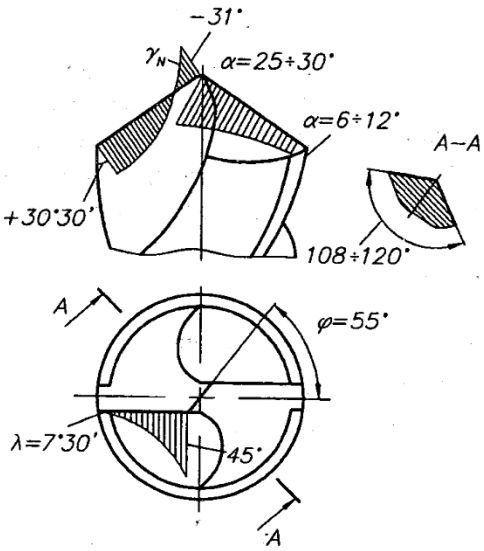


Рисунок 15 - Эпюры изменения углов резания по длине главной режущей кромки сверла [36].

Задние углы меняются не только вдоль режущей кромки, но также и по направлению спада затылованной поверхности. Эти изменения зависят от методов заточки задней поверхности сверла.

Поперечная режущая кромка (перемычка) сверла является одним из неблагоприятных элементов. Передний угол у поперечной кромки остается примерно постоянным независимо от выбора угла наклона винтовой канавки ω и определяется величиной главного угла в плане φ. Из - за наличия больших отрицательных значений переднего угла поперечная режущая кромка не режет, а частично скоблит и выдавливает материал [78].

Геометрия режущей части сверла оказывает существенное влияние на его стойкость. По данным [96], с целью улучшения условий резания, разработаны различные способы заточки стандартных сверл и подточки поперечной кромки, которые представлены на рисунке 16.

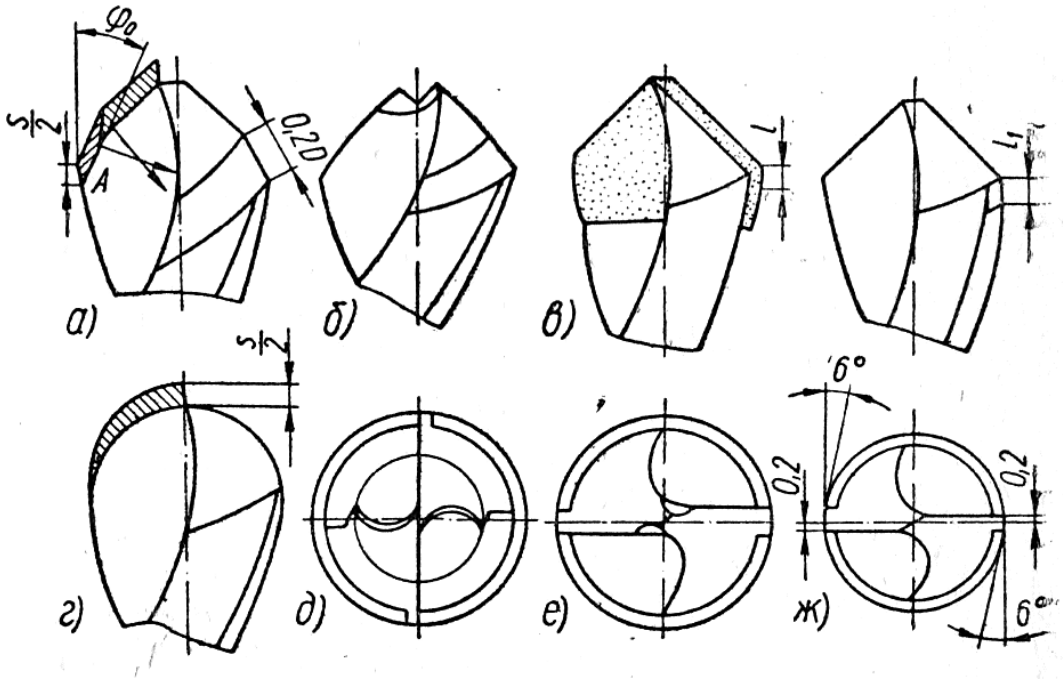


Рисунок 16 - Способы заточки сверл

Сверло с двойной заточкой показано на рисунке 16,а. Сверло имеет ломаную главную режущую кромку. Такие сверла обладают стойкостью, в 2-4 раза большей, чем сверла с одинарной заточкой. Это объясняется тем, что толщина среза, приходящаяся на короткое лезвие, меньше, чем на длинной части лезвия, что снижает удельную силовую и тепловую нагрузку.

Указанные преимущества двойной заточки имеют место при работе сверл из инструментальной стали. Что же касается твердосплавных сверл, то наблюдается снижение стойкости. Это может быть объяснено тем, что при двойной заточке происходит пересечение двух потоков стружки, которые обозначены на рисунке 16,а стрелками. В результате чего замедляется ее движение. При большой скорости резания стружка быстро скапливается в канавке сверла и спрессовывается. Ввиду этого затрудняется отвод стружки,

интенсивно повышается температура резания и снижается стойкость. В этом случае сверла часто ломаются.

Стремление обеспечить нормальные условия резания на всех лезвиях привело к созданию бесперемычного сверла, которое представлено на рисунке 16,б. У этого сверла вредное влияние лезвия перемычки устраняется путем создания двух сердцевидных лезвий. Одновременно достигается хорошее разделение стружки, так как образуется три пары лезвий. Отсутствие лезвия перемычки приводит к резкому снижению осевой силы (в 2-3 раза). Благодаря этому, такими сверлами можно работать с повышенными подачами. Однако бесперемычное сверла имеют существенные недостатки: очень сложна заточка, плохое направление сверла в начале работы, часты поломки.

Для сверления высокопрочного чугуна рекомендуется твердосплавные сверла, имеющие вспомогательные лезвия с $\varphi_1 = 0^o$ на длине l, как представлен на рисунке 16,в. Эти сверла обладают большой долговечностью вследствие увеличения числа возможных переточек. Кроме того, наличие участка вспомогательного лезвия с $\varphi_1 = 0^o$ приводит к увеличению активной длины лезвий, что улучшает теплоотвод и повышает стойкость сверла. Эти участки лезвий производят зачистку неровностей на обработанной поверхности, в результате чего повышается чистота обработки и точность размеров отверстия.

Значительный эффект можно получить, применяя специальную заточку сверл, при которой образуются криволинейные лезвия, они показаны на рисунке 16,г.

Стойкость этих сверл в 2-4 раза выше стойкости обычных сверл, что можно объяснить следующим образом.

У сверла с криволинейными лезвиями толщина среза переменна, причем она изменяется от нуля (у периферии сверла) до максимального значения (у центра сверла). Скорость резания, наоборот, имеет максимальное

значение у периферии и минимальное у центра сверла. Противоположные изменения скорости и толщина среза в некоторой мере уравнивают тепловую нагрузку по длине лезвия. В результате этого сверло изнашивается более равномерно по всей длине лезвия и не наблюдается, как у обычных сверл, интенсивный износ по уголкам. При работе сверлами с криволинейными лезвиями повышается чистота обработанной поверхности на 2-3 класса и точность размеров отверстия. Вместе с этим рассматриваемые сверла имеют существенный недостаток – сложность заточки.

На рисунке 16,д представлено сверло с радиальным расположением лезвий и стружколомающими уступами, которое позволяет повысить производительность на 20-30%. Радиальное расположение лезвий улучшает геометрию сверла в зоне перемычки. Стружколомающие уступы, расположенные по всей длине канавки сверла, улучшают отвод стружки и повышают безопасность работы за счет отсутствия длинных стружек. При работе этими сверлами можно увеличить подачу до двух раз по сравнению с нормативными данными, не снижая качества обработки.

В целях улучшения условий работы перемычки у сверл из инструментальной стали диаметром свыше 10мм целесообразно производить подточку перемычки, как показано на рисунке 16,е. В результате чего уменьшается ее длина. Стойкость этих сверл выше стойкости сверл без подточки; при работе ими снижается сила P_o.

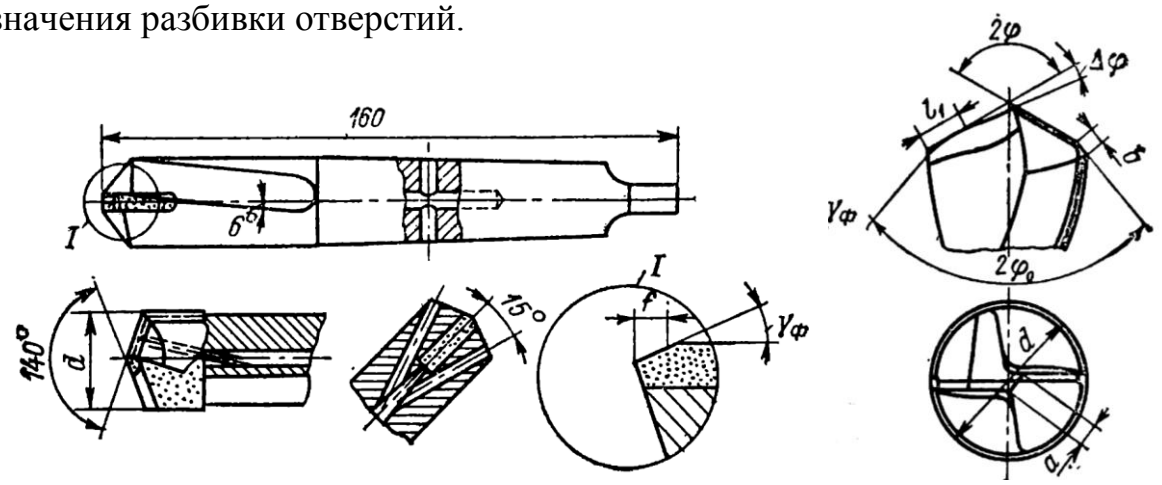
Сверла с подточенной ленточкой показаны на рисунке 16,ж. Они также обладают повышенной стойкостью. У этих сверл на вспомогательных лезвиях создается положительный задний угол, благодаря которому уменьшается трение и увеличивается стойкость сверл. Для лучшего направления сверла оставляется цилиндрическая ленточка шириной 0,2 мм.

Отдельно стоит отметить специальные сверла для обработки труднообрабатываемых сталей, созданных в СССР [97]. Такие сверла могут работать в неблагоприятных условиях радиальных колебаний сверла и

рекомендуются для обработки различных труднообрабатываемых материалов, в том числе высокомарганцевых сталей марок 45Г17Ю3Х, ММЛ-2 и др.

На рисунке 17,а представлено сверло, разработанное в Ленинградском политехническом институте И.И. Олейниковым и М.А. Шатериным. Сверло оснащено напайной твердосплавной головкой (группа ВК), имеющей упрочняющие фаски (f = 1÷2 мм) с большим отрицательным передним углом ($\gamma_ф$ до -15°).

На рисунке 17,б представлена форма заточки режущей части сверла, разработанного А.А. Виноградовым и Ю.А. Аносовым. Сверло оснащается напайной твердосплавной головкой (группа ВК), причем форма заточки режущих кромок отличается от стандартных сверл. Отличие заключается в смещении поперечной кромки относительно оси сверла для создания постоянного радиального усилия при работе инструмента. Величина смещения, так же как и параметры 2φ; Δφ; l_1;b; $2\varphi_0$; a, зависит от обрабатываемого материала и условий обработки, а также от допустимого значения разбивки отверстий.



а) б)

Рисунок 17 - Сверла, оснащенные твердым сплавом для обработки труднообрабатываемых сталей: а) – Конструкция сверла ЛПИ, разработанная И.И. Олейниковым и М.А. Шатериным; б) – форма заточки режущей части сверла, разработанного А.А. Виноградовым и Ю.А. Аносовым.

В отличии от быстрорежущих сверл у сверл, оснащенных инструментальным твердым сплавом (у цельных и сборных с режущими пластинами или головками), практически отсутствует перемычка, как показано на рисунке 18, кроме того у сборных сверл, оснащенных режущими головками, значения заднего остаются постоянными, значения переднего угла меняются незначительно (по сравнению со спиральными быстрорежущими сверлами), у сборных сверл со сменными режущими пластинами значения переднего и заднего угла практически не меняются [60],[83],[84].

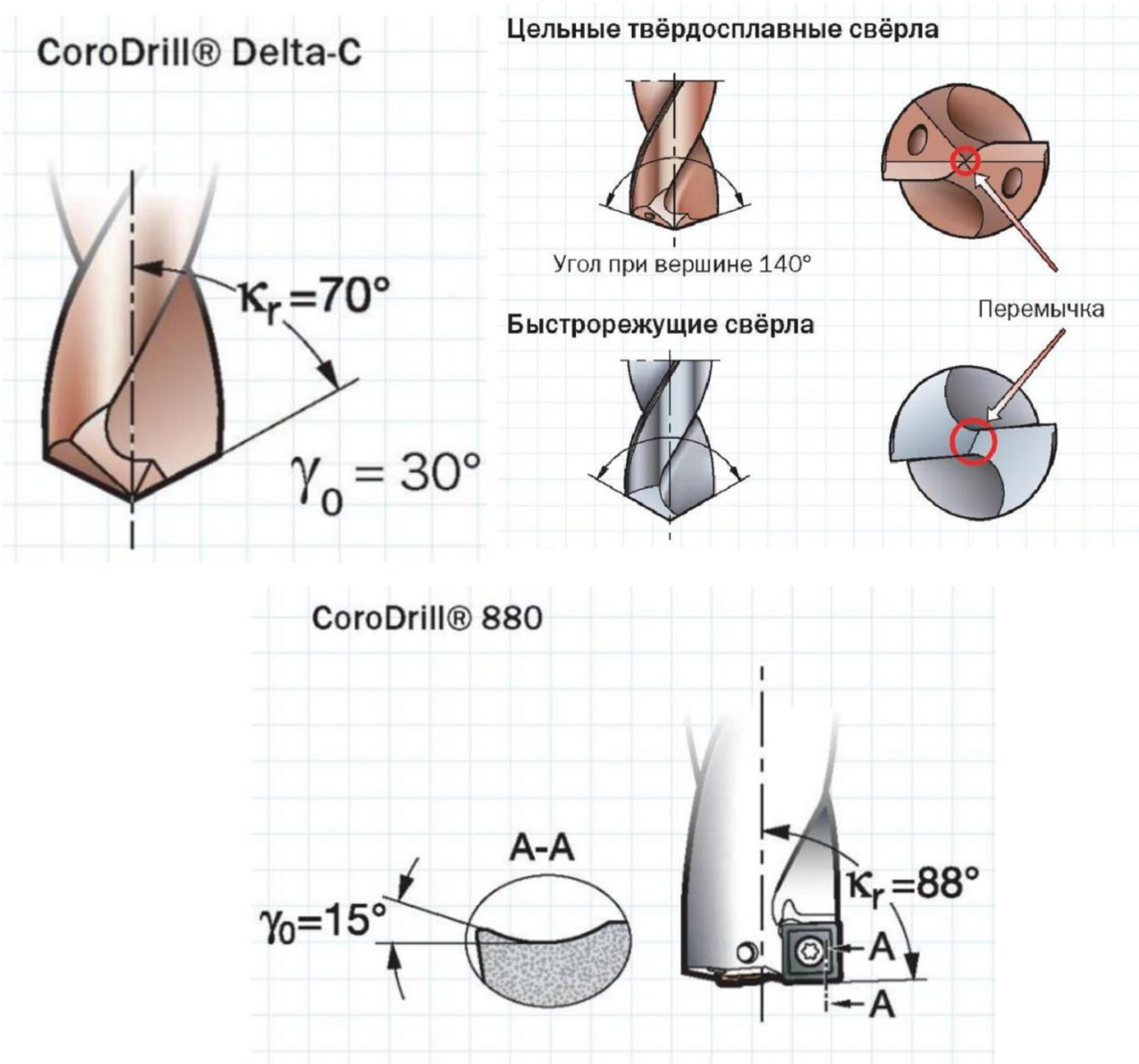
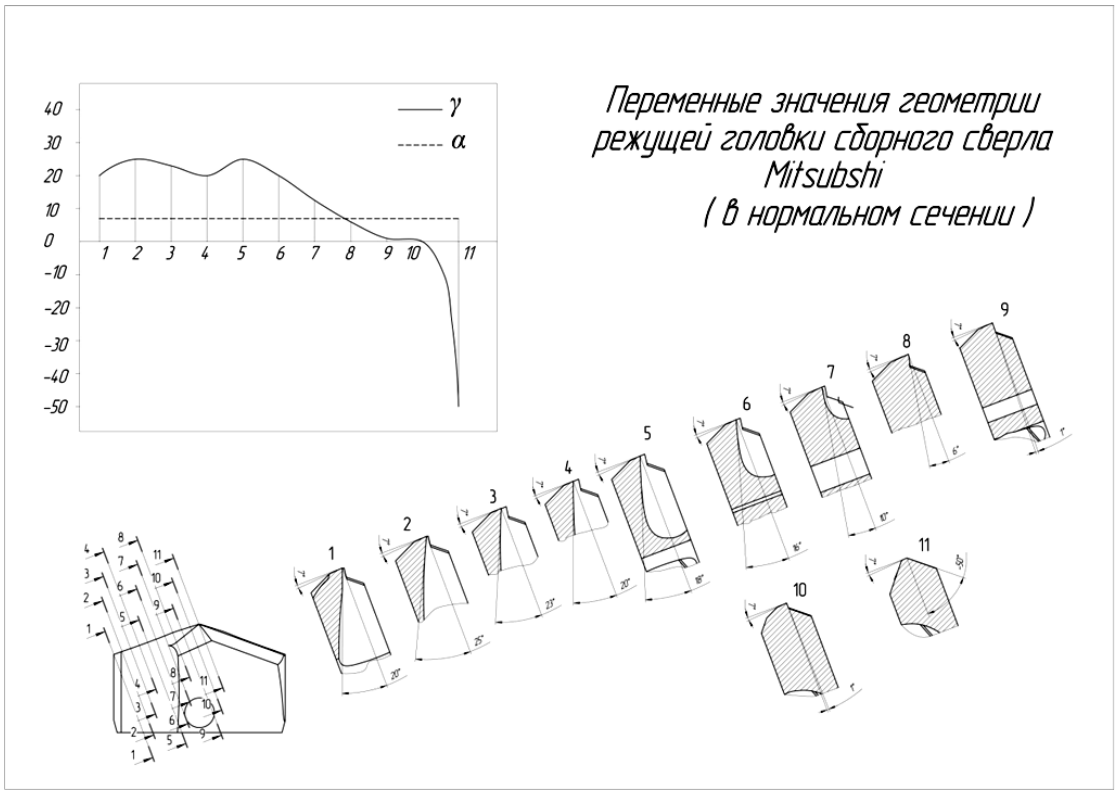
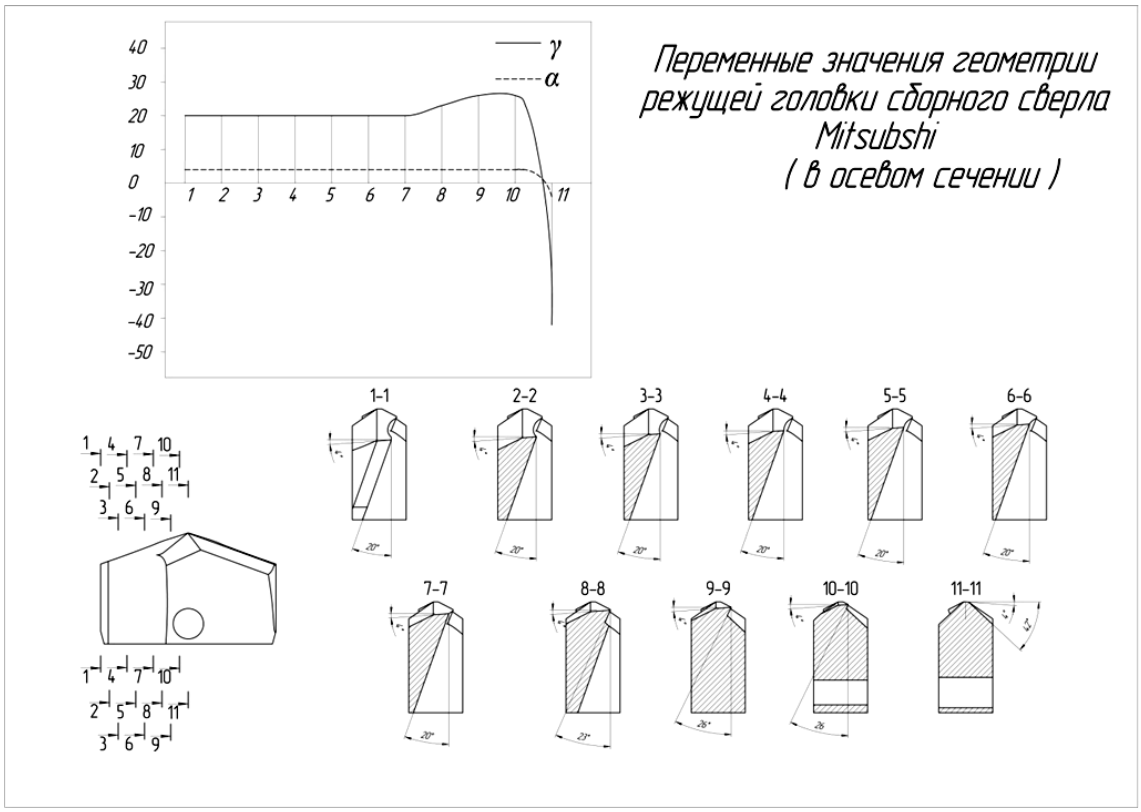


Рисунок 18 - Геометрические особенности твердосплавных сверл разных видов



а)



б)

Рисунок 19 - Геометрия режущей головки сборного сверла

1.5 Патентный анализ конструкций сборных сверл

На основании проведенных исследований патентов сборных сверл [12], целью которой было определение основных направлений, в которых ведутся разработки новых конструкций сборных инструментов для обработки отверстий, была сформирована блок-схема факторов, определяющих их выбор. В представленной блок-схеме показаны основные задачи, направленные на совершенствование и разработку новых конструкций сборных сверл.

По разработанной блок-схеме конструкции режущих пластин совершенствуется в двух уровневой системе.

На первом уровне работа ведется в двух направлениях:

- повышение надежности работы сверла;
- расширение технологических возможностей.

На втором уровне формируется цель изобретения. По каждому направлению представлены конструкции сверл с кратким описанием пути решения поставленных задач.

По первому направлению:

- повышение прочности режущих элементов и корпуса сборного сверла;
- повышение виброустойчивости;
- надежный отвод стружки;
- повышение надежности крепления режущих элементов.

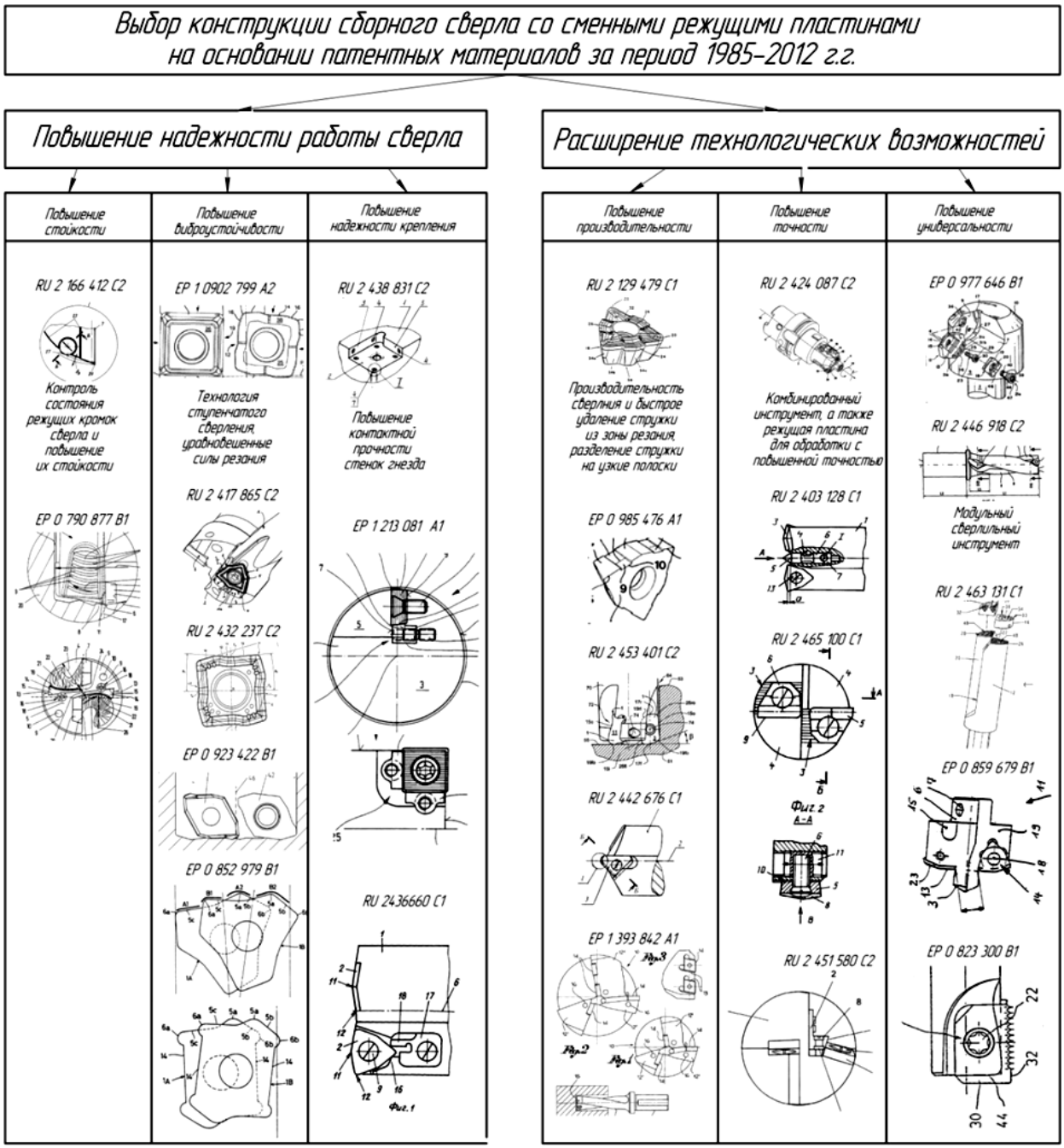


Рисунок 20 - Блок-схема основных направлений разработки новых конструкций сборных сверл со сменными режущими центральной и периферийной пластинами

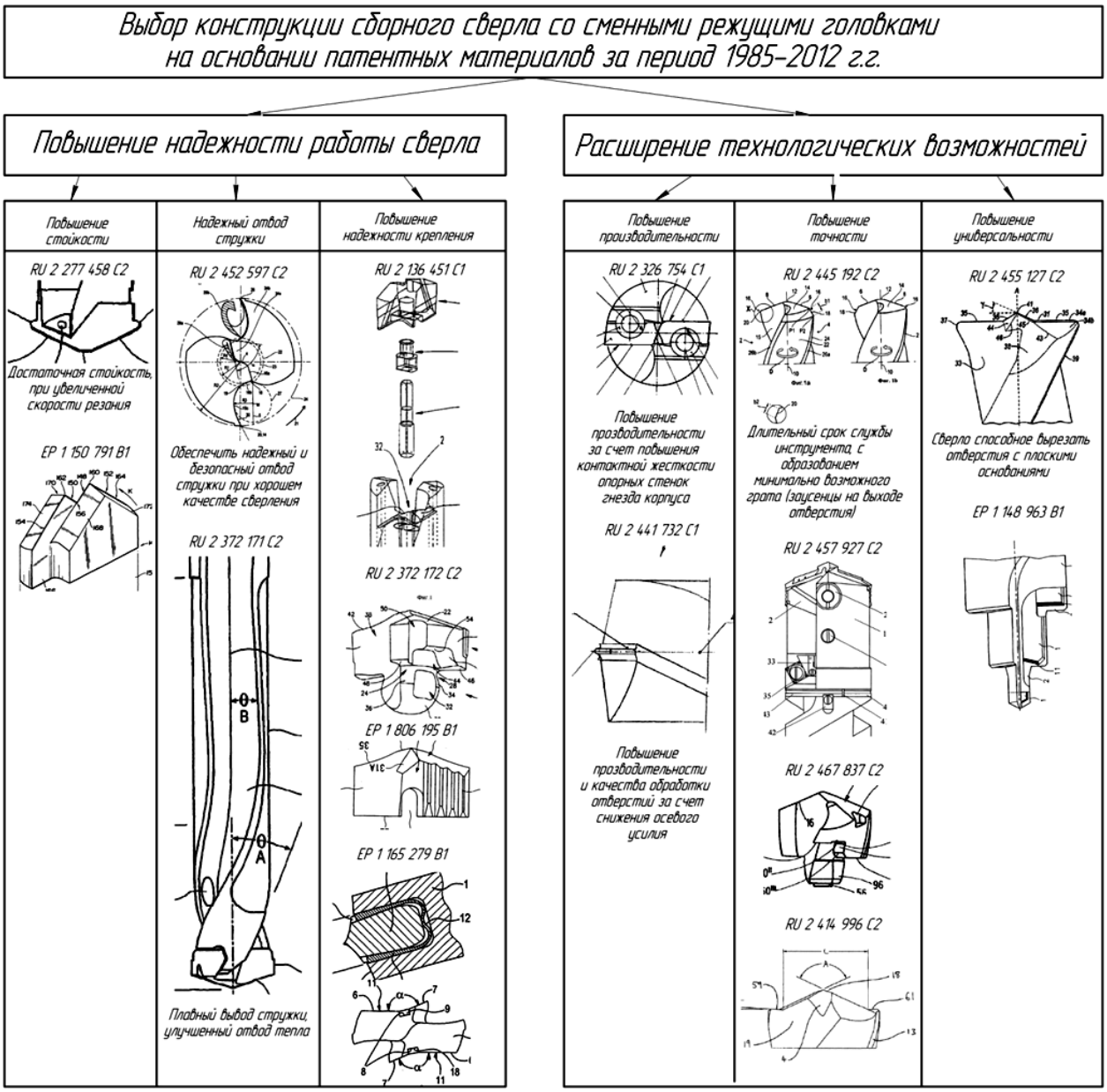


Рисунок 21 - Блок-схема основных направлений разработки новых конструкций сборных сверл со сменными режущими головками

По второму направлению:

- повышение производительности;
- повышение точности;
- повышение универсальности

Из приведенной блок-схемы следует, что одним из основных направлений, в которых ведется разработки новых конструкций сборных сверл, является повышение прочности корпуса и режущих элементов

сборного сверла, повышения надежности крепления режущих пластин и головок, а также расширении технологических возможностей.

1.6 Радиальные колебания и неуравновешенные радиальные силы резания сверл разных видов

Сверление – основанной технологический способ образования отверстий в сплошном металле обрабатываемых заготовок. Просверленные отверстия, как правило, не имеют абсолютно правильной цилиндрической формы. Их поперечные сечения имеют форму овала, а продольные – небольшую конусность.

Диаметры просверленных отверстий всегда больше диаметра сверла, которым они просверлены [36]. Разность диаметров сверла и просверленного им отверстия принято называть разбивкой отверстия. Для стандартных сверл из быстрорежущей стали диаметром d_c = 10…20 мм разбивка составляет 0,15…0,25 мм.

По материалам, приведенным в работах [27], [36], основными причинами разбивки огранки или увода оси отверстий являются, главным образом, погрешности симметрии заточки режущих кромок сверла, а также несоосность сверла и шпинделя станка, приводящим к вибрациям и радиальным колебаниям сверла в процессе сверления, а как следствие к неуравновешенным радиальным составляющим сил резания, которыми обычно принято пренебрегать и не учитывать их в расчетах.

Однако, по данным [27] причинами возникновения вибраций и радиальных колебаний сверла являются не только погрешности системы СПИД (Станок – Инструмент – Приспособление - Деталь), неточность установки сверла и несимметричность режущих кромок сверла.

По результатам многочисленных опытов профессора А.А. Виноградова, основной причиной возникновения и развития вибраций

является неравномерность процесса стружкообразования при резании поперечной кромкой сверла и участками главных кромок, прилежащих к ней. Поэтому увеличением жесткости самого сверла и в целом системы СПИД нельзя устранить основные причины возникновения вибраций. Этим путем можно лишь обеспечить в системе СПИД большую сопротивляемость возмущающим силам, но нельзя устранить причины появления этих сил.

В своей работе А.А. Виноградов проводил исследования радиальных колебаний сверл с симметричной заточкой и предложенных им сверл со смещенной относительно их оси поперечной кромкой.

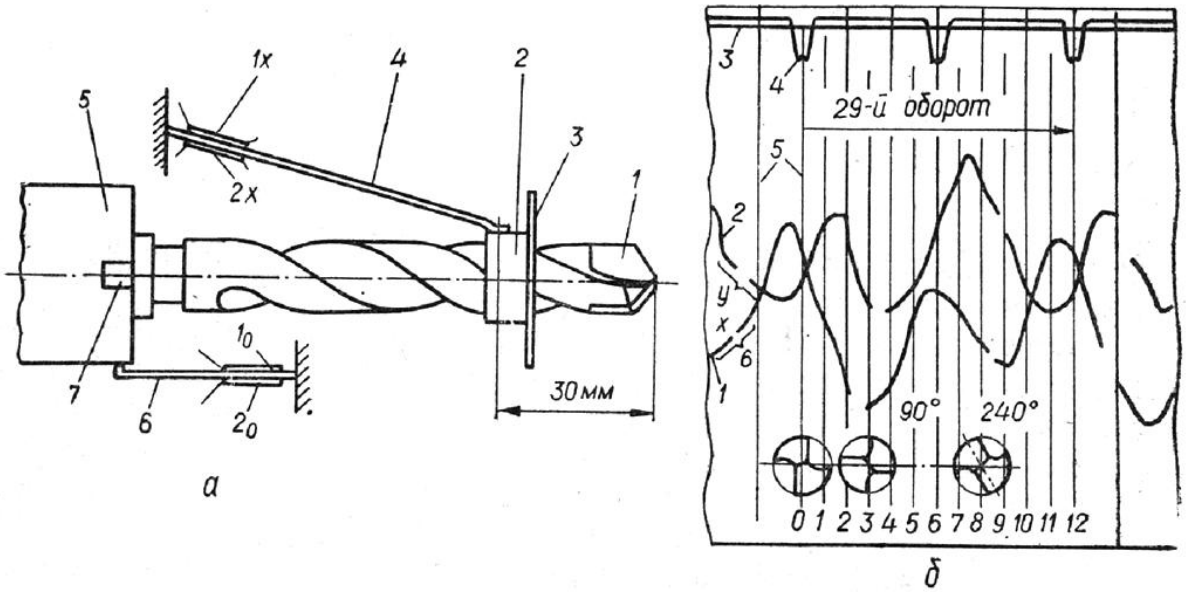


Рисунок 22 - Схема устройства (а) и типичная осциллограмма (б) радиальных колебаний режущей части сверла

Как схематично представлено на рисунке 22,а устройство для исследований радиальных колебаний (поперечные отклонения) сверл представляло собой фрезерный станок мод. 6М82Ш26. Сверло, закрепленное с помощью переходных втулок в горизонтальном шпинделе 5. Причем поперечные колебания режущей части сверла при врезании в металл (высокомарганцовистую сталь ММЛ – 1) определялись измерением двух координат X и Y точки оси сверла, на расстоянии 30 мм от его вершины. По

точкам с координатами X и Y определяли траектории движения отдельных точек режущих кромок сверла, формирующих поверхности отверстия. На сверле 1 закрепляли стальную закаленную втулку 2 с защитным диском 3. При этом обеспечивали строгую соосность наружной поверхности втулки 2 и направляющих ленточек режущей части сверла. На поверхность втулки 2 опиралось балочка 4 – датчик измерения одной координаты, а в плоскости перпендикулярной направлению отклонения этой оболочки, закреплялась другая балочка – датчик измерения другой координаты.

В результате установлено, что характер траекторий движения вершины сверла отдельных точек его режущих кромок отличается лишь некоторыми элементами в зависимости от режимов резания и точности симметрии заточки режущей части.

Типичные траектории движения вершины симметрично заточенного сверла и некоторых точек режущих кромок в течении тридцать пятого оборота показаны на рисунке 23.

Исследования траекторий движения точек режущих кромок сверла со смещенной относительно его оси поперечной кромкой показали, что характер отклонений вершины режущей части отличается от сверла со строго симметричной заточкой лишь в начальной стадии. После касания обрабатываемой поверхности вершины сверла отклоняется от оси вращения шпинделя станка и движется вокруг ее с достаточно высокой равномерностью. Траектории движения точек режущих кромок сохраняют, форму близкую к идеальным окружностям. При таком относительно небольшом смещении δ поперечной кромки твердосплавная пластинка, разрушается значительно реже, чем при строго симметричной заточки сверла.

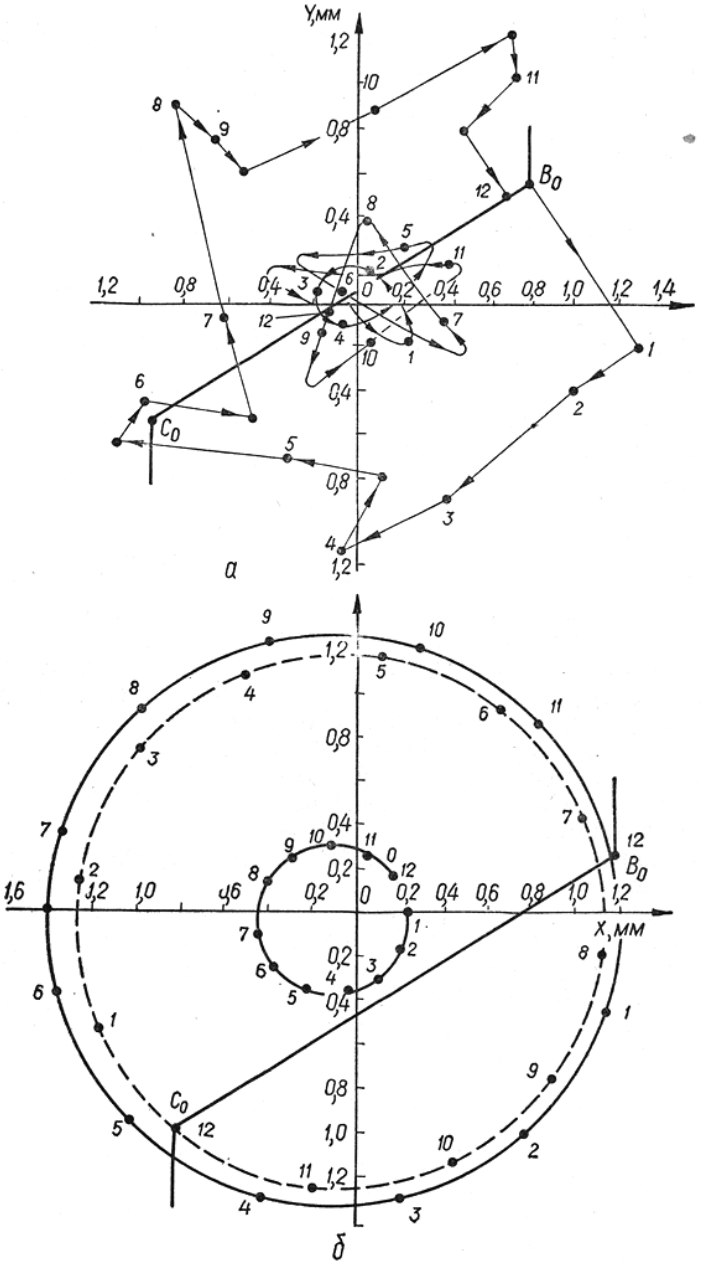


Рисунок 23 - Траектории движения точек режущих кромок сверла Ø16 мм:
а – с симметричной заточкой ($2\varphi = 130°$;$\gamma_N = 5°$;$\alpha_N = 12°$);
б – со смещенной относительно оси сверла поперечной кромкой ($\Delta\varphi = 4°$; l = 2 мм), режим резания n = 8,33 об/с, s = $0{,}08 \cdot 10^{-3}$ м/об.
B_0C_0 – поперечная кромка сверла

Таким образом, Виноградов А.А. установил, что процесс резания при работе двухперовыми сверлами протекает стабильно, когда поперечная кромка смещена относительно их оси дополнительной заточкой по задней поверхности одного пера на части главной кромки, прилежащей к

поперечной кромке, величина указанного смещения не должна при этом быть больше половины длины поперечной кромки. Меньшее предельное значение величины смещения зависит от величины диаметра сверла и при необходимости может быть определено экспериментально.

В работе [27] также проводились исследования неуравновешенной составляющей радиальных сил резания P_y , которая возникает при работе спирального сверла с напайным твердосплавным режущим элементом. Как было установлено, их значение относительно небольшое и как правило, не учитывается в расчетах при проектировании.

Результаты данных исследований могут быть применимы для моделирования процесса резания цельными и сборными сверлами со сменными режущими головками, так как они схожи по своим конструктивным параметрам с теми инструментами, которые использовались в представленных выше опытах. Однако, в отличии от цельных твердосплавных сверл и сверл со сменными твердосплавными режущими головками с осесимметричными режущими кромками у сборных сверл со сменными режущими пластинами отсутствует перемычка, при этом первым врезается в обрабатываемый материал участок центральной режущей пластины уже смещенный относительно оси на некоторую величину. При этом, у такого уже изначально не уравновешены радиальные силы резания P_y, которые также как и для цельных сверл, могут приводить к разбивке отверстия, к уводу сверла от оси отверстия, вибрациям и радиальным колебаниям, к повышенному износу периферийной сменной режущей пластины.

В ходе литературного и патентно-информационного анализа было выявлено, что существует несколько способов решения данной проблемы. Так например, специалисты израильской фирмы производителя сборного режущего инструмента Iscar предлагают использовать для сборных сверл сменную режущую пластину специальной формы, которая представлена на

рисунке 24 (Патент RU 129 479 C1). Сменная режущая пластина имеет режущую кромку с ломаным выступающим участком, благодаря чему силы резания воздействующие на сверло, особенно их радиальные составляющие, становятся в значительной степени сбалансированными, что позволяет, таким образом свести к минимуму нагрузки, приводящие к отклонению инструмента, а следовательно, к неточным размерам отверстия.

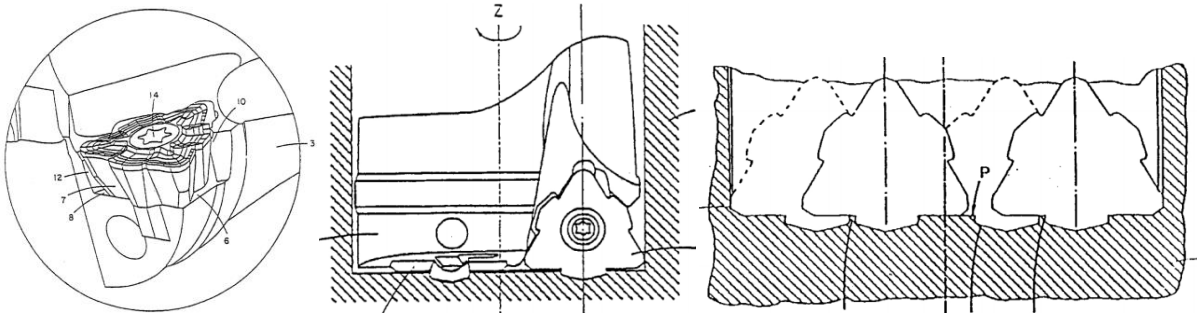
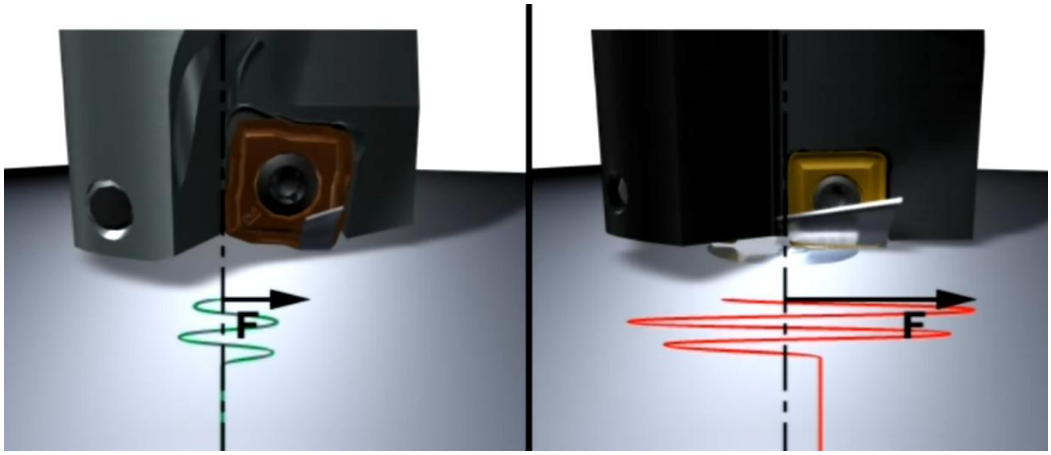


Рисунок 24 - Сборное сверло фирмы Iscar, со сменными режущими пластинами специальной формы

Специалисты шведской фирмы Sandvik Coromant [60],[83],[103], предлагают сборное сверло с центральной сменной режущей пластиной специальной формы и периферийной квадратной формы, CoroDrill-880 с так называемой «Step технологией», обеспечивающей постепенное врезание режущих кромок сверла в обрабатываемый материал. Схематично «Step технология» представлена на рисунках 25, 26. Её принцип заключается в следующем: Часть 1 врезается в материал, во избежание больших радиальных сил резания она сделана узкой. Часть 2 входит в контакт с материалом, уравновешивает силы; часть 3 входит в обработку последней, защищает нерабочую кромку периферийной пластины.

Рисунок 25 - Принцип «Step технологии» сборного сверла CoroDrill-880 фирмы Sandvik Coromant



а) б)

Рисунок 26 - Схема процесса врезания в обрабатываемый материал сборного сверла: а) CoroDrill-880 фирмы Sandvik Coromant с центральной режущей пластиной специальной формы; б) сборного сверла со сменными режущими пластинами квадратной формы

В своих работах, Баканов А.А. предлагает для повышения работоспособности сборных сверл разворачивать пластины на угол ψ [16],[17],[18]. При этом припуск, срезаемый сверлом за один оборот определяется величиной подачи S и делится между пластинами только по длине режущей кромки каждой из них, участвующей в резании.

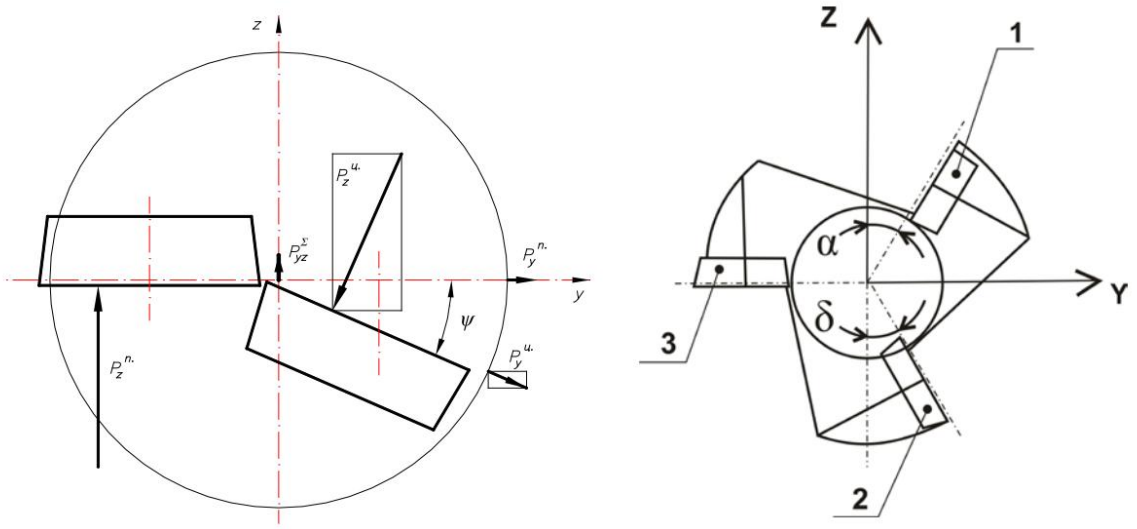


Рисунок 27 - Метод разворота пластин на сборном сверле с СМП для уравновешивания суммарной радиальной составляющей силы резания Ру предложенный Бакановым А.А.

1.8 Предпосылки к расчету прочности режущей части инструмента

Наиболее важной задачей численного исследования и проектирования сборных инструментов является оценка напряженно-деформированного состояния и прочности их сменных твердосплавных режущих элементов.

Изучение механизма разрушения сменных режущих твердосплавных элементов, установление закономерностей, создание инженерных методов расчета прочности режущей части сборных сверл являются актуальными вопросами теории резания материалов.

Вопросами прочности режущей части инструментов в разное время занимались А.А. Аваков [1], А.И. Бетанели, И.П. Третьяков, А.И. Каширин [20], Н.Н. Зорев [43], Т.Н. Лоладзе [53], Л.Г. Куклин, В.И. Сагалов, В.Б. Серебровский и С.П. Шабашов, А.Н. Резников, М.Д. Смирнов и Г.Г.Яшин [76], Б.П. Прибылов, В.А. Остафьев [62], Г.Л. Хает [98], С.Н. Григорьев [39], А.С. Верещака [26], М.Ф. Полетика [75], М.Х. Утешев [93], Е.В. Артамонов [3], [7] и др.

Для расчета и проектирования деталей машин прочностные задачи решаются для простых видов деформации, в частности для одноосных напряженных состояний, так как в этом случае значения предельных (опасных) напряжений легко установить экспериментально [60],[61].

Под предельным опасным напряженным состоянием понимается явление, при котором происходит качественное изменение свойств материала – переход от одного механического состояния к другому. Для пластических предельным обычно считается напряженное состояние, соответствующее возникновению заметных остаточных деформаций, а для хрупкого – такое, при котором начинается разрушение материала.

Так, при испытании образцов из определенного материала на простое растяжение или сжатие определяют значения опасных напряжений: $\sigma^0=\sigma_т$ (предел текучести) или $\sigma^0=\sigma_в$ (предел прочности).

По опасным напряжениям устанавливают допускаемые напряжения $[\sigma_{рас}]$ при растяжении или $[\sigma_{сж}]$ при сжатии, обеспечивая известный коэффициент запаса против наступления предельного состояния. Таким образом, условие прочности для одноосного напряженного состояния, как представлено на рисунке 27,а принимает вид: $\sigma_1 \leq [\sigma_{рас}]$ или $\sigma_3 \leq [\sigma_{сж}]$.

При сложном напряженном состоянии, когда в точках детали два или все три главных напряжений σ_1, σ_2, σ_3 не равны нулю, как представлено на рисунке 27,б для одного и того же материала опасное состояние может иметь место при различных предельных значениях главных напряжений $\sigma_1^0, \sigma_2^0, \sigma_3^0$ в зависимости от соотношений между ними. Экспериментально установить предельные величины главных напряжений очень сложно не только из-за трудности постановки опытов, но и из-за большого объема испытаний.

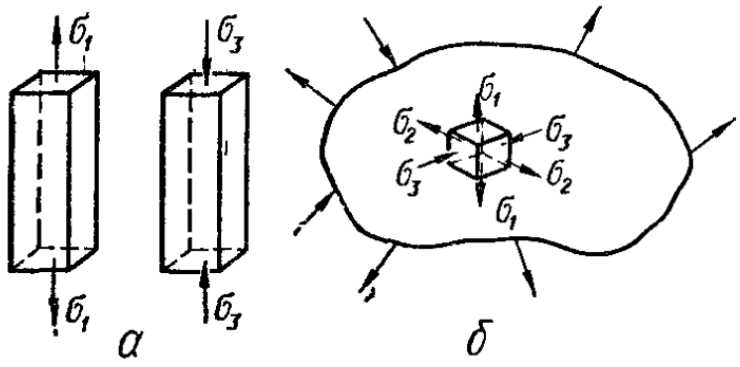


Рисунок 28 – Схема напряженного состояния материалов

Решение данной сложной прочностной задачи заключается в установлении критерия прочности (критерий предельного напряженно-деформированного состояния) [104]. Для этого вводят гипотезу о преимущественном влиянии на прочность материала того или иного фактора: полагают, что нарушение прочности при любом напряженном состоянии наступит только тогда, когда величина данного фактора достигнет некоторого предельного значения. Предельное значение фактора, определяющее прочность, находят на основании простых, легко осуществимых опытов (на растяжение, сжатие, кручение и т.д.).

Предельное состояние материала допустить нельзя. Поэтому при расчете на прочность ориентируются на так называемое допускаемое состояние. Оно соответствует нагрузке, полученной путем деления нагрузки, вызывающей предельное состояние, на некоторый коэффициент запаса. Если в двух напряженных состояниях коэффициенты запаса равны, то они называются равноопасными. Под коэффициентом запаса в общем случае понимают число n, показывающее во сколько раз нужно одновременно увеличить все компоненты напряженного состояния σ_1, σ_2, σ_3, чтобы оно стало предельным: $\sigma_1^0 = n\sigma_1$; $\sigma_2^0 = n\sigma_2$; $\sigma_3^0 = n\sigma_3$.

Коэффициент запаса по эквивалентным напряжениям представляет собой отношение допускаемых напряжений [σ] для данного материала к эквивалентным напряжениям:

$$K_{зап} = \frac{[\sigma]}{\sigma_{экв}}, \quad (1)$$

Коэффициент запаса по нормальным напряжениям по первой теории прочности вычисляется следующим образом:

$$K_n = \frac{[\sigma]}{\sigma_1}, \quad (2)$$

Коэффициент запаса по касательным напряжениям по третьей теории прочности вычисляется следующим образом:

$$K_\tau = \frac{[\sigma]}{2 \cdot \tau_{\max}}, \text{ где } \tau_{\max} = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2}, \quad (3)$$

Таким образом, введение критерия прочности позволяет сопоставить данное сложное напряженное состояние с простым, например, с одноосным растяжением, и установить при этом такое эквивалентное (расчетное) напряжение, которое в обоих случаях дает одинаковый коэффициент запаса. Условие прочности записывается в виде $\sigma_{экв} \le [\sigma]$.

1.9 Цель, задачи и этапы исследований

Сверление – это сложный процесс механической обработки металлов. При анализе параметров работы сборных сверл необходимо учитывать особенности этого процесса. В результате информационного анализа литературы, публикаций в отечественной и зарубежной периодической печати, нормативно-справочной информации, патентных материалов можно сделать следующие выводы:

1. В настоящее время на практике применяют три основных вида твердосплавных сверл: 1. - Цельные сверла; 2. - Сборные сверла со сменными

режущими пластинами, центральной и периферийной; 3. - Сборные сверла со сменными режущими головкам;

2. Сверла со сменными твердосплавными режущими головками, так же как и цельные твердосплавные сверла работают на средних скоростях резания с повышенными подачами, а сверла с механическим креплением режущих пластин применяют при высоких скоростях резания с меньшими подачами (по данным Mitsubishi, Walter и Sandvik Coromant);

3. Режущие твердосплавные элементы сборных сверл имеют несколько режущих кромок, каждая из которых работает в различных условиях. Режущие головки имеют, как правило четыре режущих кромки (две ленточки и две главные режущие кромки, перемычка у режущих головок практически отсутствует, в отличие от цельных быстрорежущих сверл). Сборное сверло оснащенное сменными режущими твердосплавными пластинами, как правило, имеет центральную и периферийную пластины, у каждой из которых одна или две режущие кромки (реже встречаются сборные сверла оснащенные одной, тремя и более пластинами);

4. В отличии от цельных быстрорежущих сверл у режущих твердосплавных элементов сборных сверл значения передних и задних углов вдоль главных режущих кромок постоянны (значения переднего угла вдоль главной режущей кромки твердосплавной головки меняются незначительно);

5. Сверла, оснащенные твердосплавными режущими элементами, как правило, работают при высоких скоростях, что приводит к нестабильности процесса резания и возникновению вибраций, что пагубно сказывается на прочностных свойствах твердого сплава режущих пластин и головок сборного сверла.

На основе выводов и приведенных выше материалов установлено, что повышение работоспособности сборных сверл со сменными режущими элементами из инструментальных твердых сплавов является актуальной задачей.

Целью диссертационной работы является повышение работоспособности сборных сверл путем снижения значений опасных напряжений растяжения σ_1 в режущих лезвиях, на основе исследования напряженного состояния и прочности режущих твердосплавных элементов.

Для достижения поставленной цели необходимо решить задачи:

1. Провести анализ литературных источников и патентов по теме диссертационной работы.
2. Разработать метод численного исследования напряженного состояния и прочности сменных режущих элементов сборных сверл на основе конечных элементов.
3. Исследовать влияние форм, схем базирования и крепления сменных режущих элементов сборных сверл на их напряженное состояние (НС) и прочность.
4. Исследовать влияние изменения нагрузки, в условиях радиального биения вспомогательных режущих кромок сменных режущих головок сборных сверл, на напряженное состояние режущего лезвия.
5. Разработать методику выбора или расчета и проектирования сменных режущих твердосплавных элементов и сборных сверл повышенной работоспособности.
6. Разработать новые конструкции высокопрочных сменных режущих твердосплавных элементов сборных сверл повышенной работоспособности.

ГЛАВА 2. МЕТОД РАСЧЕТА НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ И ПРОЧНОСТИ СМЕННЫХ ТВЕРДОСПЛАВНЫХ РЕЖУЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ СБОРНЫХ СВЕРЛ

2.1 Расчет сил резания

В каталогах инструментальных фирм - производителей сборного режущего инструмента фирм Garant [102] и Sandvik Coromant [83], приведена методика расчета сил резания для токарных резцов, фрез, сверл и т.д. , через удельные нагрузки k_c (Н/мм^2), действующие на площадь поперечного сечения стружки А (мм^2).

Главная составляющая силы резания P_z нагружает механизм главного привода станка и определяет мощность, расходуемую в процессе резания. Величина силы P_z в первую очередь зависит от свойств подлежащего обработке материала и от параметров резания (геометрия режущей части, ширина и толщина срезаемого слоя и т.д.). Поэтому она определяется с учетом поперечного сечения стружки А для конкретного вида обработки.

При токарной обработки для определения силы резания P_z справедлива формула:

$$P_c = A \cdot k_c = a \cdot b \cdot k_c \quad , \tag{4}$$

где A – поперечное сечение стружки (мм^2);

b – ширина срезаемого слоя (мм);

a - толщина срезаемого слоя (мм);

k_c – удельная сила резания (Н/мм^2).

По материалам фирмы Garant на удельную силу резания k_c оказывает влияние свойства обрабатываемого материала. Но в то же время, она является теоретическим расчетным значением и не рассматривается в

качестве числовой характеристики материала. Для определения силы резания k_c справедлива формула:

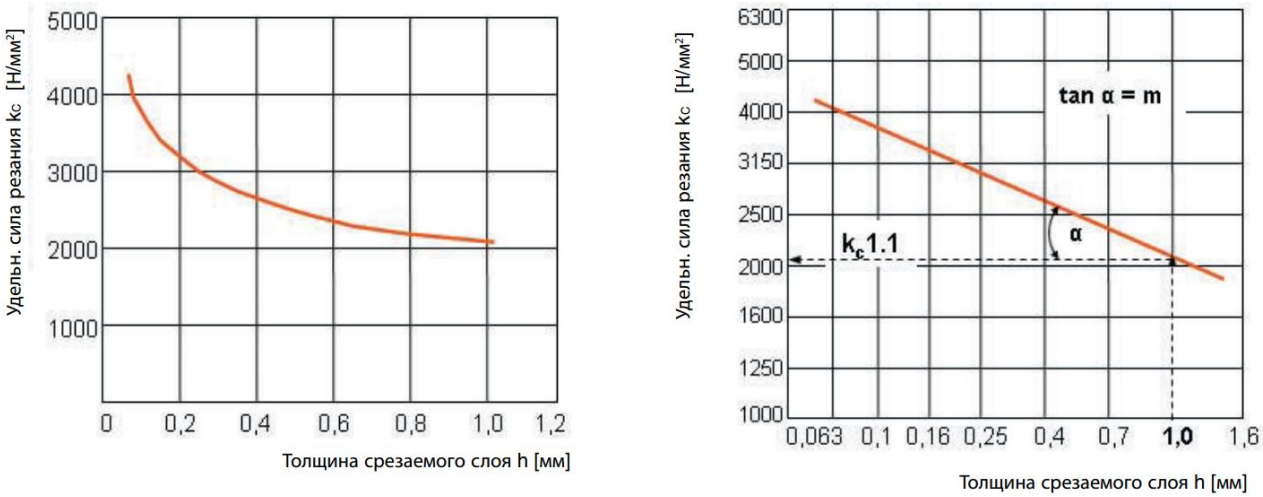
$$k_c = \frac{k_{c1.1}}{h^m}, \tag{5}$$

где $k_{c1.1}$ – удельная сила резания при поперечном сечении стружки

A = 1 мм^2 (b = 1 мм, a = 1 мм)

m – Тангенс угла наклона α

На рисунке 29 представлена зависимость удельной силы резания k_c от толщины срезаемого слоя *a* (в зарубежной литературе обозначается как h).



а) б)

Рисунок 29 - Зависимость удельной силы резания k_c от толщины срезаемого слоя h: а) – арифметическая зависимость; б) – Двойная логарифмическая зависимость.

Удельная сила резания на 1мм^2 сечения стружки $k_{c1.1}$ и тангенс угла наклона α зависит от свойств обрабатываемого материала, и это было определено для различных материалов фирмой Garant экспериментальным путем.

Значение удельной силы резания $k_{c1.1}$ представленны в Таблице П.3.1. Приложения №3 действительны при следующих условиях:

- инструментальные материал: твердый сплав;

- скорость резания 100 м/мин;

- передний угол γ = 6° для стали и γ = 2° для чугуна;

- главный угол в плане φ = 45° (в зарубежной литературе обозначается как K).

- острая режущая кромка.

В случае отклонений от заданных параметров резания необходимо вводить поправочные коэффициенты в Таблице №3 для расчета силы резания P_z:

- поправочный коэффициент для переднего угла k_γ;

- поправочный коэффициент для скорости резания k_v;

- поправочный коэффициент для инструментального материала k_u;

- поправочный коэффициент на уровень износа инструмента k_h.

Таблица №3

Определение поправок для расчета главной составляющей силы резания P_z

	Формула / диапазон величин	Примечание
k_γ	$k_\gamma = 1 - \frac{\gamma - \gamma_k}{66{,}7^o}$	γ – фактический передний угол γ_k = 6° для стали γ_k = 2° для чугуна
k_v	При V > 80 м/мин можно пренебречь	инструментальный материал твердый сплав
	1,15	инструментальный материал быстрорежущая сталь
k_u	1	твердый сплав
	0,9…0,95	минералокерамика
k_h	1	острый инструмент
	1,3…1,5	изношенный инструмент

Расчет главной составляющей силы резания P_z может быть осуществлен с применением различных методик. Сравнение результатов расчета сил резания при токарной обработке по разным методикам [41], [79], [80], [88], [89], [102] с экспериментальными исследованиями динамометрией

при точении представлены в таблице №4. Эксперимент проводился при обработке стали 40Х, сборным токарным резцом с режущей пластиной из ВК8 с геометрическими параметрами: $\varphi = 45°$; $\gamma = 5°$; $\lambda = 0°$; $\varphi_1 = 45°$ и параметрами резания: V=100 м/мин S=0,23 мм/об, для различных значений глубины резания t. Результаты сравнительного анализа показали, что расчет по предлагаемой методике представленной в каталоге фирмы Garant ,через удельные нагрузки k_c (Н/мм^2), действующие на площадь поперечного сечения стружки А (мм^2), позволяет более точно определять главную составляющую силы резания P_z. Среднее отклонение расчетов от результатов эксперимента по данной методике составила 14,3%.

Таким образом, в дальнейшем при расчетах сил резания используется методика представленная в каталоге фирмы Garant.

Таблица №4

Результаты расчета главной составляющей силы резания P_z по разным методикам

	Pz , Н эксперимент	Pz , Н эмпир.	% отклонения от рез-ов эксп.	Pz , Н эмпир.	% отклонения от рез-ов эксп.	Pz , Н аналит.	% отклонения от рез-ов эксп.
	ЭКСПЕРИМЕНТ	Удельные силы Garant Справочник [102]		Косилова А.Г. 1985 [89]		Розенберг Ю.И. Тахман С.И. 1995 [80]	
t=0,5 мм	346,5	259,3	25,17	206	40,55	382	-10,25
t=1 мм	598,5	518,5	13,37	412	31,16	767	-28,15
t=1,5 мм	850,5	777,8	8,55	618	27,34	1149,7	-35,18
t=2 мм	1165,5	1037	11,03	824	29,30	1541,85	-32,29
t=2,5 мм	1417,5	1296,3	8,55	1030	27,34	1930,85	-36,22
t=3 мм	1858,5	1555,5	16,30	1235	33,55	2318,35	-24,74
t=3,5 мм	2189,25	1814,8	17,10	1442	34,13	2704,74	-23,55
			14,29		31,91		-27,20

Силу подачи P_x и радиальную составляющую сил резания P_y можно определить по следующим зависимостям:

$$P_x = b \cdot k_{f1.1} \cdot a^{1-m_f}; \quad (6)$$

$$P_y = b \cdot k_{p1.1} \cdot a^{1-m_p}, \quad (7)$$

где b – ширина срезаемого слоя (мм);

a – толщина срезаемого слоя (мм);

$k_{f1.1}$ и $k_{p1.1}$ – показатель удельного давления (Н/мм^2);

$1\text{-}m_f$ и $1\text{-}m_p$ – показатель степени.

Основные показатели удельных сил резания, подачи $k_{f1.1}$ и радиальной $k_{p1.1}$ включая их показатели степени, для разных обрабатываемых материалов, представлены в таблице П.3.2. Приложения №3.

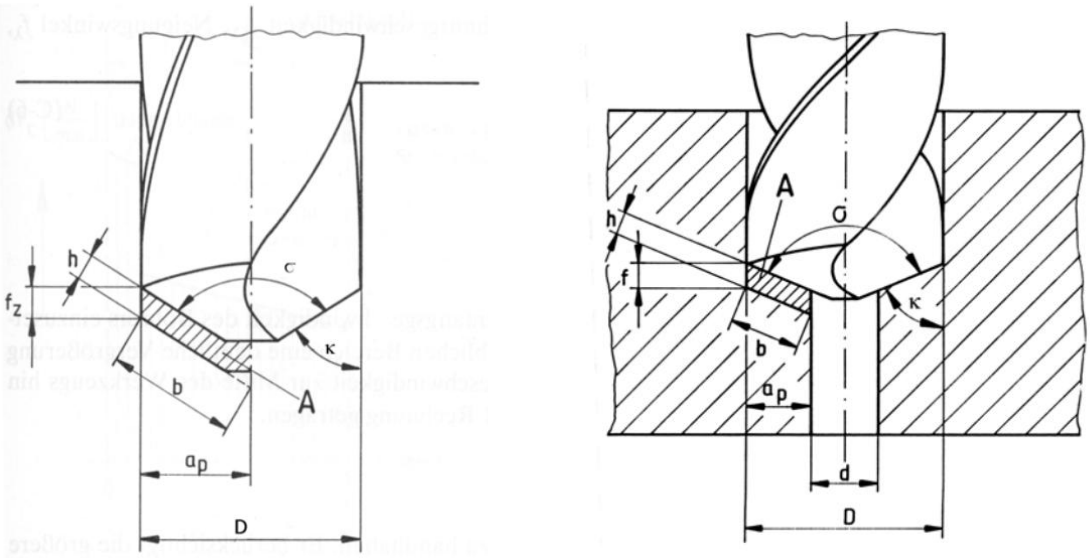
2.2 Задания граничных условий и расчет сил резания при сверлении сверлами разных видов

Для цельного спирального сверла и сборного сверла со сменной режущей головкой с 2 главными режущими кромками (z = 2) справедливо, что значение подачи на зуб S_z = S/2 (мм/об) (в зарубежной литературе обозначается как *f*), а глубина резания определяется, как t = D/2 (мм) (в зарубежной литературе обозначается как a_p). Следовательно, поперечное сечение стружки А при сверлении на каждой из главных режущих кромок, которое схематично обозначено на рисунке 30,а , можно найти по формуле:

$$A = \frac{D \cdot S}{4}; \quad (8)$$

при рассверливании, которое схематично обозначено на рисунке 30,б , учитывая что глубина резания t = (D – d)/2 (мм) можно определить по формуле:

$$A = \frac{(D-d)\cdot S_z}{2}. \qquad (9)$$



а) б)

Рисунок 30 - Поперечное сечение стружки при а) сверлении; б) рассверливании

Для сверл со сменными режущими пластинами принимают z=1, поскольку на центральную и периферийную режущею пластину распределяются ширина срезаемого слоя $b = b_ц + b_п$ ($b_ц$ – ширина срез центральной пластиной, а $b_п$ – ширина срез периферийной пластиной). Значение подачи S остается неизменным.

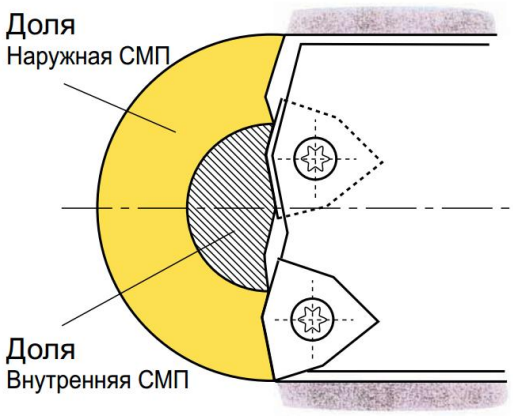
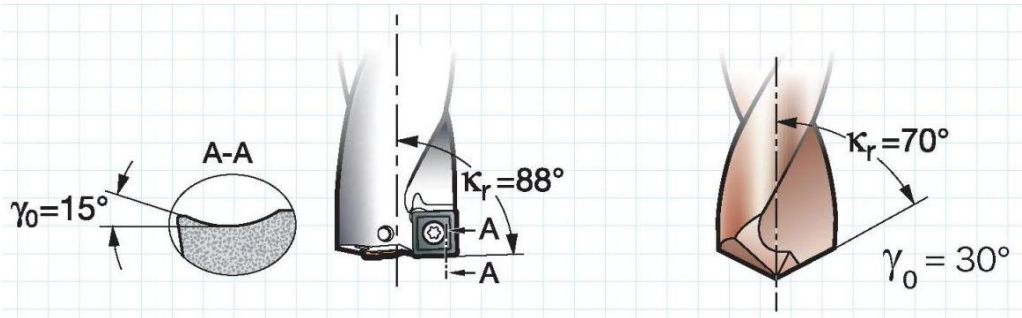


Рисунок 31- Распределение срезаемого слоя на сверле с СМП

На инструментах со сменными режущими пластинами главный угол в плане φ (в зарубежной литературе обозначается как K) для каждой режущей пластины может быть разным, что влияет на толщину срезаемого слоя.

Для определения удельной силы резания k_c для разных типов сверл в каталогах инструментальной фирмы Sandvik Coromant рекомендуют использовать формулу:

$$k_c = k_{c1} \cdot (S_z \cdot \sin\varphi)^{-m_c} \cdot \left(1 - \frac{\gamma_0}{100}\right); \qquad (10)$$



$$k_c = k_{c1} \times (f_z \times \sin \kappa_r)^{-m_c} \times \left(1 - \frac{\gamma_0}{100}\right)$$

ISO	CMC No.	Material	Specific cutting force kc 1 N/mm²	Hardness Brinell HB	m_c	Ma Cu
P		**Steel**				
		Unalloyed				
	01.1	C = 0.1–0.25%	1500	125	0.25	
	01.2	C = 0.25–0.55%	1600	150	0.25	
	01.3	C = 0.55–0.80%	1700	170	0.25	
	01.4	High carbon steel, annealed	1800	210	0.25	
	01.5	Hardened and tempered	2000	300	0.25	
		Low alloyed (alloying elements ≤ 5%)				
	02.1	Non-hardened	1700	175	0.25	
	02.2	Hardened and tempered	1900	300	0.25	
		High alloyed (alloying elements > 5%)				

Рисунок 32 - Определение удельных нагрузок по каталогам фирмы Sandvik Coromant [60], [83].

Для расчета главной составляющей силы резания P_z при сверлении можно использовать формулу (4) для расчета P_z при токарной обработке. В случае сверления следует ввести поправочный коэффициент f_B, учитывающий изменение факторов влияния на главную составляющую силы резания по сравнению с точением (форма режущей кромки, скорость резания и т.д.). Таким образом, при сверлении для расчета главной составляющей силы резания P_z используем формулу:

$$P_z = \frac{D}{2} \cdot S_z \cdot k_c \cdot f_B \cdot z\,; \tag{11}$$

при рассверливании используем формулу:

$$P_z = \frac{(D-d)}{2} \cdot S_z \cdot k_c \cdot f_B \cdot z\,, \tag{12}$$

где f_B – поправочный коэффициент (для сверления f_B=1; для рассверливания f_B=0,95);

D – диаметр отверстия (мм);

d – диаметр предварительно просверленного отверстия (мм);

S_z – подача на зуб (мм/об);

k_c – удельная сила резания (Н/мм^2) (зависит от свойств обрабатываемого материала).

Для расчета крутящего момента при сверлении в каталоге фирмы Garant [99] рекомендуют использовать формулу:

$$M = \frac{P_z \cdot z \cdot D}{2000}\,; \tag{13}$$

А для расчета крутящего момента при рассверливании рекомендуют:

$$M = \frac{P_z \cdot z \cdot (D+d)}{2000}\,. \tag{14}$$

По данным каталогов фирмы Sandvik Coromant [60], [83] для расчета осевой силы резания рекомендуют использовать формулу:

$$P_{oc} \approx 0{,}5 \cdot k_c \cdot \frac{D}{2} \cdot S \cdot \sin\varphi\,; \tag{15}$$

Причем значение подачи S для цельных и сборных сверл со сменными режущими головками соответствует $S=2S_z$, для сборных сверл со сменными режущими пластинами соответствует, что $S=S_z$.

Таким образом, для задания граничных условий и расчета сил резания при сверлении получена следующая система выражений:

$$\begin{cases} P_{oc} = 0.5 \cdot k_{c1} \cdot (s_z \cdot \sin\varphi)^{-m_c} \cdot (1 - \frac{\gamma}{100}) \cdot \frac{D}{2} \cdot s \cdot \sin\varphi; \\ P_z = \frac{D}{2} \cdot s_z \cdot k_{c1} \cdot (s_z \cdot \sin\varphi)^{-m_c} \cdot (1 - \frac{\gamma}{100}) \cdot z; \\ M_{кр} = \frac{P_z \cdot z \cdot D}{2000}. \end{cases} \quad (16)$$

Для проверки предлагаемой системы выражений были проведены экспериментальные исследования сил резания при сверлении стали 12Х18Н10Т сборным режущим сверлом со сменной режущей головкой и сборным сверлом со сменными режущими пластинами.

Результаты экспериментального проверки расчета сил резания для сборных сверл со сменными режущими пластинами, по предлагаемым выражениям, представлены в 3 главе. Они проводились при режимах резания: скорости и резания V = 150 м/мин и разных значениях подачи s мм/об (в интервале 0,01 – 0,07 мм/об).

Результаты экспериментального проверки расчета сил резания для сборных сверл со сменными режущими головками по предлагаемым выражениям представлены в 4 главе. Они проводились при рекомендуемых [60], [83], [102] для данного обрабатываемого материала, режимах резания: подаче s=0,2 мм/об и разных скоростях резания V м/мин (в интервале 50 - 75 м/мин).

Анализ результатов эксперимента позволил установить, что предлагаемая методика расчета сил резания может быть применима для имитационного моделирования процесса резания различными типами сверл.

Под нагруженностью режущих кромок сверла [27] понимают величину и характер распределения по их длине удельных нагрузки. Их определение возможно, на основе предложенной выше методики расчета суммарных сил резания при сверлении различными типами сверл.

Если режущие кромки цельного сверла и сверла сменной режущей головкой разделить на n равных участков, а у сборного сверла со сменными режущими пластинами режущие кромки центральной и периферийной пластин на число участков будет равно $n = n_ц + n_п$ ($n_ц$ и $n_п$ число равных участков на режущих кромках центральной и периферийной пластин), то:

$$P_{oc} = \sum_{i=1}^{n} P_{oci} \; ; \tag{17}$$

$$P_z = \sum_{i=1}^{n} P_{zi} \; . \tag{18}$$

При этом удельные составляющие сил резания на каждом участке определяются по формулам:

$$\Delta P_{oc(i=n)} = P_{ocn} - P_{oc(n-1)} ; \tag{19}$$

$$\Delta P_{z(i=n)} = P_{zn} - P_{z(n-1)} . \tag{20}$$

Результаты расчета удельных нагрузок действующих на режущие лезвия для сверл разных видов Ø25 мм по предлагаемой методике представлены в таблицах №5-7.

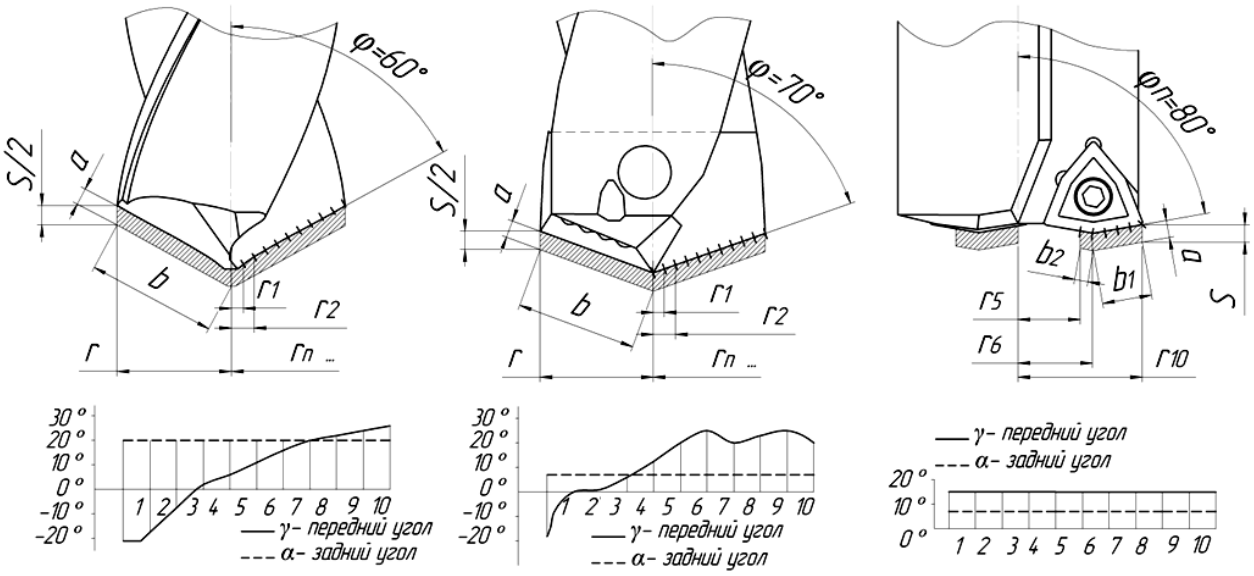


Рисунок 33 – Схемы распределения срезаемого слоя и геометрические параметры режущих лезвий разных видов сверл

Таблица №5

Результаты расчета удельных нагрузок действующих на режущие лезвия цельного сверла Ø25 мм

Обр-мат-л k_{c1}	n	D мм	S мм/об	φ	γ	m_c	P_{oc}	ΔP_{oci}	$M_{кр}$	P_z	ΔP_{zi}
2400		0,5	0,2	60	-22	0,21	193,909	-	0,03132	125,2819	-
2400	1	2,5	0,2	60	-12	0,21	890,0741	890,0741	0,718831	575,0645	575,0645
2400	2	5	0,2	60	-5	0,21	1668,889	778,8148	2,695615	1078,246	503,1814
2400	3	7,5	0,2	60	5	0,21	2264,921	596,0318	5,487502	1463,334	385,0878
2400	4	10	0,2	60	8	0,21	2924,529	659,6085	9,447488	1889,498	426,1639
2400	5	12,5	0,2	60	15	0,21	3377,513	452,9841	13,63853	2182,164	292,6668
2400	6	15	0,2	60	18	0,21	3909,968	532,4551	18,94632	2526,176	344,0118
2400	7	17,5	0,2	60	20	0,21	4450,371	540,4021	25,15907	2875,322	349,1463
2400	8	20	0,2	60	22	0,21	4958,984	508,6138	32,03931	3203,931	328,6083
2400	9	22,5	0,2	60	24	0,21	5435,81	476,8254	39,51001	3512,001	308,0703
2400	10	25	0,2	60	25	0,21	**5960,318**	524,508	48,13598	**3850,878**	338,8773
								5960,318			**3850,878**

Таблица №6

Результаты расчета удельных нагрузок действующих на режущие лезвия сборного сверла со сменной режущей головкой Ø25 мм

Обр-мат-л k_{c1}	n	D мм	S мм/об	φ	γ	m_c	P_{oc}	ΔP_{oci}	$M_{кр}$	P_z	ΔP_{zi}
2400		0,5	0,2	70	-15	0,21	91,39154	-	0,029523	118,0936	-
2400	1	2,5	0,2	70	2	0,21	389,4074	389,4074	0,628977	503,1814	503,1814
2400	2	5	0,2	70	8	0,21	731,1323	341,7249	2,361872	944,7488	441,5674
2400	3	7,5	0,2	70	16	0,21	1001,333	270,2011	4,852107	1293,895	349,1463
2400	4	10	0,2	70	26	0,21	1176,169	174,836	7,599067	1519,813	225,9182
2400	5	12,5	0,2	70	24	0,21	1509,947	333,7778	12,19445	1951,112	431,2984
2400	6	15	0,2	70	22	0,21	1859,619	349,672	18,02211	2402,948	451,8364
2400	7	17,5	0,2	70	26	0,21	2058,296	198,6773	23,27214	2659,673	256,7252
2400	8	20	0,2	70	24	0,21	2415,915	357,6191	31,21779	3121,779	462,1054
2400	9	22,5	0,2	70	22	0,21	2789,429	373,5132	40,54975	3604,422	482,6434
2400	10	25	0,2	70	20	0,21	**3178,836**	389,4074	51,34504	4107,604	503,1814
								3178,836			**4107,604**

Таблица №7

Результаты расчета удельных нагрузок действующих на режущие лезвия сборного сверла со сменными режущими пластинами Ø25 мм

Обр-мат-л k_{c1}	n	D мм	S мм/об	φ	γ	m_c	P_{oc}	ΔP_{oci}	$M_{кр}$	P_z	ΔP_{zi}
2400		0,5	0,2	80	15	0,21	13,70978	-	0,006668	26,67383	-
2400	1	2,5	0,2	80	15	0,21	90,75595	90,75595	0,154728	123,7822	123,7822
2400	2	5	0,2	80	15	0,21	181,5119	90,75595	0,618911	247,5645	123,7822
2400	3	7,5	0,2	80	15	0,21	272,2678	90,75595	1,39255	371,3467	123,7822
2400	4	10	0,2	80	15	0,21	363,0238	90,75595	2,475645	495,129	123,7822
2400	5	12,5	0,2	80	15	0,21	453,7797	90,75595	3,868195	618,9112	123,7822
2400	6	15	0,2	80	15	0,21	544,5357	90,75595	5,570201	742,6935	123,7822
2400	7	17,5	0,2	80	15	0,21	635,2916	90,75595	7,581663	866,4757	123,7822
2400	8	20	0,2	80	15	0,21	726,0476	90,75595	9,90258	990,258	123,7822
2400	9	22,5	0,2	80	15	0,21	816,8035	90,75595	12,53295	1114,04	123,7822
2400	10	25	0,2	80	15	0,21	**907,5595**	90,75595	15,47278	**1237,822**	123,7822
								907,5595			**1237,822**

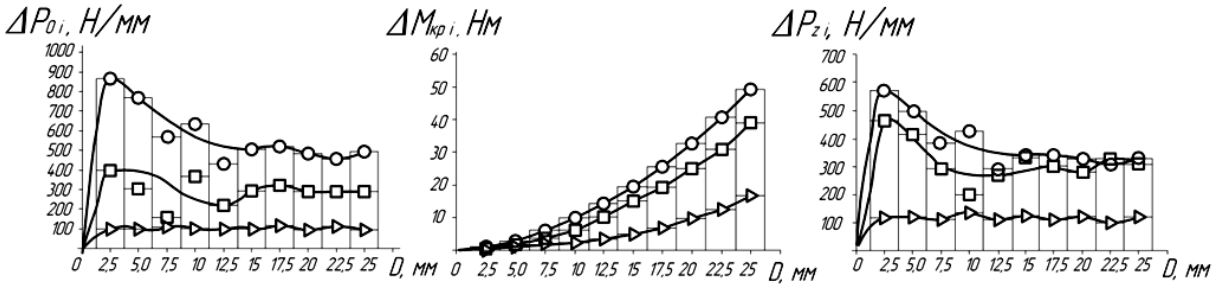


Рисунок 34– Распределение удельных нагрузок на режущие лезвия сверл разных видов Ø25 мм:○- цельное сверло; □- сборное сверло со сменной режущей головкой; Δ- сборное сверло с СРП

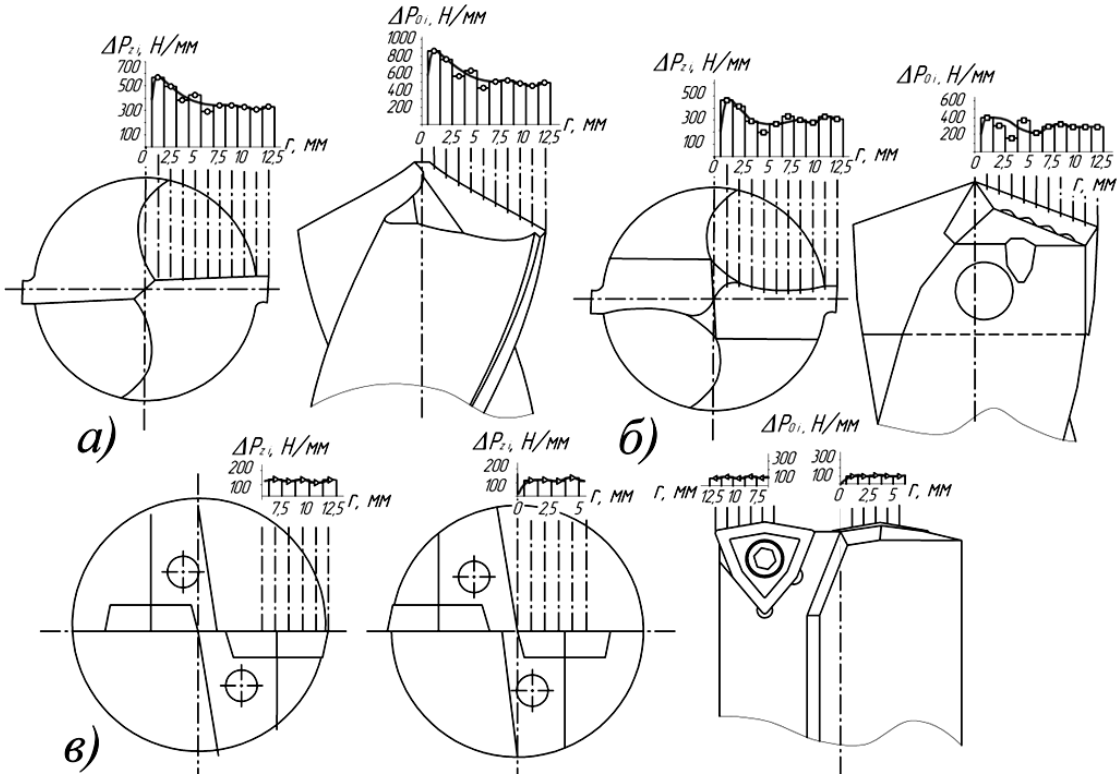


Рисунок 35 – Схемы распределения удельных нагрузок на режущие лезвия сверл (Ø25 мм) разных видов: а) - цельное сверло; б) - сборное сверло со сменной режущей головкой; в) - сборное сверло с СРП

2.3 Тестовые задачи

2.3.1 Тестовая задача №1 «Задача силового нагружения вершины клина»

Для определения возможности применения МКЭ для решения поставленных задач была решена тестовая задача силового нагружения вершины клина. Эта задача имеет аналитическое решение [6], [7]. Расчет проводится в системе полярных координат. Напряжения $\sigma_{\varphi\varphi}$ и $\sigma_{r\varphi}$ принимают равными нулю. При увеличении параметра r до бесконечности напряжения σ_{rr} стремятся к 0. Значимые по величине напряжения σ_{rr} сконцентрированы у вершины, поэтому мы рассматриваем конечную область объекта.

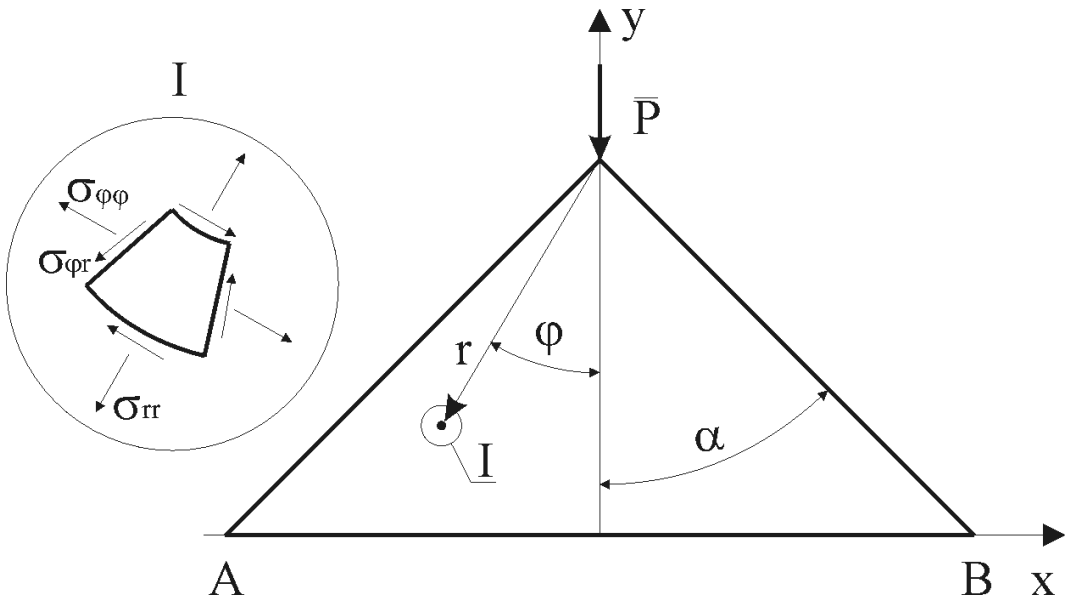


Рисунок 36 - Расчетная схема решения тестовой задачи по формулам теории упругости [7].

$$\sigma_{rr} = -\frac{2\mathrm{P}\cos\varphi}{(2\alpha + \sin 2\alpha)rd}, \qquad (21)$$

где P – сила, приложенная к клину;

φ – угол между осью симметрии клина и направлением напряжения;

r – расстояние от вершины до исследуемой точки;

2α – угол при вершине клина;

d – толщина модели.

Применяя программу T-Flex для решения поставленной задачи необходимо правильно задать граничные условия. Исходными данными являются следующие параметры: AB = 20 мм, $\alpha = 45^{O}$, P = 1 Н, построена плоская модель клина d=1. Как представлено на рисунке 37, на нижней грани треугольника заданы жесткие граничные условия, исключающие любое перемещение объекта.

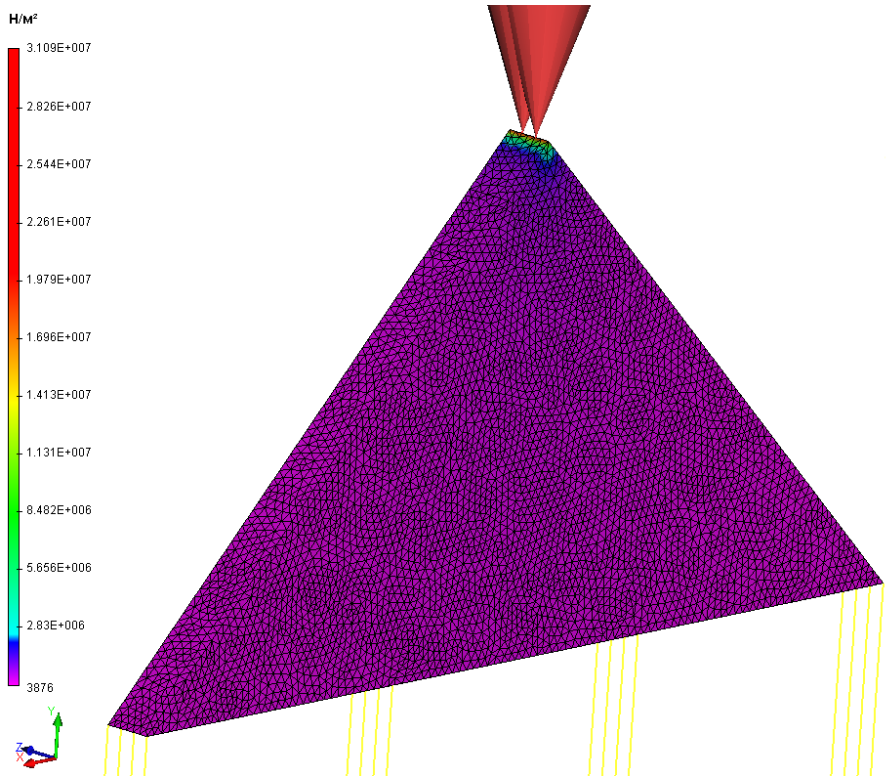


Рисунок 37 - Расчетная схема решения тестовой задачи с помощью МКЭ.

При расчетах принимались следующие физико-механические характеристики твердого сплава ВК8 [5],[6],[42],[44]:

- плотность ρ = 14500 Кг/ м^3 =0,0000145 кг/мм^3;
- предел прочности на разрыв $\sigma_{разрыв}$ = 588000000 Н/м^2 =588 Н/мм^2;
- предел прочности на сжатие $\sigma_{сжатие}$ = 3234000000 Н/м^2 = 3234 Н/мм^2;
- модуль упругости E = 529200000000 Н/м^2 = 529200 Н/мм^2;
- коэффициент Пуасона μ = 0,21.

В таблице 1 показаны результаты расчетов напряжений тестовой задачи теоретически и с помощью МКЭ с шагом сетки разбивки 0,05 мм КЭ по всей площади.

Таблица №8

Результаты расчетов при размере элемента 0,05 мм

r, мм	$-\sigma_{тг}$ МН/м^2, φ=45		r, мм	$-\sigma_{тг}$ МН/м^2, φ=0	
	МКЭ	Теоретическое решение		МКЭ	Теоретическое решение
0	17,97	∞	0	17,97	∞
0,1	13,34	12,62	0,1	14,47	12,62
0,2	8,28	6,31	0,2	10,22	6,31
0,3	4,29	4,21	0,3	7,31	4,21
0,4	3,29	3,16	0,4	5,47	3,16
0,5	2,76	2,52	0,5	4,07	2,52
0,6	2,37	2,10	0,6	3,48	2,10
0,7	2,00	1,80	0,7	2,93	1,80
0,8	1,62	1,58	0,8	2,51	1,58
0,9	1,45	1,40	0,9	2,20	1,40
1	1,25	1,26	1	1,92	1,26
Коэф-т корреляции		0,991	Коэф-т корреляции		0,973

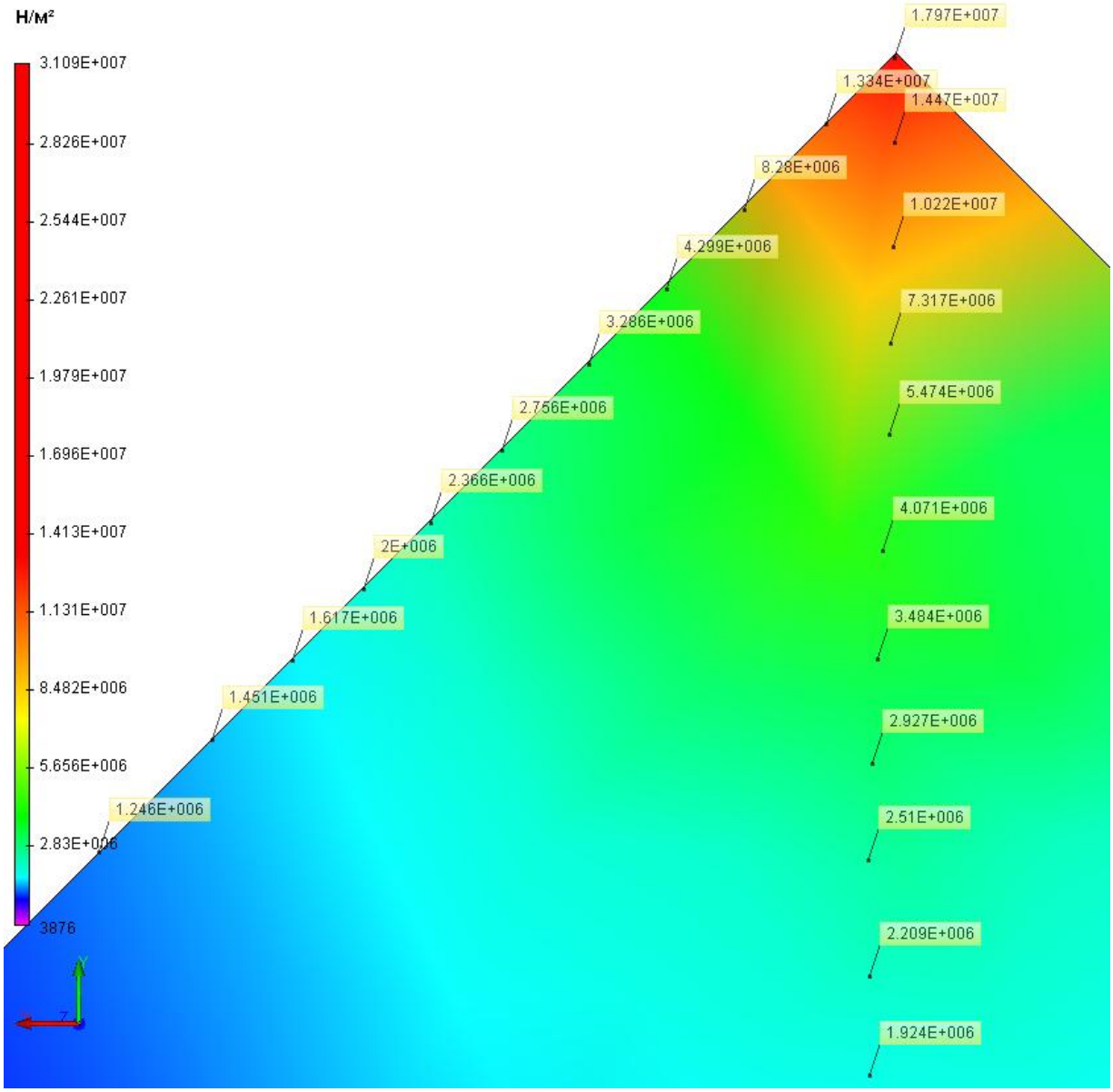


Рисунок 38 - Результат расчета тестовой задачи с помощью МКЭ с шагом сетки разбивки 0,05 мм.

По результатам расчета, которые представлены на рисунке 39, построен график распределения напряжений $\sigma_{тг}$, полученных двумя различными методами.

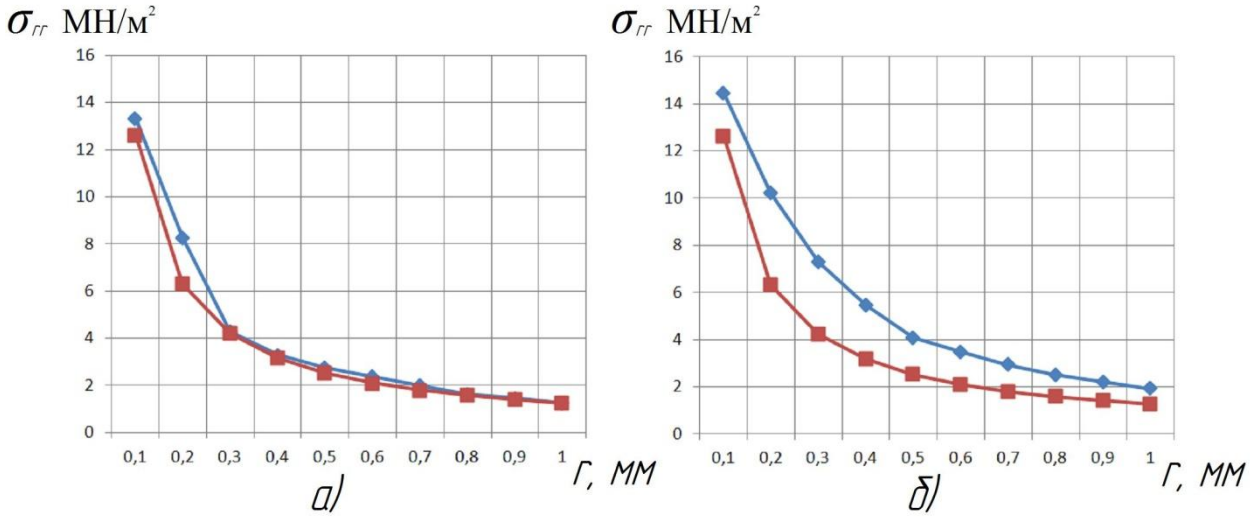


Рисунок 39 - Зависимость радиального напряжения σ_{rr} от радиуса r угла φ: а) при $\varphi=45^0$, б) при $\varphi=0^0$ ■ – аналитическое решение; ♦ - результаты полученные с помощью МКЭ

Идентичный характер полученных кривых позволяет нам утверждать о возможном применении программы T-Flex [103] при расчете деформаций и напряжений в режущем клине с точностью допустимой для инженерных расчетов.

2.3.2 Тестовая задача №2 «Кручение стержня с круглым поперечным сечением»

Рассмотрев стержень длиной *l* с круглым поперечным сечением и радиусом R.

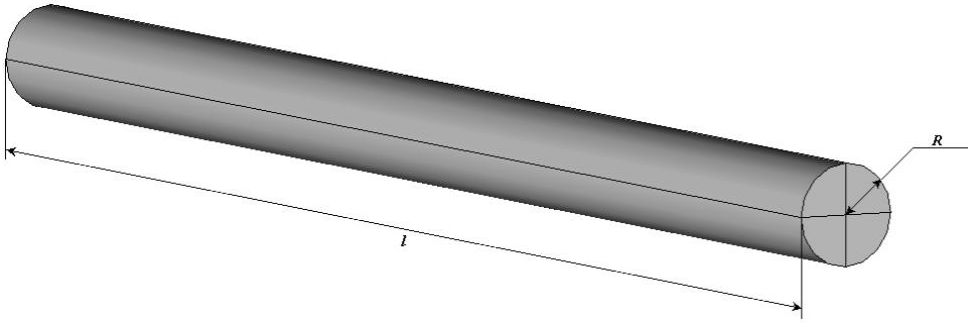


Рисунок 40 - Стержень длиной *l* с круглым поперечным сечением и радиусом R

Стержень находится под действием внешнего скручивающего момента $M_{кр}$. Момент приложен на правом конце стержня, левый конец стержня жестко закреплен.

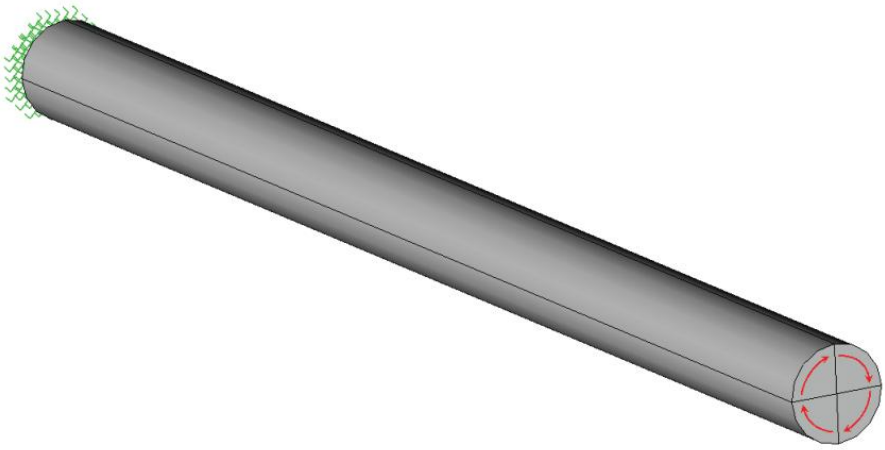


Рисунок 41 – Схема нагружения стержня для решения тестовой задачи

Исходные данные: длина l = 0,175 м, радиус поперечного сечения R = 0,0125 м , величина приложенного крутящего момента $M_{кр}$ = 100 Н·м.

- модуль упругости E = 529200000000 Н/м^2 = 5,3 Па

- коэффициент Пуасона μ = 0,21

Для определения угла закручивания воспользуемся соотношением [14]:

$$\varphi = \int_0^z \frac{M_{кр}}{GJ_p} \partial z + \varphi_0 , \qquad (22)$$

где φ_0 – угол поворота сечения z = 0 , $G = \frac{E}{2 \cdot (1+\mu)}$ - модуль сдвига, $J_p = \frac{\pi R^4}{2}$ - полярный момент инерции круглого сечения.

По условию левый конец стержня жестко закреплен, следовательно, φ_0 = 0. Таким образом, на расстоянии z = 0.5l от жесткого закрепленного конца стержня угол закручивания φ определяется формулой:

$$\varphi_{0,5l} = \frac{0.5M_{кр}l}{GJ_p}, \qquad (23)$$

Получаем $\varphi_{0.5l}$ = 1,042 x 10^{-3} *рад*.

Проведя расчет с помощью программы T-Flex Анализ, получим:

Модуль перемещения (при z = 0,5*l*) Δu = 2,448 x 10^{-7} м

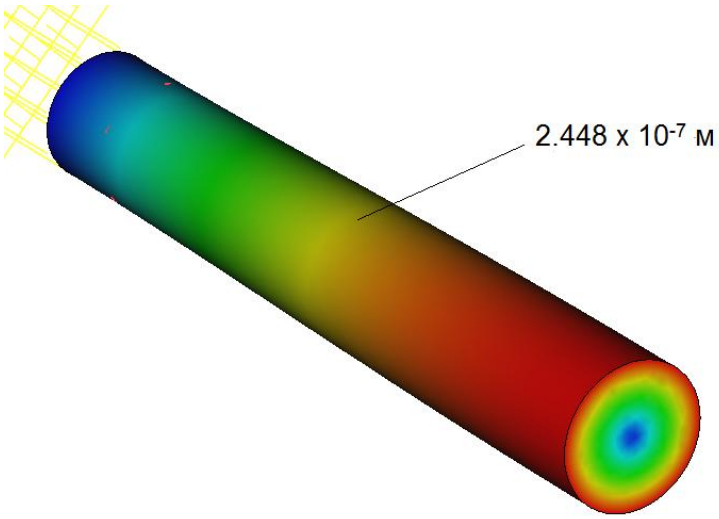


Рисунок 42 – Результаты расчета тестовой задачи

Таблица №9

Результаты расчета тестовой задачи

Численное решение Угол закручивания $\psi = \arcsin(\frac{\Delta u}{R})$, *рад*	Аналитическое решение Угол закручивания φ, *рад*	Отклонение численного решения от аналитического $\delta = \frac{\lvert\varphi - \psi\rvert}{\lvert\psi\rvert} \cdot 100\%$
$1{,}123 \cdot 10^{-3}$	$1{,}042 \cdot 10^{-3}$	7,773%

2.4 Выбор критерия прочности

Анализ видов отказа режущих твердосплавных элементов сборных сверл, проведенный в первой главе, показал, что их разрушение имеет хрупкий характер. В соответствии с теорией Писаренко Г.С. и Лебедева А.А.

процесс разрушения хрупких материалов состоит из двух стадий: первая – возникновение трещин; вторая – развитие и распространение трещин.

Теория прочности Писаренко-Лебедева [69] основана на предположении о том, что наступление предельного состояния обусловлено способностью материала оказывать сопротивление как касательным, так и нормальным напряжениям. Критерий прочности предлагается искать в виде инвариантных к напряженному состоянию функций касательных напряжений, например, октаэдрических касательных напряжений и максимального нормального напряжения.

Для материалов, обладающих существенной структурной неоднородностью [2], [48], [50], [69] (отдельные виды металлокерамики, графиты, пенопласты, каменное литье и т.п.), предложено условие прочности через эквивалентные напряжения:

$$\sigma_\eta = \chi\sigma_i + (1-\chi)\sigma_1 A^{1-J} \le \sigma_B \qquad (24)$$

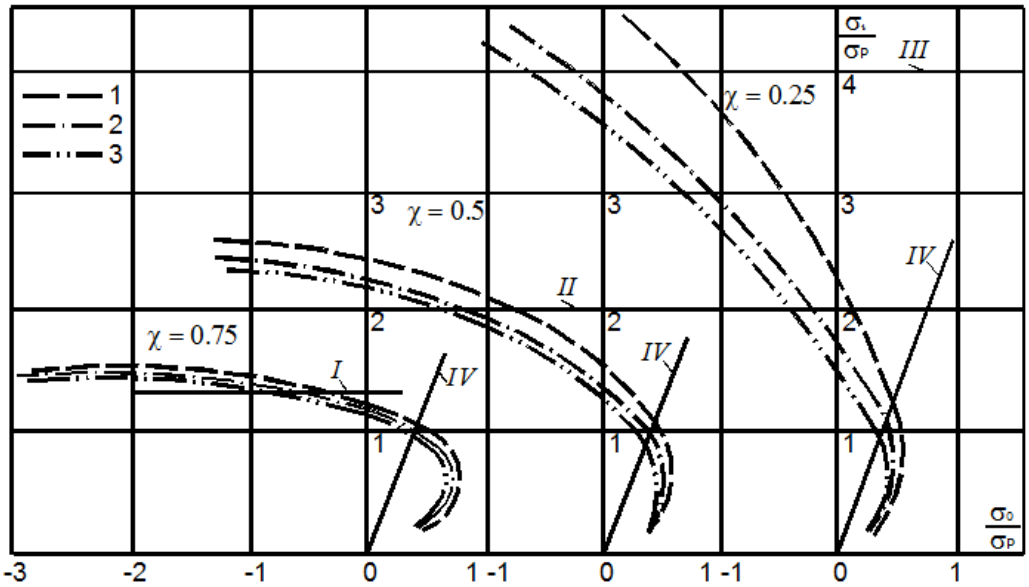
где $I = \dfrac{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3}{\sigma_i}$ - параметр напряженного состояния; А - параметр структуры материала. Величина А для сплавов WC-Co равна 0,8; для сплавов WC-TiC-Co равна 0,7.

Пределы прочности на растяжение $\sigma_в$, сжатие $\sigma_{-в}$, а следовательно, и параметр $\chi = \dfrac{\sigma_в}{\sigma_{-в}}$ зависят от температуры резания.

На рисунке 41 в относительных координатах $\dfrac{\sigma_1}{\sigma_p}, \dfrac{\sigma_0}{\sigma_p}$ представлены кривые $\mu_\sigma = const$.

Константа *A* во всех случаях принята равной 0,75. Из рисунков видны следующие общие закономерности изменения предельных поверхностей в

зависимости от значений параметра χ : по мере перехода к более хрупким материалам (меньшие значения χ) влияние шарового тензора и вида девиатора увеличивается. Так, если при $\chi = 0{,}75$ предельные поверхности незначительно отличаются от поверхности вращения, то при $\chi = 0{,}25$ девиаторные сечения имеют явно выраженную форму криволинейных треугольников.



ГЕОМЕТРИЧЕСКАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ КРИТЕРИЯ ПРОЧНОСТИ

$$I - \sigma_i = \frac{\sigma_P}{0{,}75}; \quad II - \sigma_i = \frac{\sigma_P}{0{,}5}; \quad III - \sigma_i = \frac{\sigma_P}{0{,}25}; \quad IV - \sigma_P = 3\sigma_0;$$

$$1 - \mu_\sigma = +1; \quad 2 - \mu_\sigma = 0; \quad 3 - \mu_\sigma = -1.$$

Рисунок 43 – Геометрическая интерпретация критерия прочности Писаренко-Лебедева [69]

Таким образом, критерий прочности Писаренко-Лебедева применим для расчета прочности сменных режущих твердосплавных элементов. Известно, что изделия из твердых сплавов, как правило, имеют сложный характер разрушения. При низких температурах нагрева наибольшее значение для разрушения твердого сплава имеют нормальные растягивающие

напряжения (первая теория прочности), с повышением температуры увеличивается и роль касательных напряжений (третья теория прочности).

Для точного расчета прочности необходимо знать температурные поля режущей части сменных режущих твердосплавных элементов сборных сверл, что несколько усложняет задачу расчета прочности.

Однако, как показывает анализ статистики отказов сменных режущих твердосплавных элементов сборных сверл наиболее критичным является хрупкое разрушение (на долю выкрашивания, скалывания и поломки приходится около 80%).

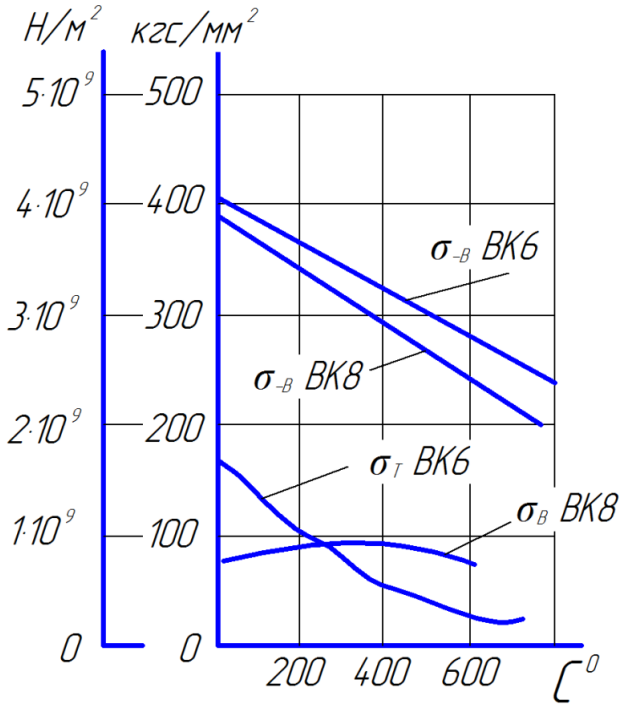


Рисунок 44 - Влияние температуры на свойства инструментальных твердых сплавов. ($\sigma_в$- предел прочности на растяжение; $\sigma_{-в}$- предел прочности на сжатие; $\sigma_т$ - предел текучести) [48], [62]

Поэтому в дальнейших расчетах на прочность можно ограничиться величиной наибольших главных напряжений, которая не должна превышать допускаемого нормального напряжения.

Известно, что предел прочности на растяжение у твердых сплавов, как представлено на рисунке 44 в 2-3 раза меньше, чем предел прочности на сжатие [48], то дальнейшую задачу оптимизации (выбора оптимального варианта по результатам сравнительной оценки всех возможных вариантов) конструктивных параметров сменных режущих твердосплавных элементов сборных сверл, необходимо проводить по результатам расчета задачи конечно-элементного анализа напряжений растяжения σ_1.

2.5 Выводы

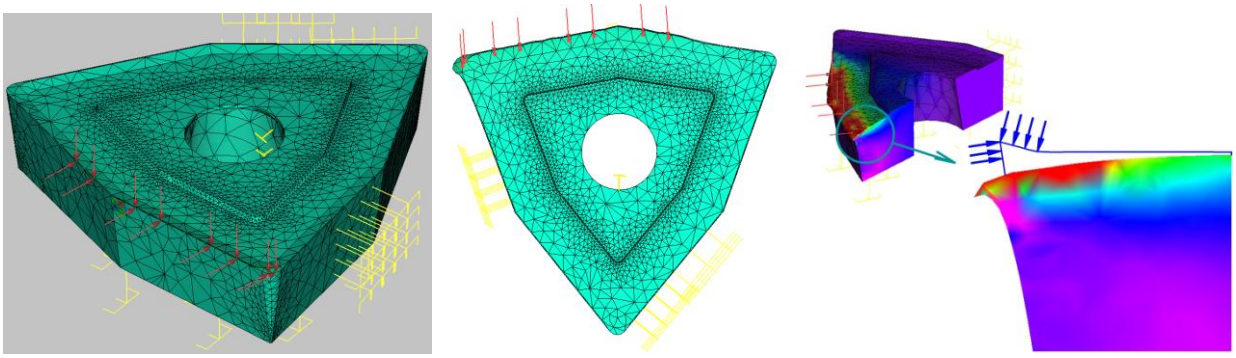
1. В результате анализа расчетных формул суммарных сил резания при сверлении, фирм Garant и Sandvik Coromant, и математических преобразований автора, были получены формулы для задания граничных условий и моделирования процесса резания при сверлении сборными сверлами разных видов.
2. Возможность использования МКЭ была доказана на тестовых задачах о нагружении клина силой, приложенной к вершине, и кручении стержня с круглым поперечным сечением. Сравнение результатов аналитического решения и с применением МКЭ показало их совпадение с точностью, допустимой для инженерных расчетов.
3. Задачу оптимизации (выбора оптимального варианта по результатам сравнительной оценки всех возможных вариантов) конструктивных параметров сменных режущих твердосплавных элементов сборных сверл, необходимо проводить по результатам расчета напряжений растяжения σ_1, что соответствует первой теории прочности. По причине того, что предел прочности на растяжение у твердых сплавов, в 2-3 раза меньше, чем предел прочности на сжатие.

ГЛАВА 3. ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ И ПРОЧНОСТИ СМЕННЫХ РЕЖУЩИХ ПЛАСТИН СБОРНЫХ СВЕРЛ

В данной главе приведены результаты расчетов напряженного состояния и прочности СРП (сменных режущих пластин) сборных сверл, полученные с применением метода конечных элементов (МКЭ) с помощью программы T-Flex Анализ. Полученные данные приведены в виде картин изолиний главных напряжений σ_1. По результатам расчетов проведены качественный и количественный анализы влияния условий нагружения, конструктивных параметров СРП, схем базирования и крепления на напряженное состояние и прочность.

3.1 Построение расчетных моделей СРП с учетом граничных условий нагружения

Для расчета НДС сменных режущих пластин сборных сверл создавалась их объемные трехмерные модели и рассматривались в плоскости пластины и в плоскости схода стружки.



а) б) в)

Рисунок 45 – Модель трехгранной СРП неправильной формы сборного сверла по ГОСТ 27724-88 с сеткой поузловой разбивки и граничными условиями: а) трехмерная модель; б) в плоскости пластины; в) в сечении плоскости схода стружки

При расчетах задавались механические характеристики инструментального твердого сплава, учитывались условия взаимодействия СРП с корпусом сверла, элементами механизма крепления. Кроме того, силовое нагружение заменено заданием граничных условий. Был построен ряд моделей основных типоразмеров СРП, с различными геометрическими параметрами, используемых в сборных сверлах со сменными режущими пластинами, разных фирм производителей сборного инструмента. Разбивка модели на конечные элементы (КЭ) проводилась как в автоматическом режиме, так и с введением размера КЭ. Величина КЭ принималась в соответствии с решением тестовой задачи, результаты которой показали, что достоверные данные могут быть получены при шаге сетке у вершины 0,1 мм.

Главная проблема при разработке моделей СРП заключается в корректном задании граничных условий, имитирующих взаимодействие режущей пластины с корпусом сборного сверла и действие сил резания при сверлении. Составляющие силы резания P_x, P_z и крутящего момента $M_{кр}$ и удельные силы резания $P_{уд}$ по ширине контакта b были рассчитаны по методике представленной в главе 2.

В результате имитационного моделирования, как представлено на рисунке 46, были определены площади нагружения режущих лезвий центральной (1-5) и периферийной (6-10) пластины по передней $S_{п.п.}$ и задней $S_{з.п.}$ поверхностях.

Таким образом, для исследования напряженно-деформированного состояния СРП разработаны трехмерные модели, позволяющие рассчитывать напряжения в плоскости пластины, в главной секущей плоскости и в объеме.

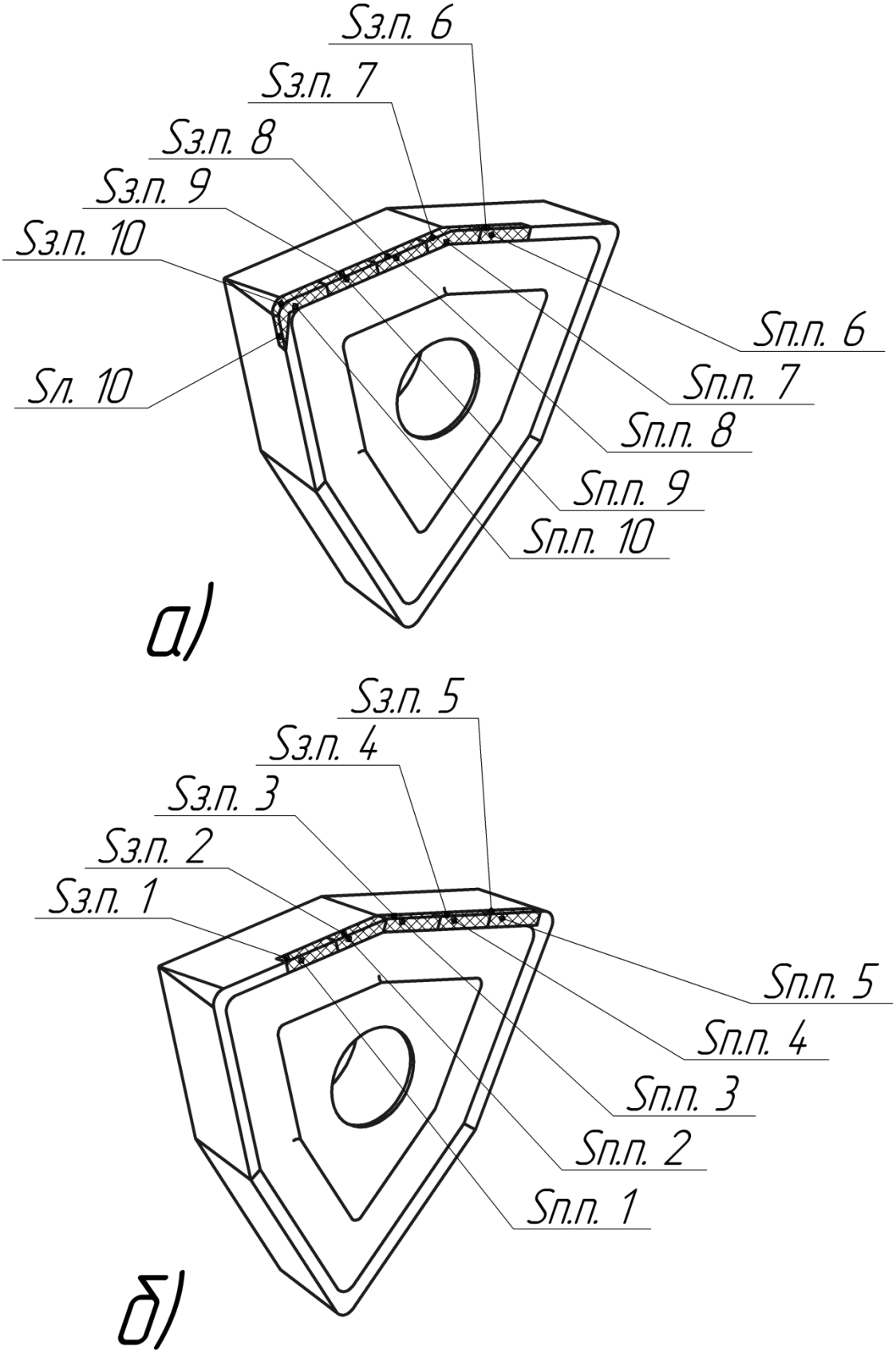


Рисунок 46 – Площади нагружения а) периферийной и б) центральной сменных режущих пластин сборных сверл

3.2 Анализ схем крепления и базирования центральной и периферийной пластин сборных сверл

В настоящее время невозможно обеспечить снижение издержек и повышения конкурентоспособности производства без использования современных технологий, оборудования, инструментов. Одним из путей подъема эффективности обработки резанием является переход с использования напайного режущего инструмента на сборный с механическим креплением сменных многогранных пластин (СРП).

Эффективность применения режущего инструмента может быть оценена разными способами. Обычно критериями оценки являются инструментальные расходы на одну деталь и суммарная себестоимость обработки одной детали.

Для расчета инструментальных затрат достаточно знать стоимость инструмента и рассчитать или определить экспериментальным путем его стойкость.

Недостаточная прочность вызывает рост количества наладок и увеличение простоев оборудования. При выборе слишком щадящего режима резания стойкость инструмента возрастет, но время обработки детали увеличится [39].

Практика эксплуатации СРП сборных инструментов показала, что их работоспособность во многом определяется инструментальным материалом, способом базирования и крепления, формой и типом используемых пластин, режимами резания.

В работе [4] приведены результаты исследования напряженно-деформированного состояния СРП и сформулированы следующие требования к разрабатываемым конструкциям сборных инструментов и СРП повышенной прочности:

- увеличение угла при вершине пластины ε;

- обеспечение при закреплении пластины в угловое гнездо корпуса инструмента гарантированного прижима по упорным боковым граням и опорной поверхности.

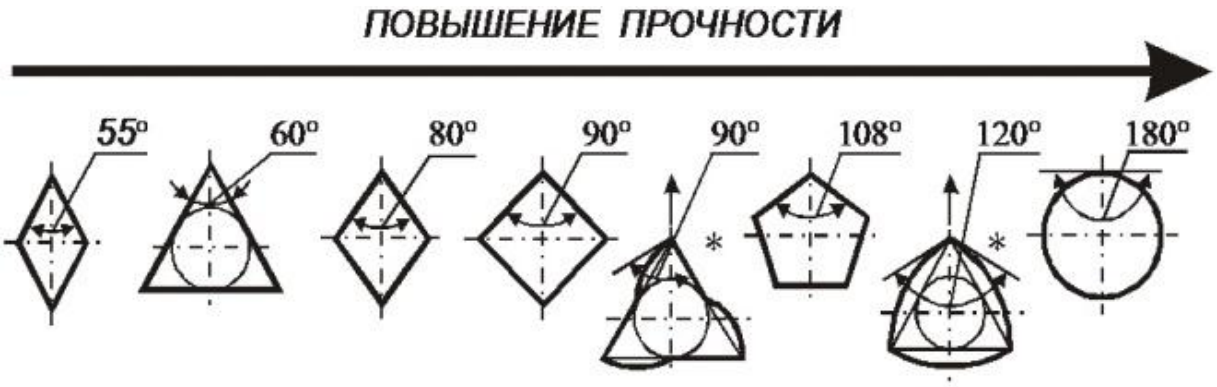


Рисунок 47 – Классификация форм СРП по прочности в зависимости от величины угла при вершине ε (*новые формы пластин представленные в работах [2], [4])

Схемы базирования и крепления сменных режущих пластин сборных сверл основных инструментальных фирм мира представлены на рисунках 48, 49.

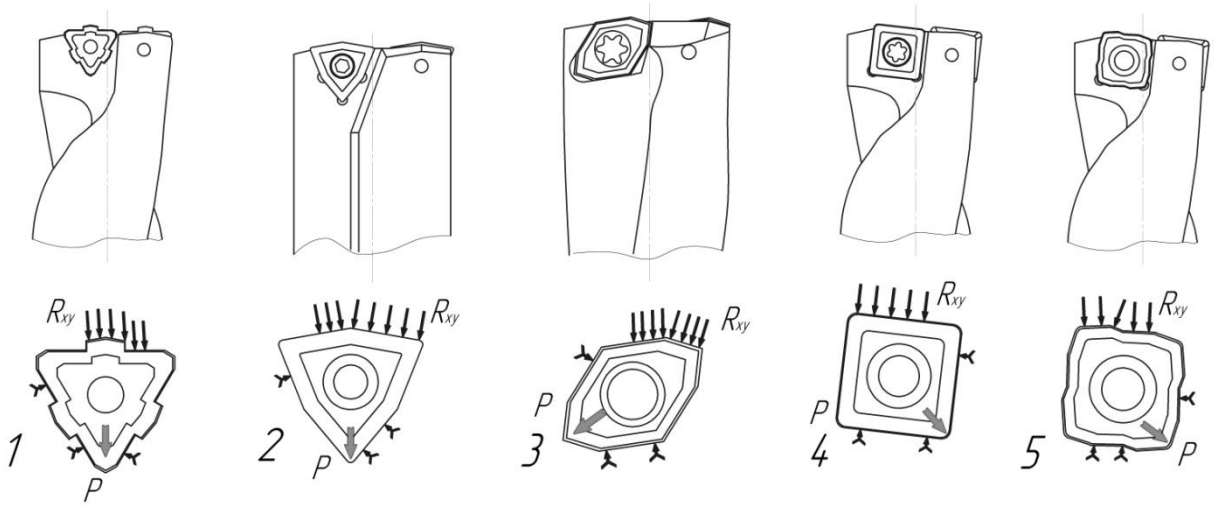


Рисунок 48 – Схемы базирования и крепления центральной режущей пластины сборного сверла фирмы: 1 – Iscar; 2- по ГОСТ 27724-88; 3 - Mitsubishi; 4 - Walter; 5 - Sandvic Coromant.

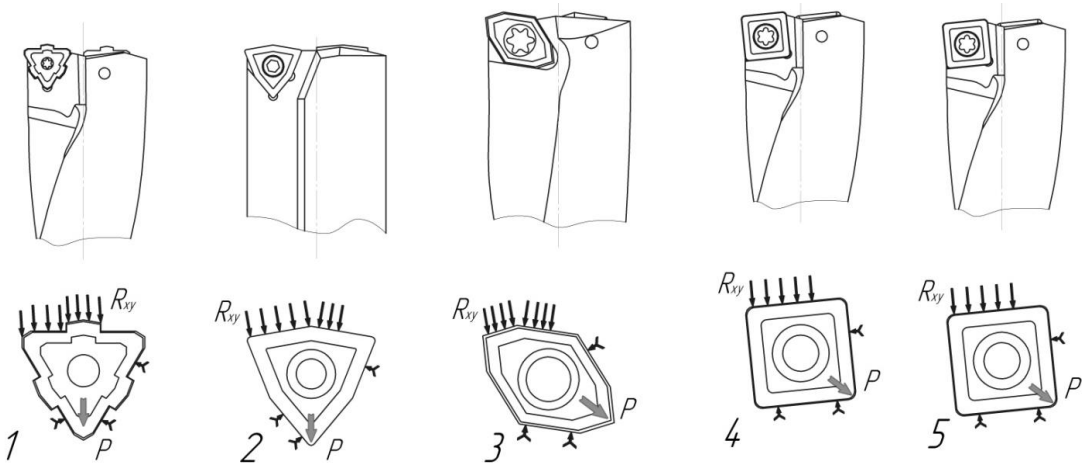


Рисунок 49 – Схемы базирования и крепления периферийной режущей пластины сборного сверла фирмы: 1 – Iscar; 2- по ГОСТ 27724-88; 3 - Mitsubishi; 4 - Walter; 5 - Sandvic Coromant.

Основным недостатком всех конструкций сборных сверл с режущими пластинами является недостаточная надежность крепления режущих пластин. Закрепление происходит по нескольким упорным поверхностям. Вектор нагрузки при резании R_{xy} не совпадает с вектором силы закрепления режущих пластин P в угловой паз, что приводит к ослаблению крепления, саморазвинчиванию крепежного винта, возникновению микровибраций и к преждевременному износу и разрушению режущих пластин и корпуса сверла.

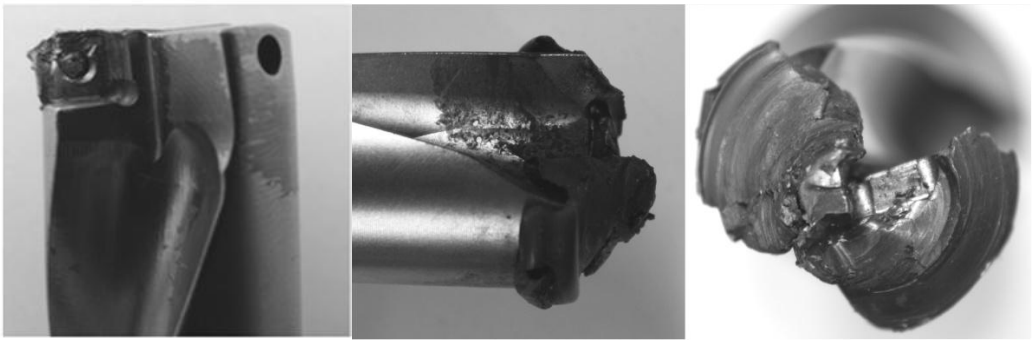


Рисунок 50 – Результаты неправильной эксплуатации сборных сверл с режущими пластинами.

3.3 Исследование влияния формы и схемы базирования СРП сборных сверл на их напряженно – деформированное состояние

Для определения влияния формы пластин на их напряженное состояние исследования проводились на равносторонних сменных режущих пластинах разных форм: трехгранной, ромбической, квадратной. Анализ результатов численного исследования влияния формы сменных режущих пластин на напряженное состояние, представленных на рисунке 6 показал, что значения опасных напряжений растяжения σ_1 в периферийной режущей пластине сборного сверла, в режущем лезвии равносторонней трехгранной пластины (ε=60°) больше, чем в квадратной (ε=90°) примерно в 3 раза. У трехгранной режущей пластины, в отличии от ромбической (ε=80°) и квадратной, значения напряжений σ_1 распределены неравномерно. Наиболее опасным участком на главной режущей кромке является зона конца участка нагружения (узловые точки 1-8) при вершине сменной режущей пластины, на другом участке (узловые точки 9-25) значения напряжений σ_1 трехгранной пластины (ε=60°) близки к напряжениям σ_1 квадратной (ε=90°) пластины. Это объясняется тем, что у трехгранной пластины правильной формы схема базирования пластины в угловой паз корпуса инструмента по двум боковым поверхностям пластин реализуется так, чтобы одна из них приходилась на вспомогательную режущую кромку, что обеспечивает снижение опасных напряжений растяжения σ_1. Как представлено на рисунке 6, чем меньше угол ε при вершине, тем больше напряжения σ_1 при одинаковых условиях резания.

Анализ схем крепления и базирования центральной и периферийной пластин сборных сверл показал, что практически во всех конструкциях сборных сверл разных фирм не реализуется схема базирования сменных режущих пластин в угловой паз корпуса инструмента по двум боковым поверхностям пластин так, чтобы одна из них приходилась на вспомогательную режущую кромку.

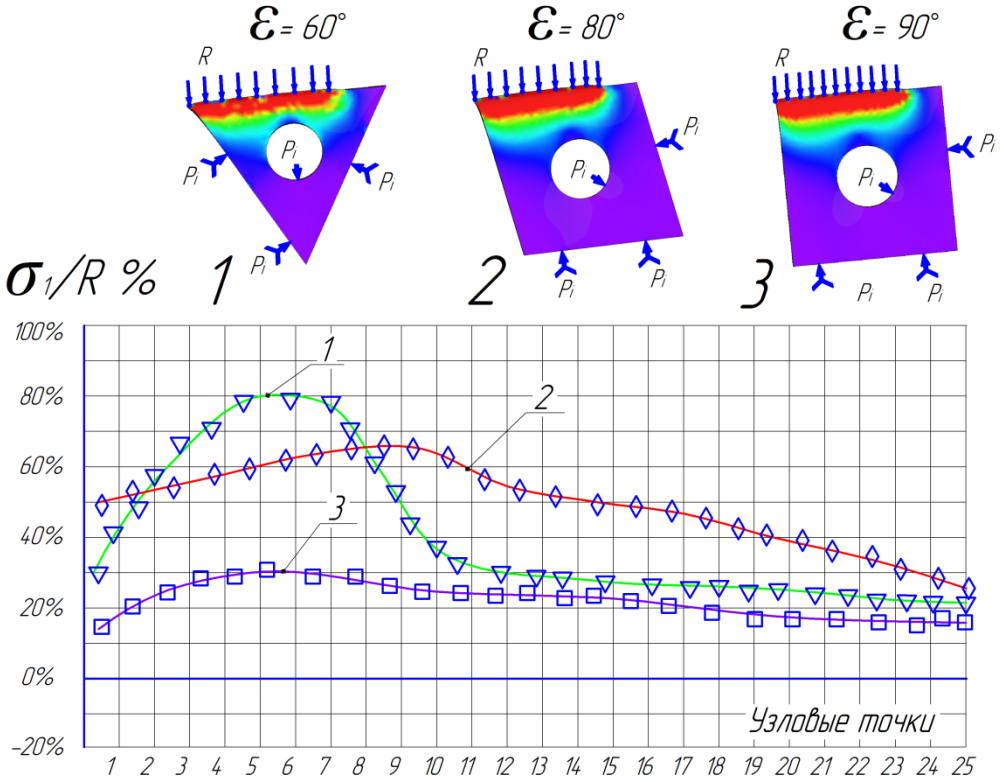


Рисунок 51 – Картины изолиний и графики распределения напряжений растяжения σ_1 в режущих лезвиях равносторонних СРП: 1 – трехгранной; 2 – ромбической; 3- квадратной.

Имитационное моделирование изменения схем крепления и базирования центральной и периферийной пластин сборных сверл по ГОСТ 27724-88 (смотри рисунок 52 а,б), фирмы Mitsubishi (смотри рисунок 52 в,г) и фирмы Walter (смотри рисунок 52 д,е) показал, что реализация схемы базирования сменных режущих пластин в угловой паз корпуса инструмента по двум боковым поверхностям пластин так, чтобы одна из них приходилась на вспомогательную режущую кромку позволяет снизить значения опасных напряжений растяжения σ_1 в режущих лезвиях пластин. Однако для рассмотренных форм режущих пластин конструктивно невозможно обеспечить данное требование.

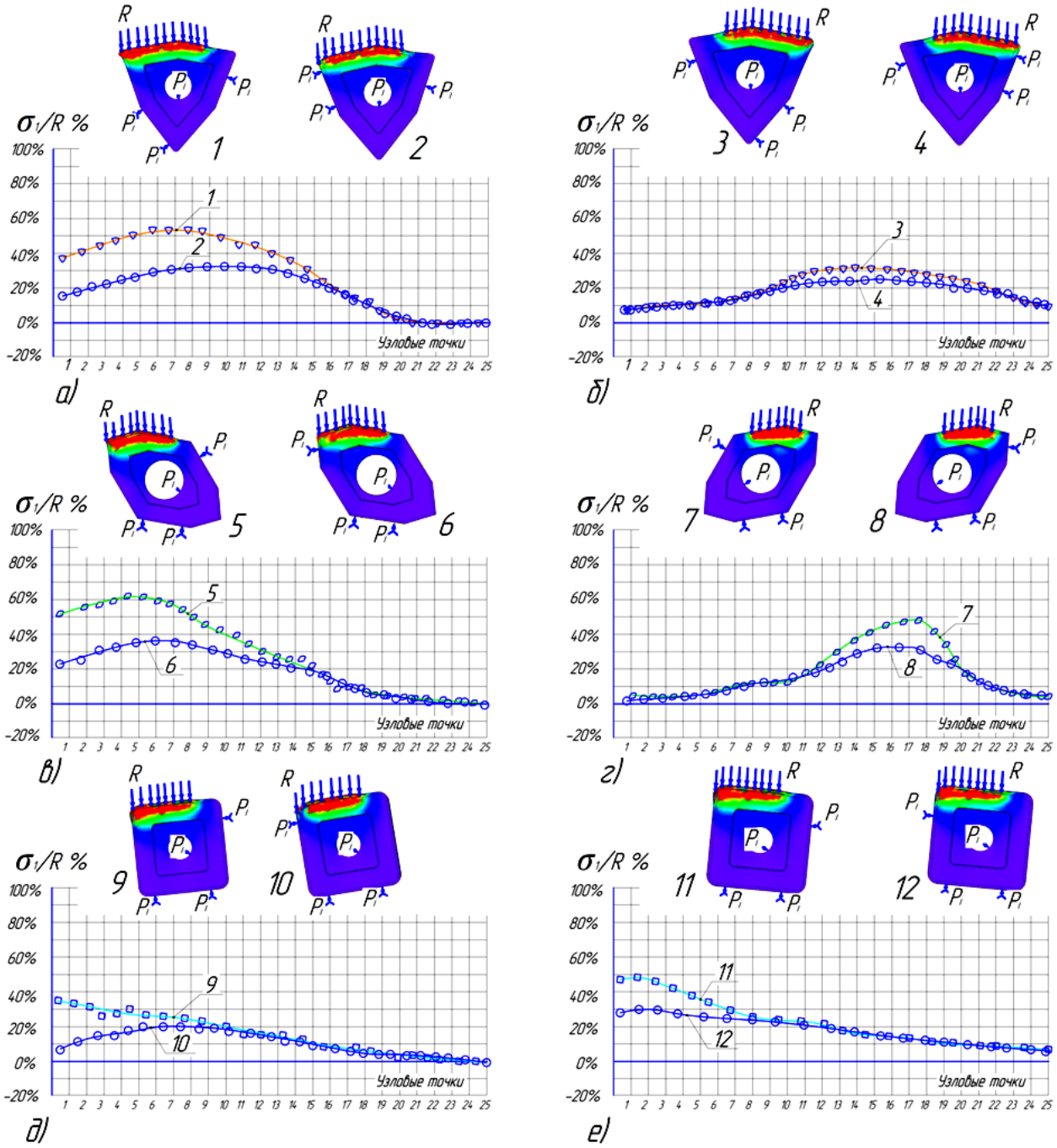


Рисунок 52 – Картины изолиний и графики распределения напряжений растяжения при разных схемах крепления и базирования периферийной (1, 2, 5, 6, 9, 10) и центральной (3, 4, 7, 8, 11, 12)пластин сборных сверл: а, б - по ГОСТ 27724-88; в, г - фирмы Mitsubishi; д, е - фирмы Walter

Для повышения работоспособности сборных сверл была разработана новая форма сменной режущей пластины с увеличенным углом ε (ε =100°), выполненной на основе равносторонней трехгранной пластины (ε=60°), при

этом главная режущая кромка выполнена в виде прямой, а вспомогательная в виде дуги. В разработанной конструкции сборного сверла, как показано на рисунке 53, при закреплении а) периферийной и б) центральной пластины направление силы резания R_{xz} совпадает с направлением силы крепления P, а схема крепления сменных режущих пластин в угловой паз корпуса инструмента реализуется по двум боковым поверхностям пластин так, чтобы одна из них приходилась на вспомогательную режущую кромку.

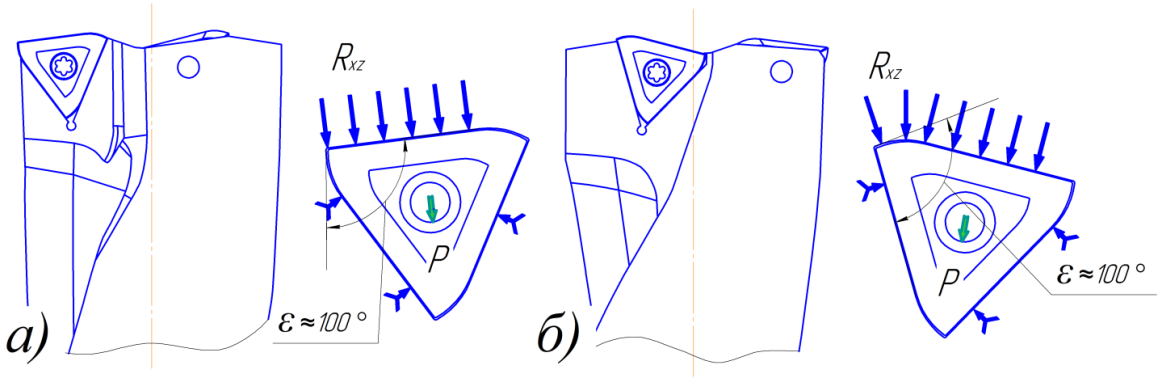


Рисунок 53 – Схемы базирования и крепления а) периферийной и б) центральной режущих пластин в разработанной конструкции сборного сверла

Для повышения работоспособности, снижения сил резания и расширения технологических возможностей сверла траектория вращения центральной режущей пластины и периферийной режущей пластины, по меньшей мере, частично перекрываются с образованием участка перекрытия, причем режущая кромка внутренней режущей пластины и режущая кромка внешней режущей пластины наклонены к оси вращения в направление к детали, что обеспечивает пошаговое засверливание в обрабатываемую деталь, как представлено на рисунке 54 в,г.

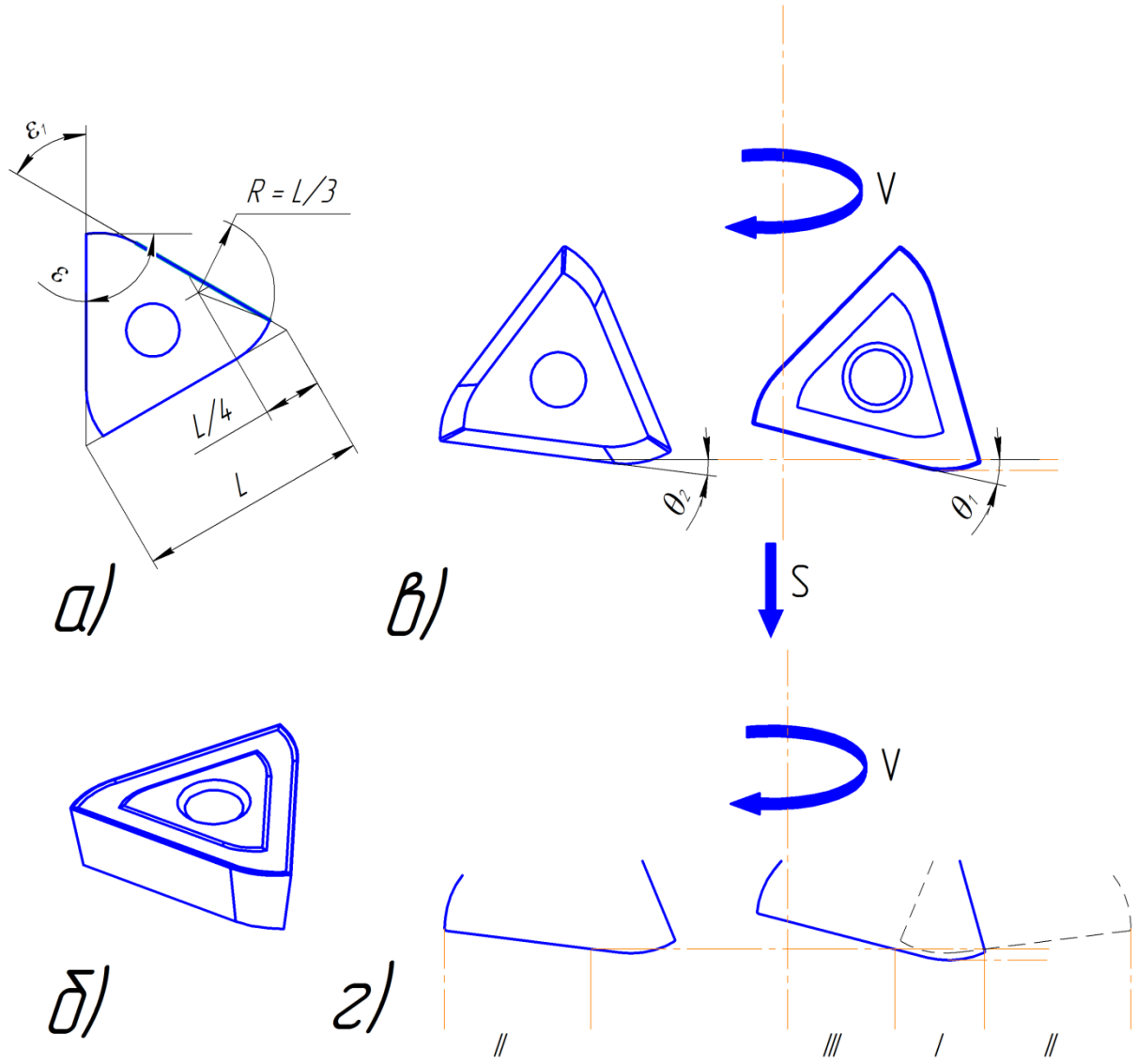


Рисунок 54 - Разработанная режущая пластина повышенной прочности (а, б) и схемы постепенного врезания режущих кромок инструмента в обрабатываемый материал (в, г)

Прямолинейная режущая кромка центральной режущей пластины наклонена к оси вращения, а прямолинейная режущая кромка периферийной режущей пластины наклонена от оси вращения. Направление наклона центральной и периферийной режущих пластин совпадает с направлением подачи, причем угол наклона θ_1 центральной режущей пластины больше чем угол наклона θ_2 периферийной режущей пластины, при этом обеспечивается постепенное врезание инструмента в обрабатываемый материал. По порядку врезания первой I в заготовку врезается криволинейная режущая кромка

центральной пластины. Во избежание больших радиальных сил резания криволинейная режущая кромка выполнена узкой. Далее по порядку врезания второй II в обрабатываемый материал входит прямолинейная режущая кромка периферийной пластины и уравновешивает радиальные силы резания, последней III в заготовку врезается прямолинейная режущая кромка центральной пластины. Кроме того, криволинейная режущая кромка периферийной пластины выполняет функцию зачистной кромки и направляющей, что позволяет повысить качество обработанной поверхности. Такая схема постепенного, ступенчатого засверливания в заготовку позволяет снизить силы резания, повысить работоспособность режущих пластин и расширить технологические возможности сборного сверла.

Для повышения надежности крепления многогранных режущих пластин, центральная и периферийная режущие пластины, выполнены на основе равностороннего трехгранника. В предлагаемой конструкции сборного сверла исключается перекос режущей центральной и периферийной пластины при ее закреплении, обеспечивается правило силового замыкания, то есть направление силы резания R_{xy} (Н) совпадает с направлением силы крепления Р (Н). Такое крепление позволяет повысить работоспособность режущих пластин и повысить производительность обработки (рис. 10).

Разработанная форма режущей пластины для сборного сверла, выполненная на основе равностороннего трехгранника с режущими кромками, состоящими из криволинейного и прямолинейного участков, где режущая кромка криволинейного участка выполнена в виде дуги и вписана в четверть длины стороны трехгранника, при этом радиус криволинейной режущей кромки равен 1/3 длины стороны многогранника, позволяет реализовать схему постепенного засверливания режущей части инструмента в обрабатываемый материал, что обеспечивает баланс сил резания и повышает эффективность сверления сборным инструментом.

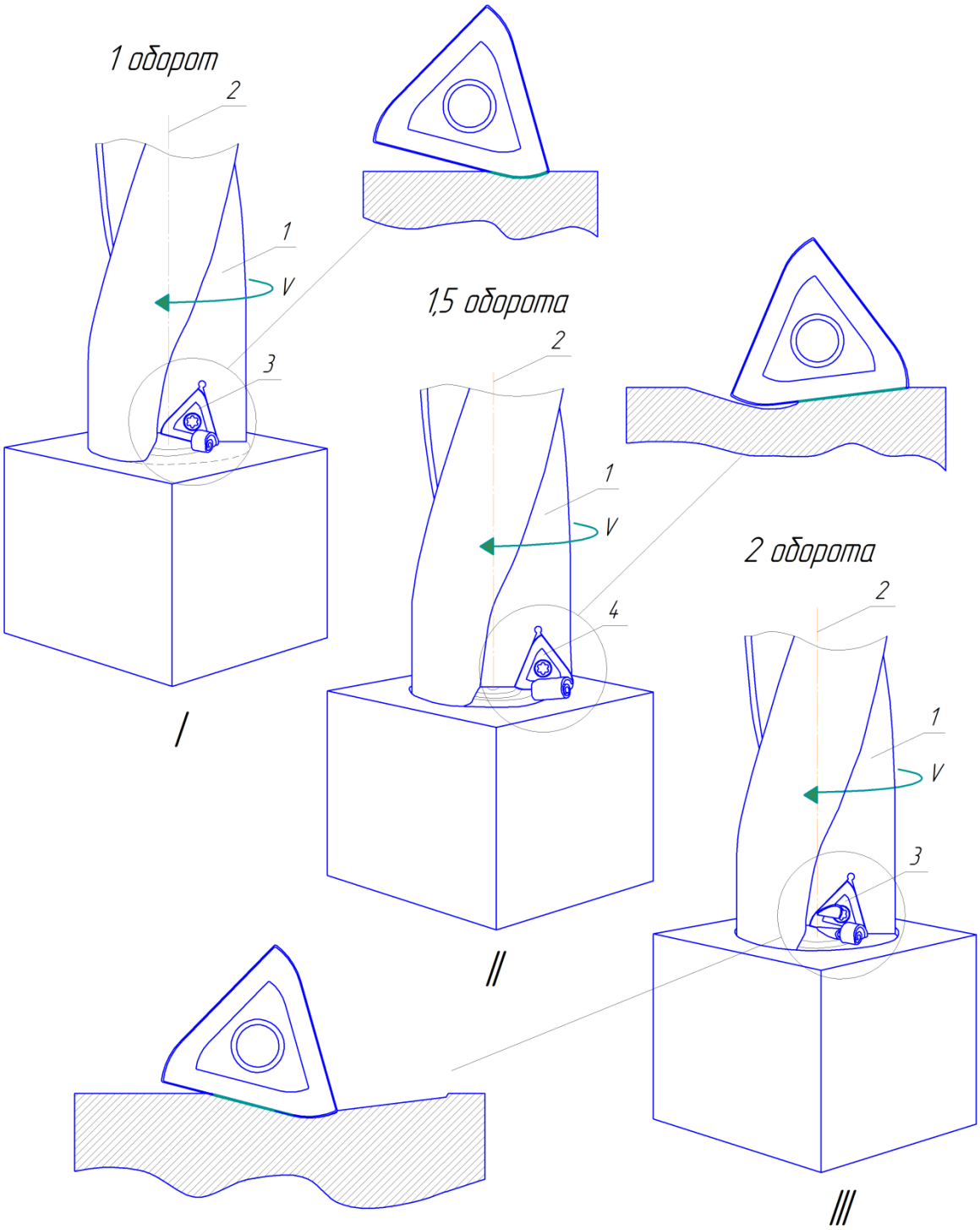
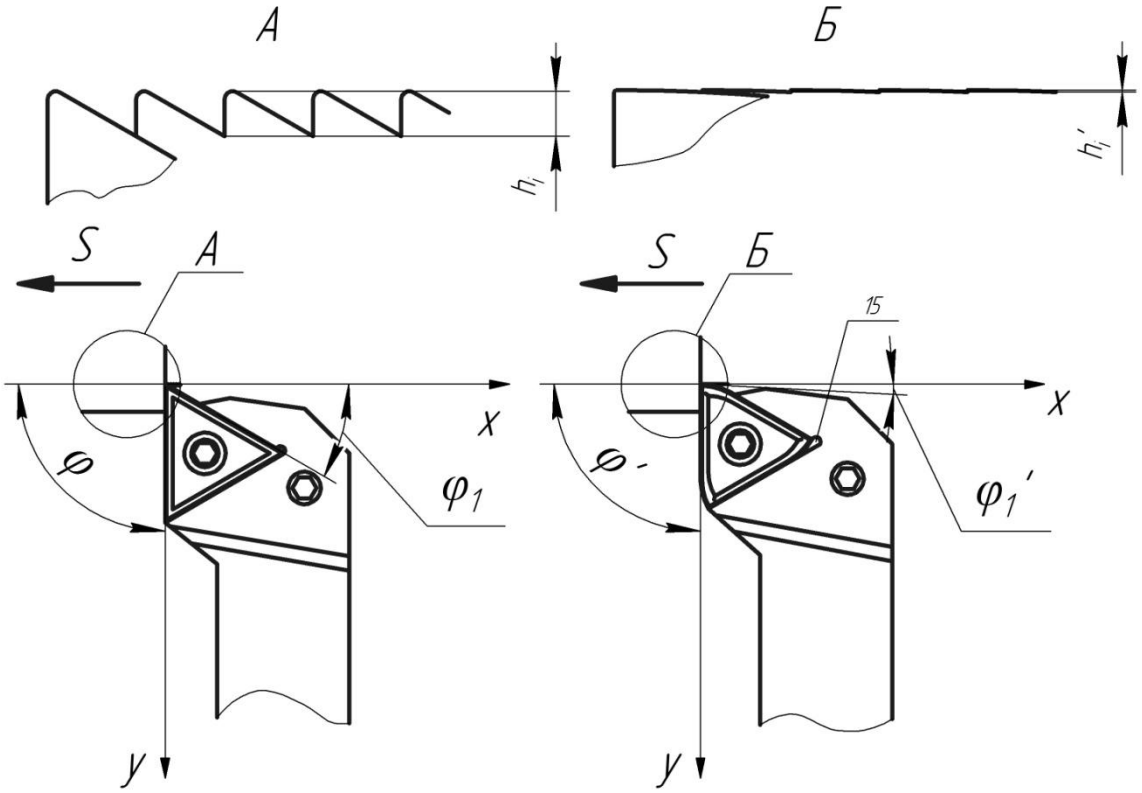


Рисунок 55 – Эскизы обработки сборным сверлом по количеству оборотов и схемы пошагового засверливания режущих пластин сборного сверла по порядку врезания *I*, *II*, *III* в обрабатываемый материал

Для проверки повышения работоспособности новой разработанной сменной режущей пластины было проведено имитационное моделирование

процесса точения проходным упорным резцом, как представлено на рисунке 56.



а) б)

Рисунок 56 - Схема имитационное моделирование процесса точения проходным упорным резцом оснащенный трехгранной режущей пластиной: а) стандартной формы (ε=60º); б) разработанной формы (ε=90º)

Для трехгранных режущих пластин стандартной (ε=60º) и разработанной формы (ε=90º) был проведен сравнительный расчет напряжений методом конечных элементов при нагружении режущей кромки удельной нагрузкой P_i для следующих условий резания: черновая обработка, обрабатываемый материал – сталь нержавеющая, материал режущей пластины - твердый сплав марки ВК8.

Результаты расчета приведены на рисунке 57 в виде картин изолиний главных напряжений σ_1 и эпюр распределения опасных напряжений растяжения σ_1 на главных режущих кромках трехгранных режущих пластин

разных форм. На на оси абсцисс L цифрами обозначены узловые точки на главной режущей кромке, в том числе 1-5 – участок нагружения. На оси ординат показаны распределения напряжений σ_1 на режущей кромке пластины, в % от приложенной нагрузки P_i.

Анализ графика эпюр распределения напряжений растяжения σ_1 показал, что изменение формы вспомогательной режущей кромки пластины с прямолинейной на криволинейную позволило уменьшить величину опасных напряжений растяжения σ_1 на нагруженном участке главной режущей кромки примерно в 2 раза. Наиболее опасным участком на главной режущей кромки является зона конца участка нагружения (узловые точки 5-6).

Для проверки разработанной сменной режущей пластины были проведены экспериментальные исследования при точении стали 12Х18Н10Т. В качестве режущего инструмента использовали два проходных упорных резца со сменными режущими пластинами из ВК8, причем первый резец был оснащен стандартной трехгранной режущей пластиной с геометрией: передний угол $\gamma = 5°$; задний угол $\alpha = 5°$; угол наклона режущей кромки $\lambda = 10°$; главный угол в плане $\varphi = 90°$; вспомогательный угол в плане $\varphi_1 = 30°$ и углом при вершине $\varepsilon = 60°$. Второй резец, как представлено на рисунке 58, был оснащен разработанной сменной твердосплавной режущей пластиной с вспомогательной режущей кромкой выполненной в виде дуги с геометрией: передний угол $\gamma = 5°$; задний угол $\alpha = 5°$; угол наклона режущей кромки $\lambda = 10°$; главный угол в плане $\varphi = 90°$; вспомогательным углом в плане $\varphi_1 \approx 0°$ и углом при вершине $\varepsilon = 90°$.Исследования проводили при режимах резания: подаче s = 0,4 мм/об , глубине резания $t = 1{,}5$ мм и разных скоростях резания (в интервале 13 - 84 м/мин).

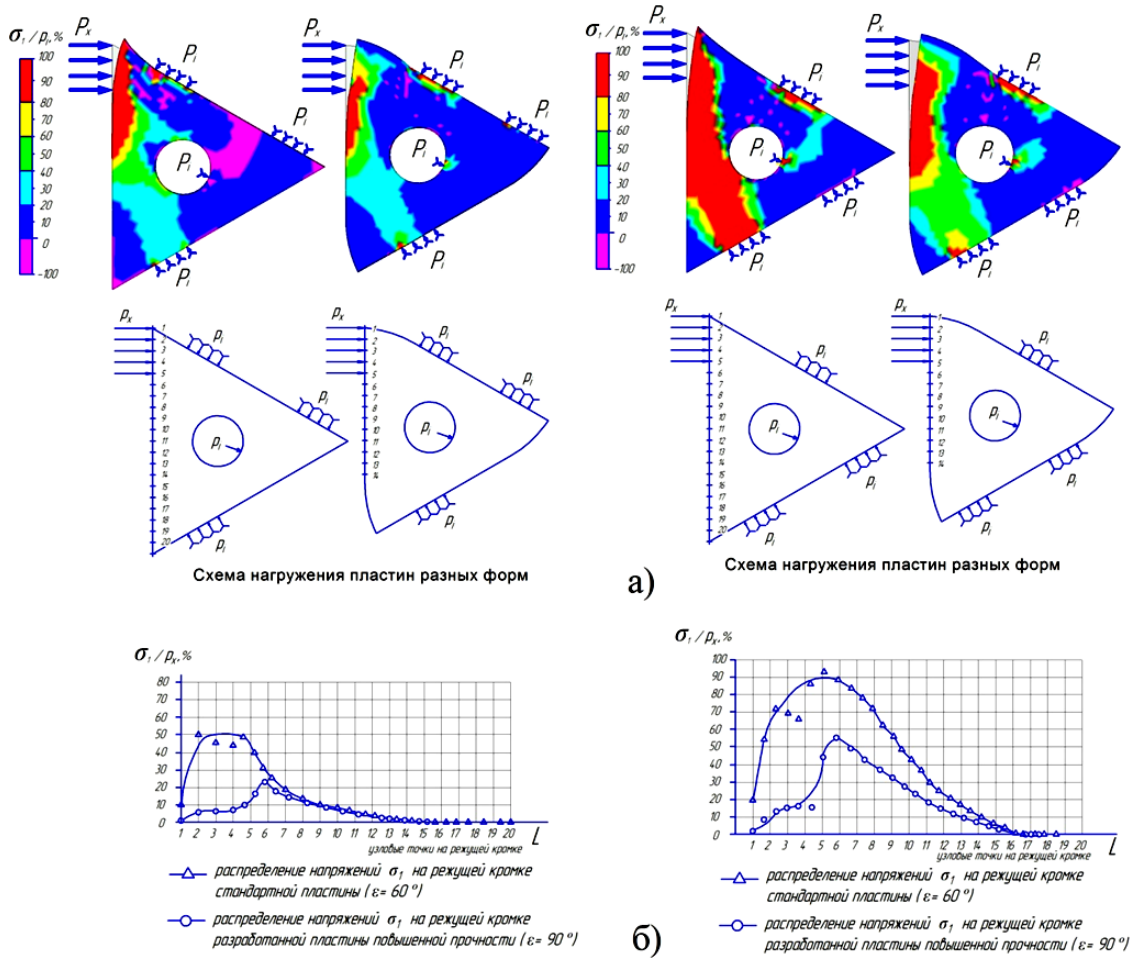


Рисунок 57 – Результаты исследования влияние формы режущей пластины на распределение опасных напряжений растяжения σ_1 на главных режущих кромках: а) схема нагружения пластин разных форм;
б) зависимости распределения опасных напряжений растяжения σ_1 на главных режущих кромках трехгранных режущих пластинах разных форм (ε=60º и ε=90º)

Рисунок 58 – Фотография резца с разработанной режущей пластиной повышенной работоспособности

Результаты экспериментальной проверки разработанной сменной режущей пластины, как представлено на рисунке 59, показали, что новая форма сменной режущей пластины позволила повысить прочность и работоспособность режущего инструмента.

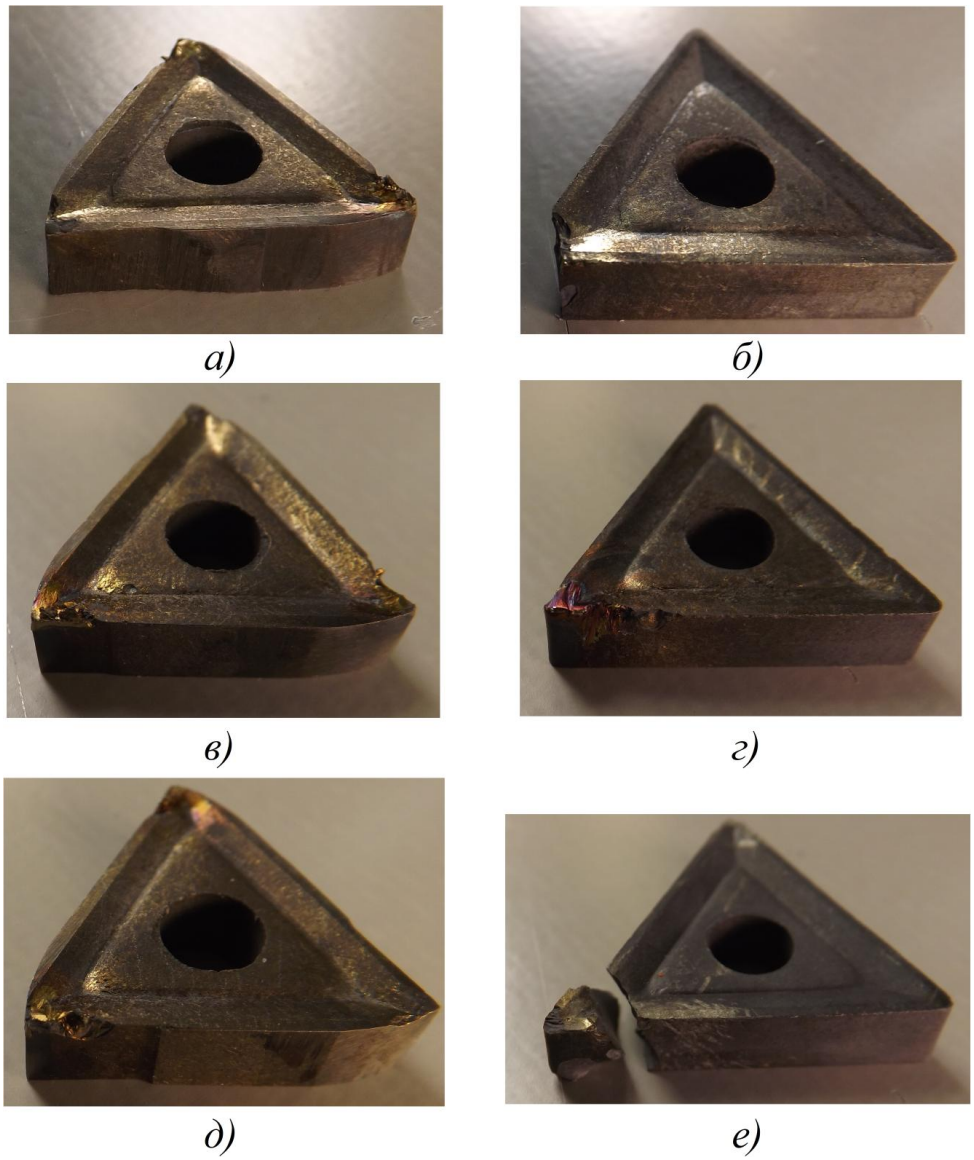


Рисунок 59 – Результаты экспериментальной проверки разработанной сменной режущей пластины:
а) выкрашивание и б) скалывание режущего лезвия трехгранной режущей пластины разработанной ε=90º и стандартной формы ε=60º;
в) износ и г) повышенный износ режущего лезвия трехгранной режущей пластины разработанной ε=90º и стандартной формы ε=60º;
д) износ и е) скалывание режущего лезвия трехгранной режущей пластины разработанной ε=90º и стандартной формы ε=60º

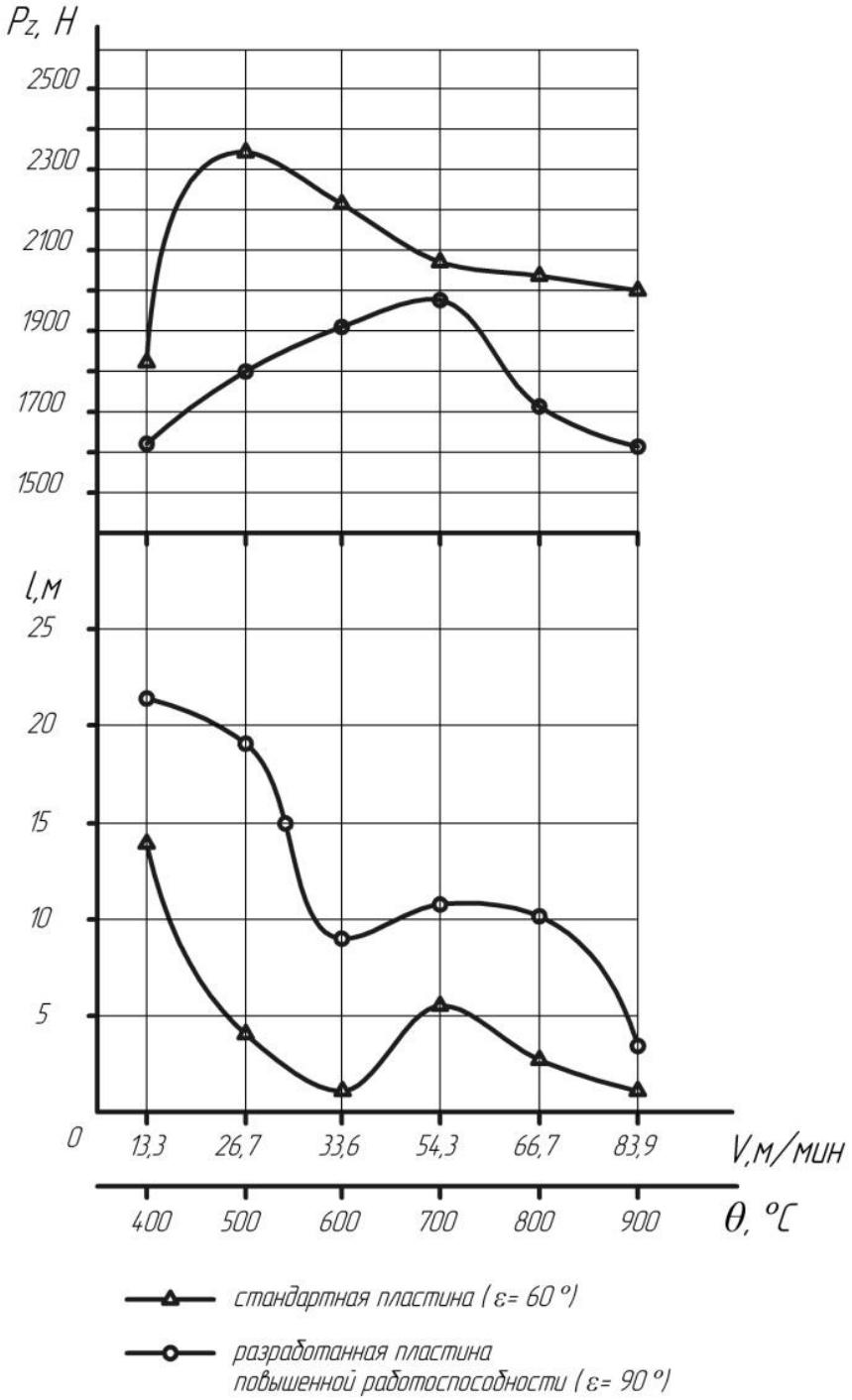


Рисунок 60– Длина пути резания и зависимость составляющей силы резания P_z стандартной и разработанной режущих пластин

На рисунках 61 и 62 представлены картины изолиний, а на рисунке 63 эпюры опасных напряжений растяжения σ_1 для периферийных и

центральных СРП разных форм, схем базирования и крепления, предлагаемых основными инструментальными фирмами. Трехгранные: СРП 1 - фирмы Iscar с ε_1=60° и ε_2=120°; СРП 2 сборного сверла – по ГОСТ 27724-88 с ε=80°; ромбическая СРП 3 - фирмы Mitsubishi с ε_1=50° и ε_2=100°). Анализ НС СРП сверл показал, что зона наибольших опасных напряжений растяжения σ_1 расположена в режущем лезвии вдоль главной режущей кромки периферийной и центральной пластин и зависит от формы, схем базирования и крепления СРП.

Так же на величину опасных напряжений растяжения σ_1 в СРП сборных сверл влияет схема базирования и крепления режущих пластин в корпусе инструмента. У ромбической СРП 3- фирмы Mitsubishi, а также у квадратных СРП 4- фирмы Walter с ε=90° и СРП 5- фирмы Sandvik Coromant (периферийная СРП с ε=90° и центральная с ε=110°) направление вектора силы резания R не совпадает с направлением вектора силы закрепления СРП P в угловой паз.

На основании анализа результатов расчета НС в СРП была разработана СРП 6 - новой формы повышенной прочности для сборных сверл. Исследование НС новой СРП показало значительное уменьшение, до 60%, опасных напряжений растяжения σ_1 в режущем лезвии вдоль главной режущей кромки периферийной пластины, и уменьшение значений напряжений σ_1 в режущем лезвии вдоль главной режущей кромки центральной пластины до отрицательного значения (напряжения сжатия) по сравнению с трехгранной пластиной неправильной формы для сборных сверл по ГОСТ 27724-88.

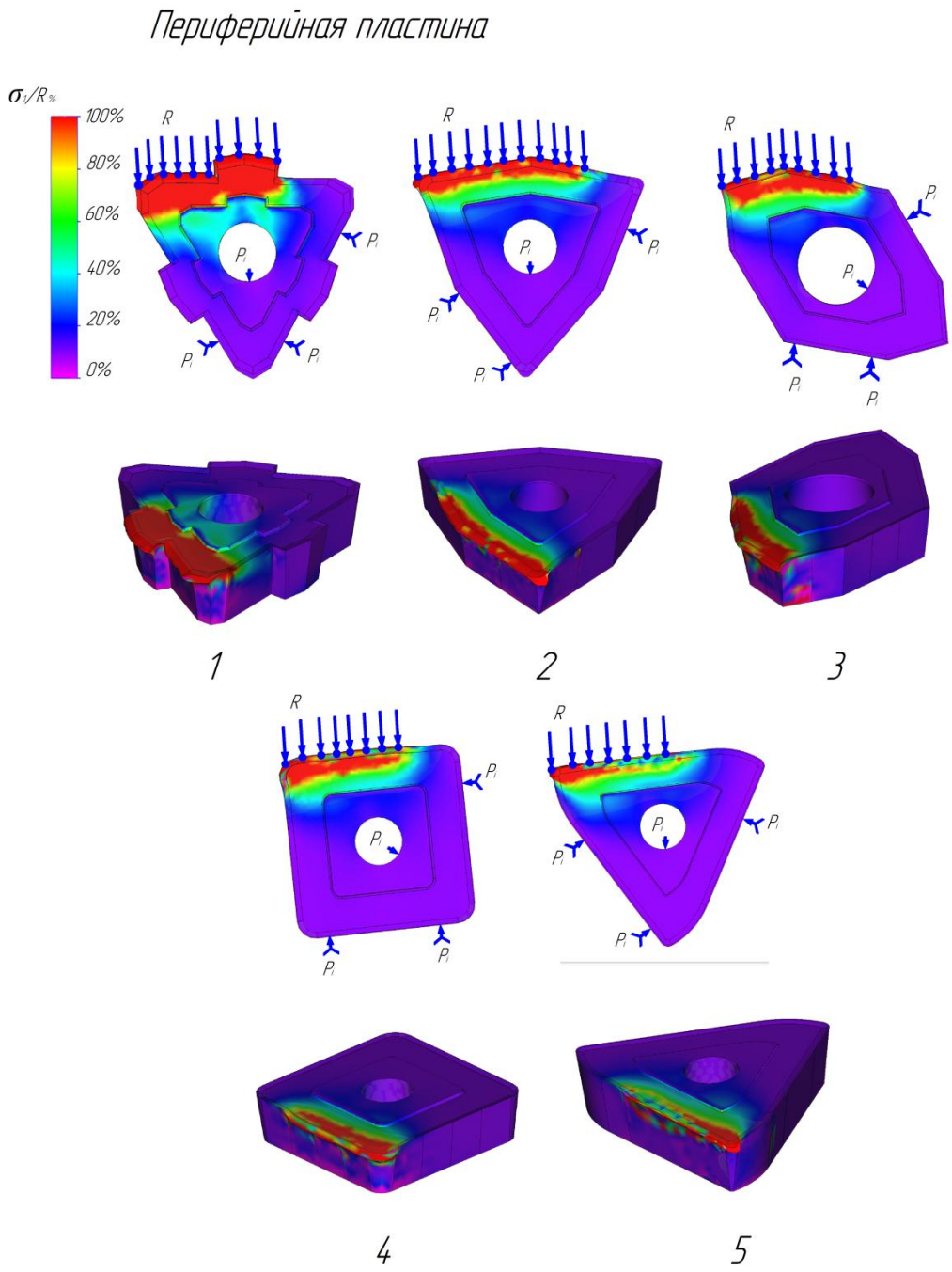


Рисунок 61 – Картины изолиний распределения напряжений растяжения σ_1 в режущих лезвиях периферийных СРП сборных сверл разных фирм 1 – СРП фирмы Iscar; 2 – СРП по ГОСТ 27724-88; 3 – СРП - фирмы Mitsubishi; 4 - фирмы Walter и Sandvik Coromant; 5 – новая разработанная автором форма СРП повышенной прочности

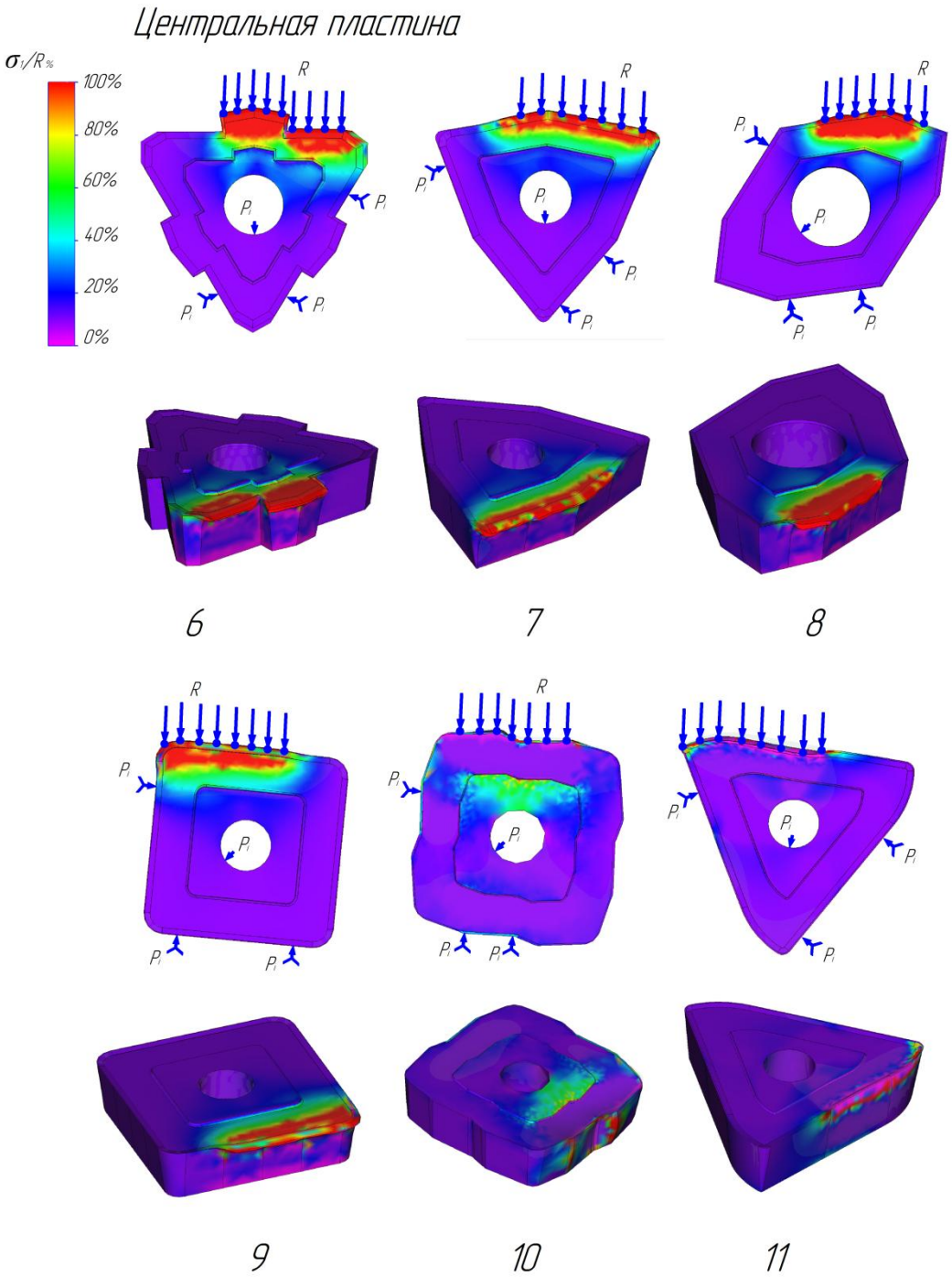
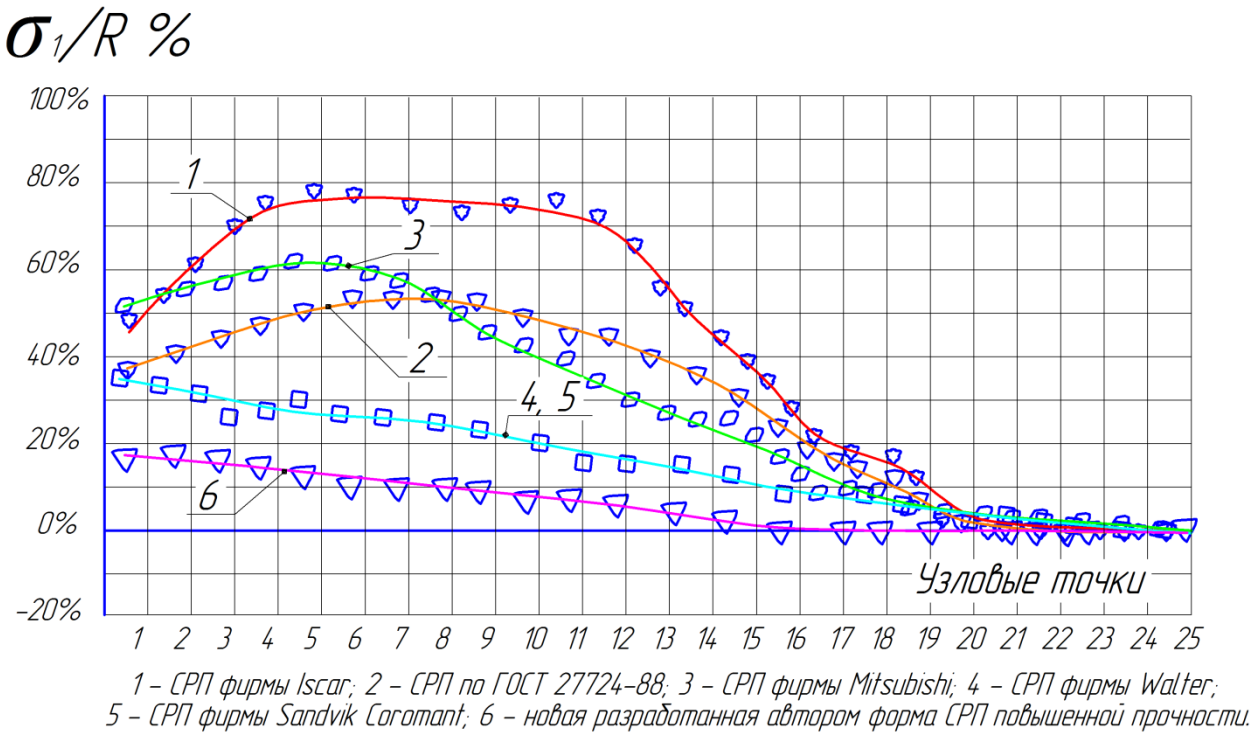
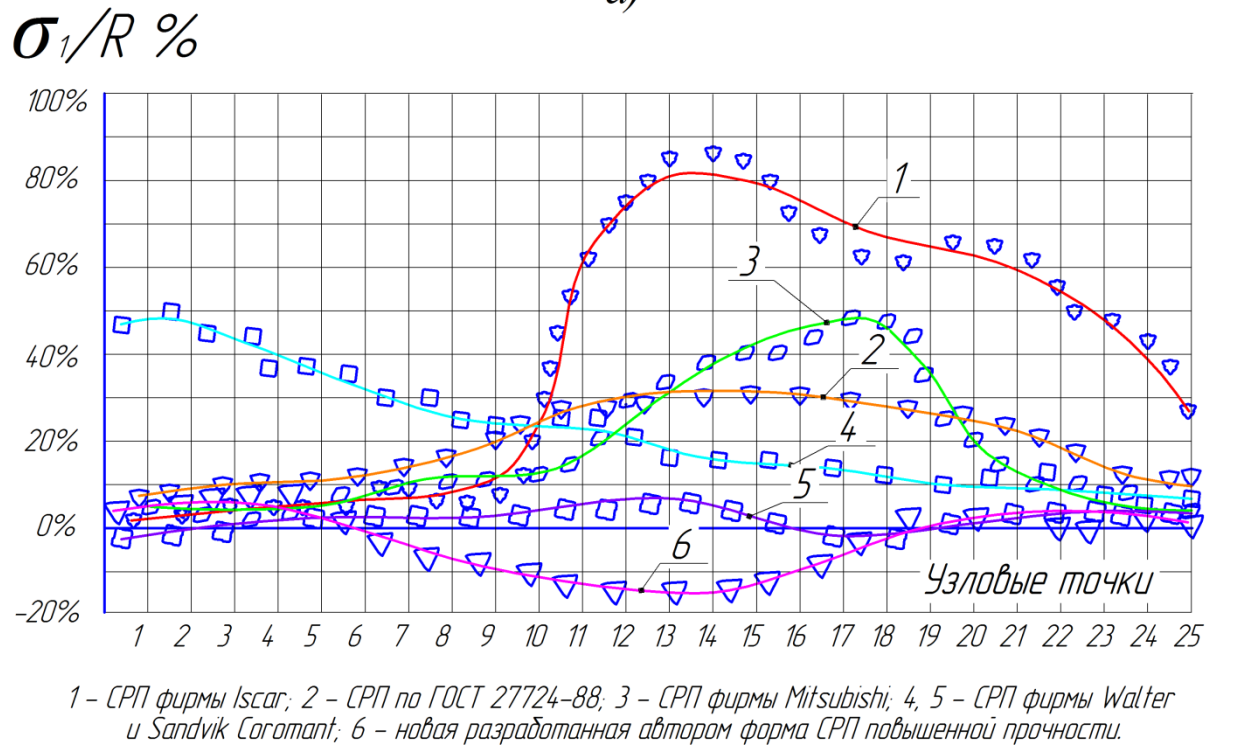


Рисунок 62 — Картины изолиний распределения напряжений растяжения σ_1 в режущих лезвиях центральных СРП сборных сверл разных фирм 1 – СРП фирмы Iscar; 2 – СРП по ГОСТ 27724-88; 3 – СРП - фирмы Mitsubishi; 4 - фирмы Walter; 5 - фирмы Sandvik Coromant; 6 – новая разработанная автором форма СРП повышенной прочности



а)



б)

Рисунок 63 – Графики распределения напряжений растяжения σ_1 в режущих лезвиях СРП: а) периферийных; б) центральных сборных сверл разных фирм

Систематизация полученных результатов позволила расставить СРП сборных сверл Ø25 мм разных фирм производителей режущего инструмента в ряд по мере повышения прочности, представленных на рисунке 64.

Рисунок 64 – Ранжирование форм СРП сборных сверл разных фирм по повышению прочности (* разработанная форма СРП)

Таким образом, в сменных режущих твердосплавных пластинах сборных сверл увеличение угла при вершине ε и схема базирования и крепления пластины в угловой паз корпуса инструмента по двум боковым поверхностям пластин так, чтобы одна из них приходилась на вспомогательную режущую кромку, обеспечивает снижение опасных напряжений растяжения σ_1.

При проектировании, создании и разработки новых конструкций режущих инструментов проблема расчета прочности является ключевой.

Основным критерием для оценки хрупкой прочности сменных режущих твердосплавных пластин сборных сверл, как уже было отмечено во второй главе, является коэффициент запаса по нормальным напряжениям К.

Минимальное значение коэффициента запаса прочности (КЗ) для твердосплавных режущих элементов сборных инструментов должно быть не менее К=1,5 [6],[20],[46].

Проверочный расчет прочности для периферийных сменных режущих пластин сборного сверла по ГОСТ 27724-88 показал, что наиболее опасной зоной является вершина режущего лезвия.

В данном случае нас интересуют зоны, в которых К приближается к критическим значениям (К < 1,5).

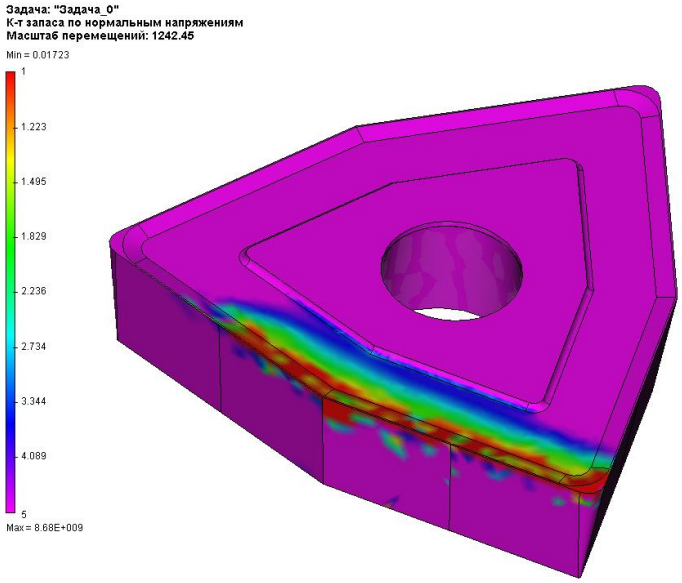


Рисунок 65 – Границы предельных поверхностей разрушения сменной твердосплавной режущей пластины сборного сверла по ГОСТ 27724-88

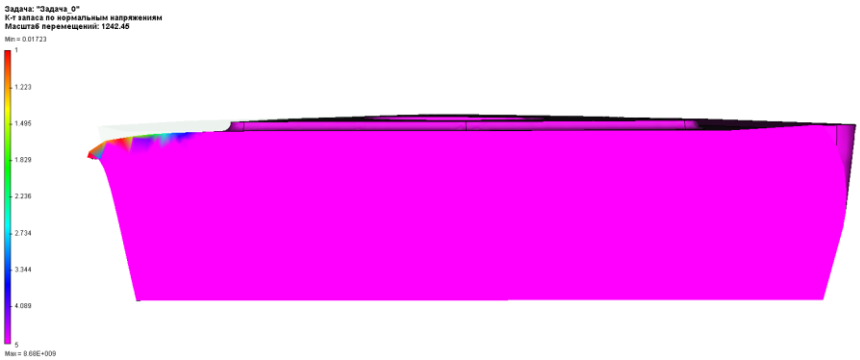


Рисунок 66 – Границы предельных поверхностей разрушения сменной твердосплавной режущей пластины сборного сверла по ГОСТ 27724-88 в секущей плоскости пластины

Исследование прочности новой СРП показало, что увеличение угла при вершине ε и схема базирования и крепления пластины в угловой паз корпуса инструмента по двум боковым поверхностям пластин так, чтобы одна из них приходилась на вспомогательную режущую кромку позволяет снизить опасную зону вероятного разрушения, где коэффициент запаса прочности меньше предельного значения по сравнению с трехгранной пластиной неправильной формы для сборных сверл по ГОСТ 27724-88.

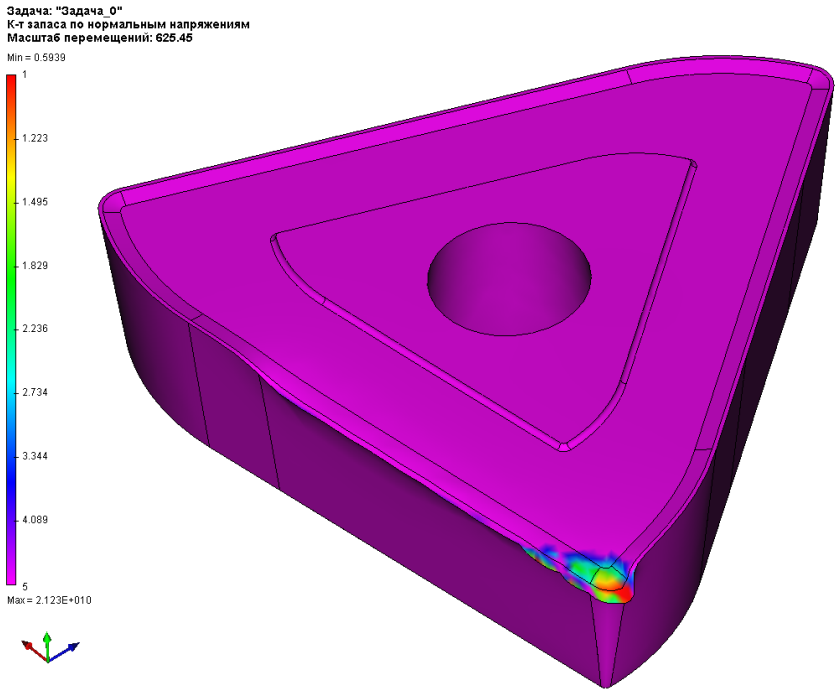
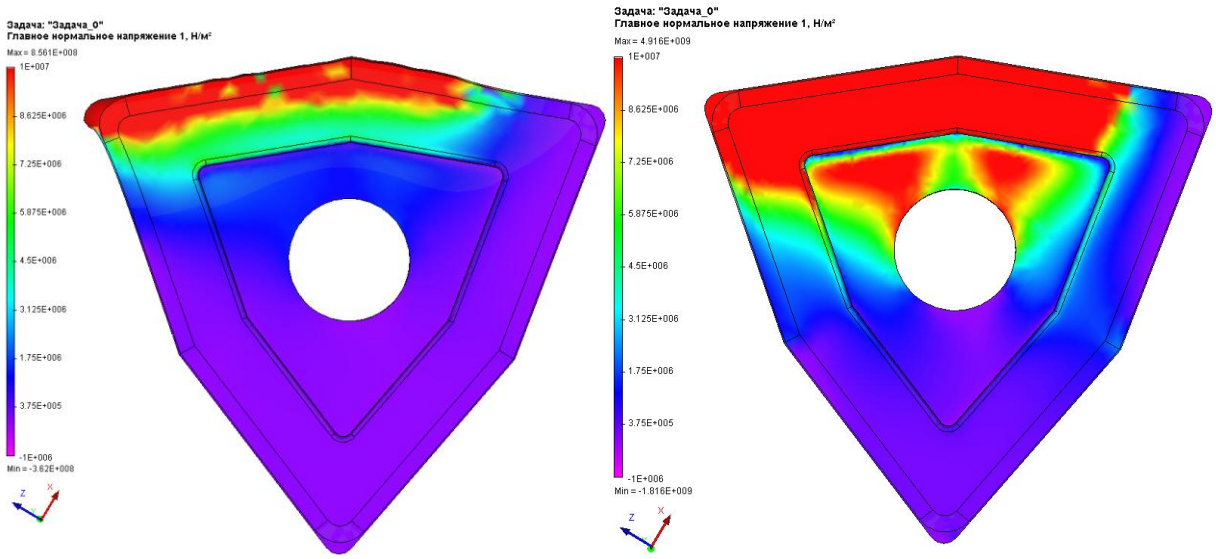


Рисунок 67 – Границы предельных поверхностей разрушения новой разработанной автором формы сменной режущей пластины повышенной прочности

Моделирование нагружения сменных режущих пластин сборных сверл по ГОСТ 27724-88 для повышенных нагрузок при режимных условиях резания характерных для сборных сверл со сменными режущими головками (см. Главу 1 – при обработки нержавеющей стали для сборных сверл со

сменными режущими головками характерны режимы резания: V = 70 м/мин; S = 0,25 мм/об; для сборных сверл со сменными режущими пластинами: V = 150 м/мин; S = 0,10 мм/об) показало, что для сменных режущих пластин работающих на повышенных подачах зона опасных напряжений растяжения σ_1 , как представлено на рисунке 68, а также зона вероятного разрушения как представлено на рисунке в 2-4 раза больше чем для сменных режущих пластин сборных сверл работающих на рекомендуемых режимах резания, что обуславливает применение сборных сверл с СРП на невысоких подачах, а также подтверждает правильность предлагаемой автором метода исследования напряженного состояния и прочности сменных режущих твердосплавных элементов сборных сверл.



а) б)

Рисунок 68 – Картины изолиний распределения напряжений растяжения σ_1 в режущих лезвиях периферийной СРП сборного сверла по ГОСТ 27724-88 работающего: а) в диапазоне рекомендуемых режимов резания (V = 150 м/мин; S = 0,10 мм/об); б) с повышенной подачей (V = 70 м/мин; S = 0,25 мм/об)

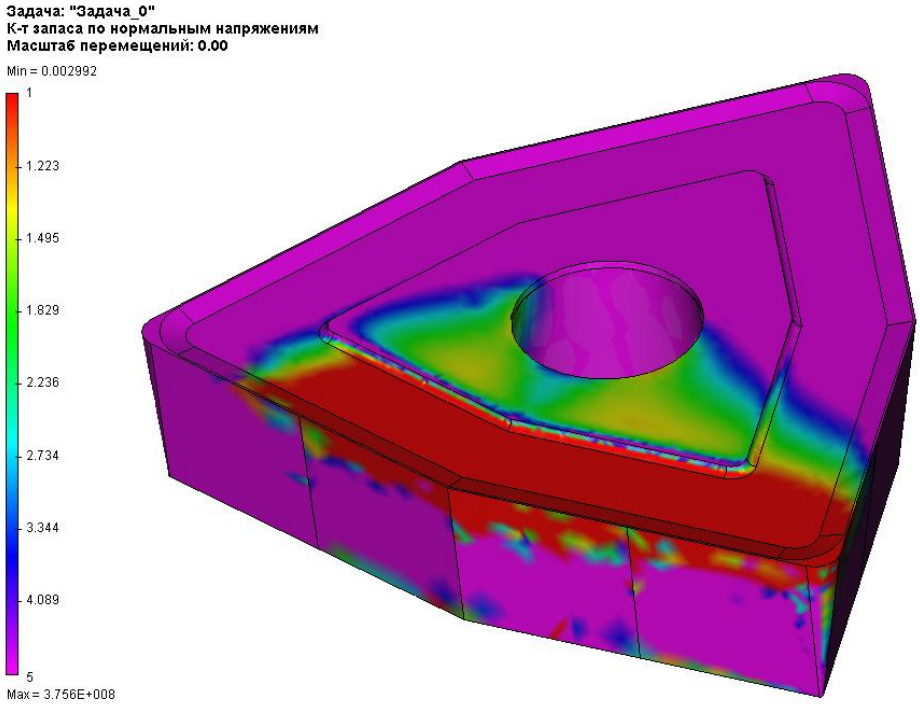


Рисунок 69 – Границы предельных поверхностей разрушения сменной твердосплавной режущей пластины сборного сверла по ГОСТ 27724-88 работающего с повышенной подачей

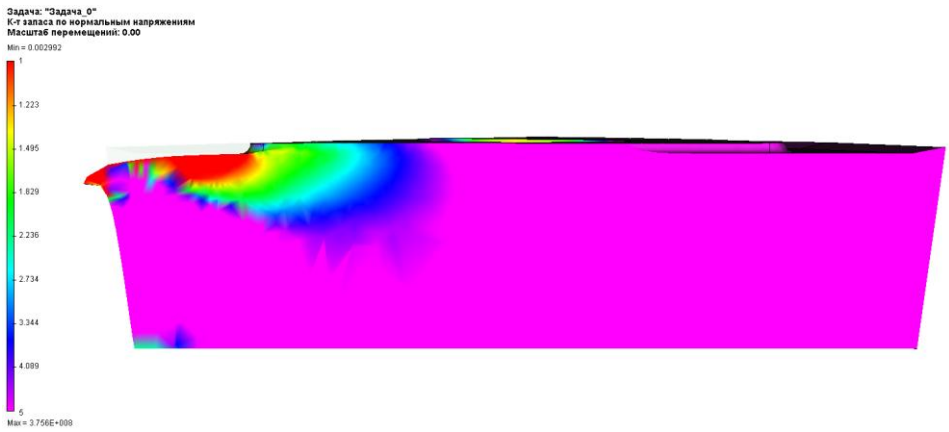


Рисунок 70 – Границы предельных поверхностей разрушения в секущей плоскости сменной твердосплавной режущей пластины сборного сверла по ГОСТ 27724-88 работающего с повышенной подачей

Для экспериментальной проверки результатов расчета сил резания сборными сверлами с СРП и для проверки работы разработанной конструкции сборного сверла были проведены исследования при сверлении

стали 12Х18Н10Т. Анализ результатов эксперимента, представленных на рисунке 71, показал, что схема крепления в угловой паз и новая форма сменных режущих пластин позволили снизить силы резания P_{oc} примерно в 1,2 раза и $M_{кр}$ в 1,8 раз.

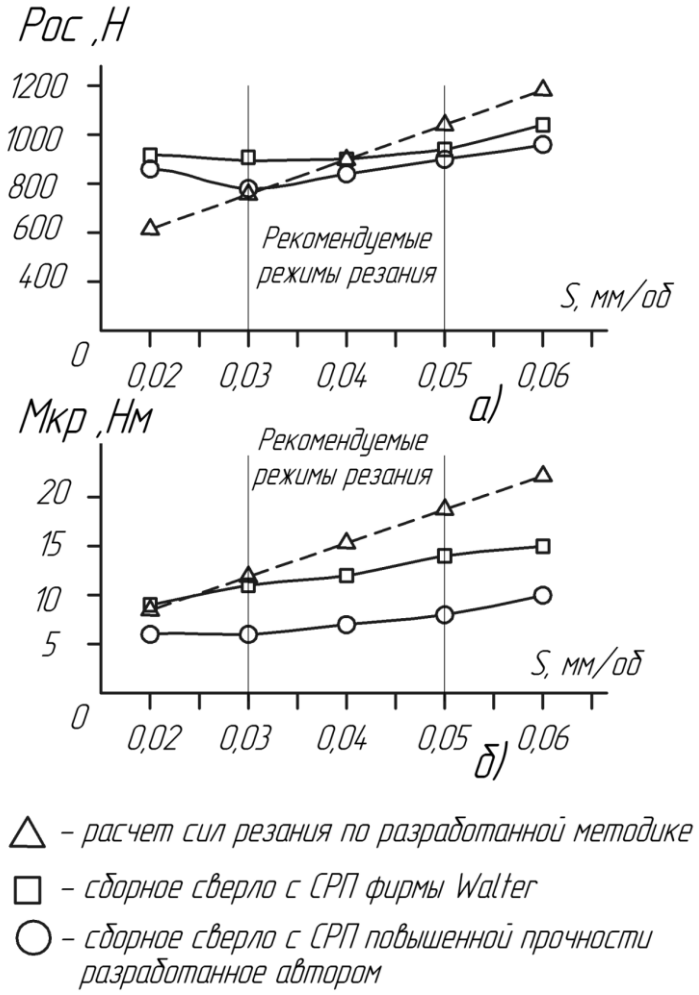


Рисунок 71 – Результаты лабораторных и производственных испытаний предлагаемого сверла со сменными режущими пластинами при V=150 м/мин: а) сила P_z ; б) крутящий момент $M_{кр}$; в) кол-во отверстий

Таким образом, в сменных режущих твердосплавных пластинах сборных сверл увеличение угла при вершине ε и схема базирования и крепления пластины в угловой паз корпуса инструмента по двум боковым поверхностям пластин так, чтобы одна из них приходилась на

вспомогательную режущую кромку, обеспечивает снижение опасных напряжений растяжения σ_1, без снижения режимов резания.

3.4 Выводы

1. Разработана новая форма сменных режущих пластин повышенной прочности с увеличенным углом при вершине ε. Для повышения работоспособности вспомогательная режущая кромка СРП выполнена в виде дуги вписанной в четверть длины стороны многогранника L, при этом радиус R криволинейной режущей кромки равен половине длины стороны многогранника (Пат. №2531336).

2. По разработанной методике (см. главу 2) с применением метода конечных элементов впервые получены эпюры деформаций и напряжений в режущих твердосплавных пластинах сборных сверл, разных форм, по результатам которых были сформулированы следующие требования к конструктивным параметрам сборных сверл повышенной работоспособности:

- увеличение угла ε при вершине СРП;
- схема базирования и крепления пластины в угловой паз корпуса инструмента по двум боковым поверхностям пластин так, чтобы одна из них приходилась на вспомогательную режущую кромку.

3. Исследования напряженного состояния сменных режущих пластин сборных сверл показали, что применение новой разработанной сменной режущей пластины с увеличенным углом при вершине ε позволяет значительно уменьшить величину опасных напряжений растяжения σ_1 на главной режущей кромке периферийной пластины, и уменьшить значения напряжений σ_1 на главной режущей кромке центральной пластины до отрицательного значения (напряжения сжатия) по сравнению с трехгранной пластиной неправильной формы для сборных сверл по ГОСТ 27724-88.

4. Систематизация полученных результатов расчета напряженного состояния сменных режущих пластин сборных сверл, позволила расставить СРП разных фирм производителей сборного режущего инструмента в ряд по мере повышения прочности.

5. Увеличение угла при вершине ε и схема базирования и крепления центральной и периферийной пластин в угловой паз корпуса инструмента по двум боковым поверхностям пластин так, чтобы одна из них приходилась на вспомогательную режущую кромку позволяет существенно снизить опасную зону опасных напряжений растяжения σ_1.

7. В соответствии со сформулированными требованиями к конструкциям сборных сверл повышенной работоспособности была разработана конструкция сборного сверла (Пат. №2539255) со сменными режущими пластинами повышенной прочности и схемой их крепления и базирования в угловой паз.

ГЛАВА 4. ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ И ПРОЧНОСТИ СМЕННЫХ РЕЖУЩИХ ГОЛОВОК СБОРНЫХ СВЕРЛ

В данной главе приведены результаты расчетов напряженно-деформированного состояния сменных режущих головок сборных сверл, полученные с применением метода конечных элементов (МКЭ) с помощью программы T-Flex Анализ. Полученные данные приведены в виде картин изолиний главных напряжений σ_1. По результатам расчетов проведены качественный и количественный анализы влияния условий нагружения, конструктивных параметров режущих головок и радиальных колебаний на их напряженно-деформированное состояние.

4.1 Имитационное моделирование радиальных колебаний сверл со сменными режущими головками

Чтобы исследовать влияние радиальный колебаний и биения сверла на НДС его сменных режущих головок, было проведено имитационное моделирование.

Основываясь на опыте исследований проф. Виноградова А.А. и на опыте инструментальных фирм-производителей сборного режущего инструмента, а также на основании результатов производственных испытаний автора можно утверждать, что сборные режущие сверла, оснащенные сменными режущими головками из инструментальных твердых сплавов, работают при высоких скоростях резания, обуславливающих возникновение вибраций и биение инструмента. Поэтому вспомогательные режущие кромки (ленточки) работают в условиях циклического нагружения, что приводит к скалываниям и хрупкому разрушению периферийной части режущей головки. Проведя имитационное моделирование радиальных колебаний сборного сверла, которое представлено на рисунке 72, были определены постоянные значения площади контакта на главной режущей

кромке и переменные значения площади контакта на вспомогательной режущей кромке сверла, при различной величине отклонения сверла от оси отверстия (от 0 до 0,1 мм).

В результате имитационного моделирования были получены граничные условия нагружения сменных режущих головок сборных сверл.

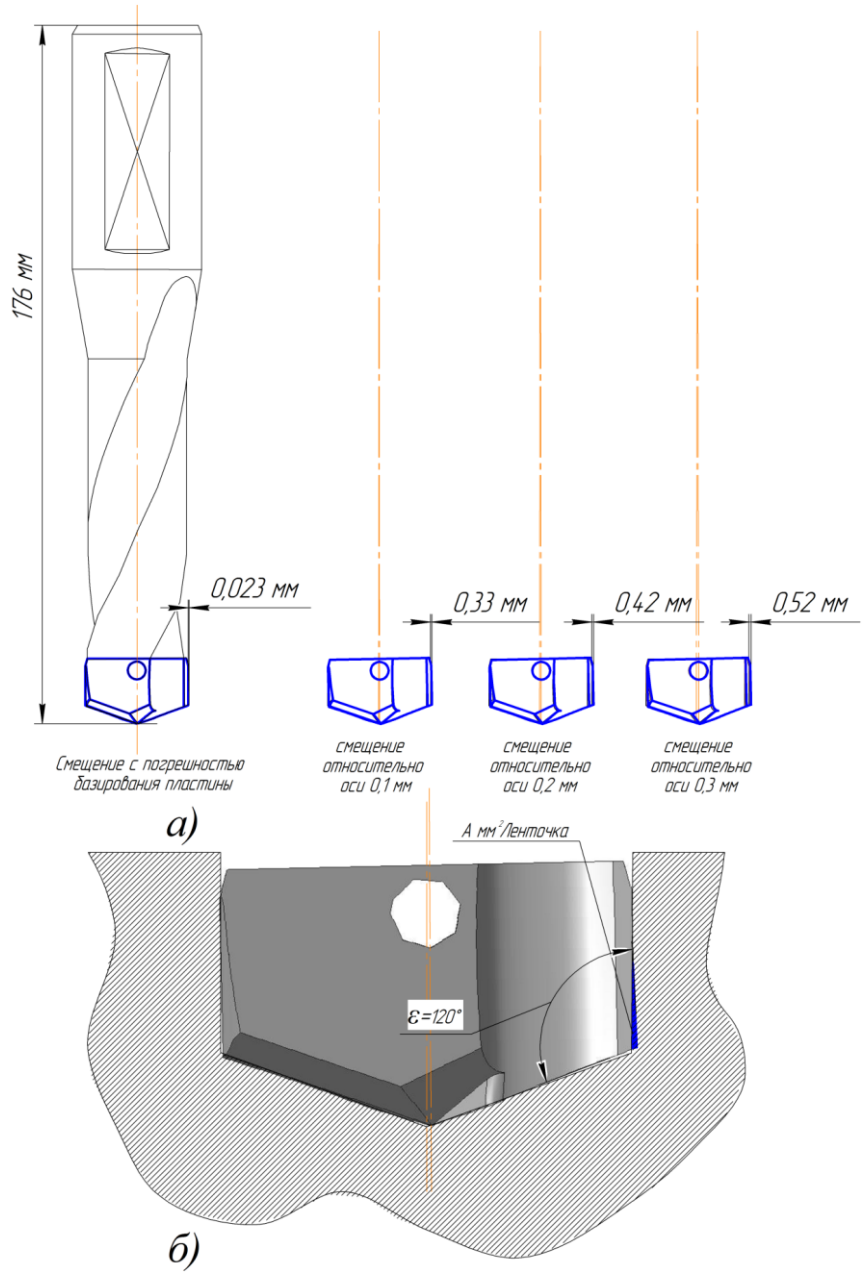
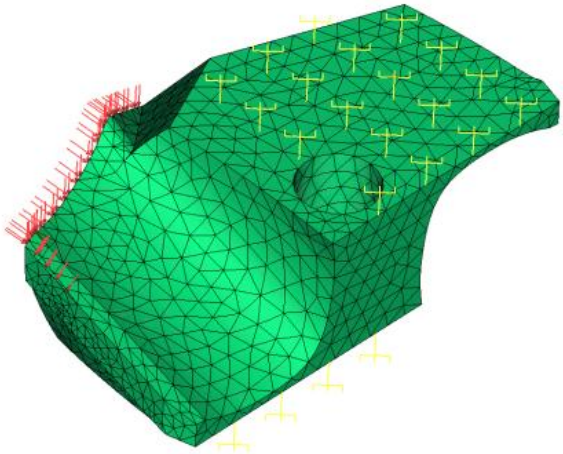


Рисунок 72 – Схема для определения площади контакта для сборных сверл со сменными режущими головками

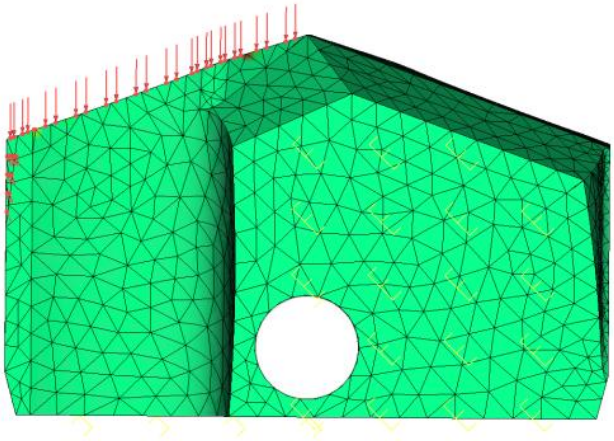
4.2 Построение расчетных моделей сменных режущих головок с учетом граничных условий нагружения

Для расчета НДС сменных режущих головок сборных сверл создавалась их объемные трехмерные модели и рассматривались в плоскости пластины и в плоскости схода стружки. При расчетах задавались механические характеристики инструментального твердого сплава, учитывались условия взаимодействия сменных режущих твердосплавных головок с корпусом сверла, элементами механизма крепления. Кроме того, силовое нагружение заменено заданием граничных условий. Разбивка модели на конечные элементы (КЭ) проводилась как в автоматическом режиме, так и с введением размера КЭ. Величина КЭ принималась в соответствии с решением тестовой задачи, результаты которой показали, что достоверные данные могут быть получены при шаге сетке у вершины 0,1 мм.

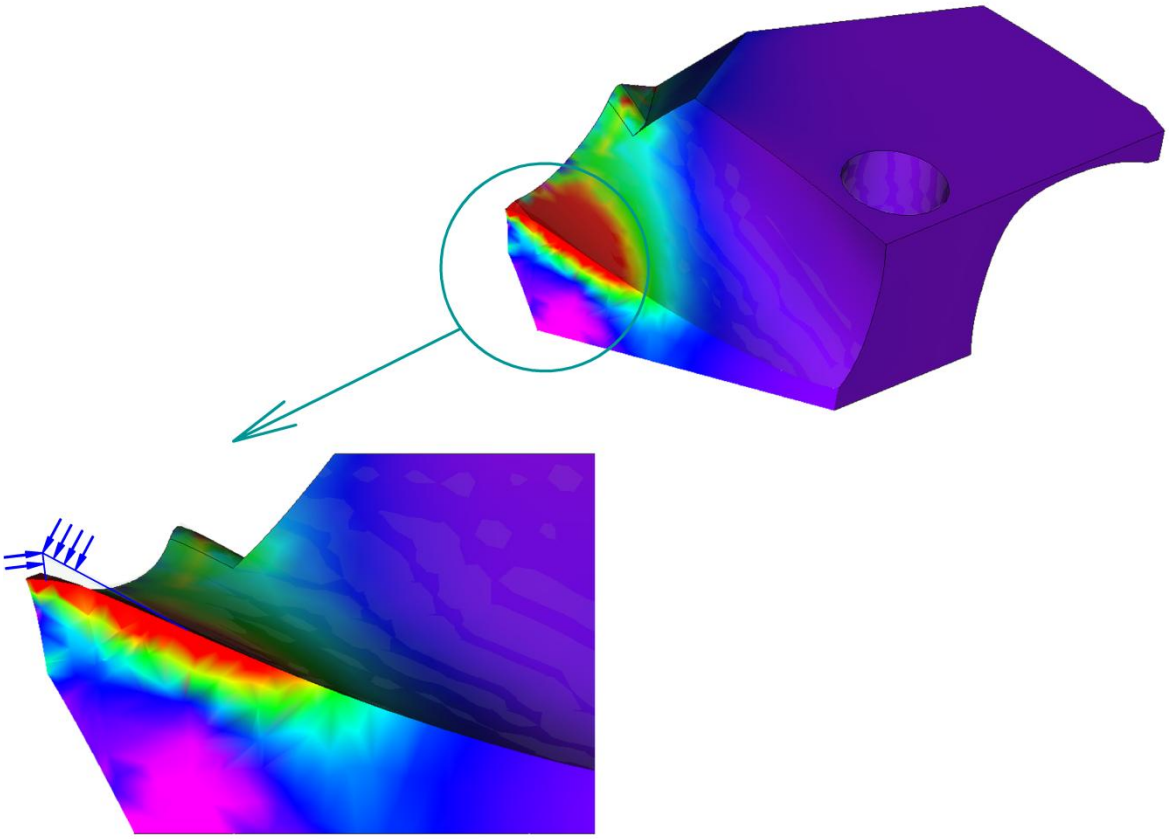
Главная проблема при разработке моделей сменных режущих головок заключается в корректном задании граничных условий, имитирующие взаимодействие режущего элемента с корпусом сборного сверла и действие сил резания при сверлении. Составляющие силы резания P_x, P_z и $M_{кр}$ и удельные нагрузки $P_{уд}$ по ширине контакта b были рассчитаны по методике представленной в главе 2.



а)



б)



в)

Рисунок 73 – Модель сменной твердосплавной режущей головки сборного сверла STAW фирмы Mitsubishi с сеткой поузловой разбивки и граничными условиями: а) трехмерная модель; б) плоскость пластины; в) секущая плоскость схода стружки

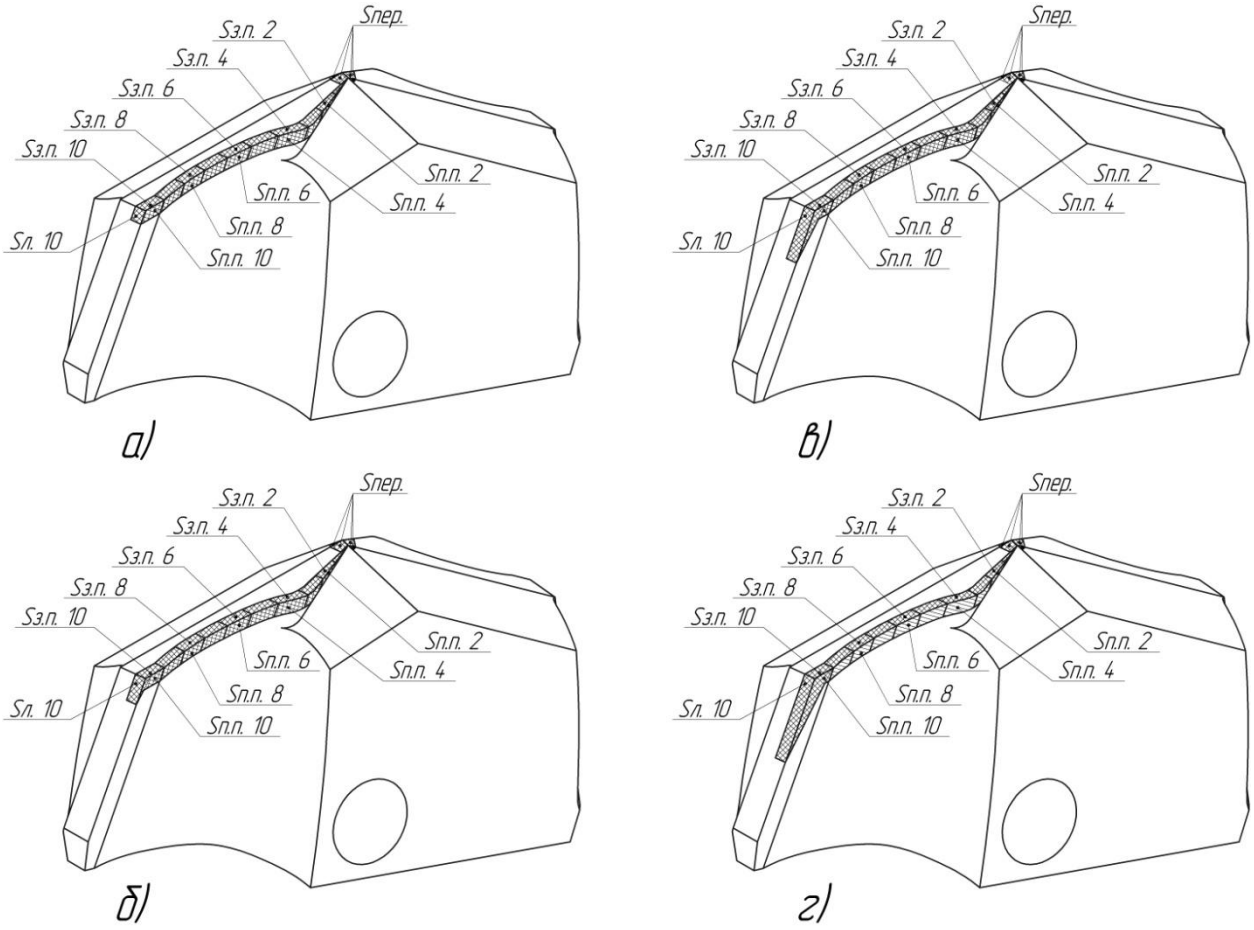


Рисунок 74 – Площади нагружения сменной режущей головки в условиях радиального биения вспомогательных режущих кромок

Таким образом, для исследования напряженно-деформированного состояния сменных твердосплавных режущих головок разработаны трехмерные модели, позволяющие рассчитывать напряжения в плоскости пластины в главной секущей плоскости и в объеме.

4.3 Напряженное состояние и прочность сменных режущих головок сборных сверл

Результаты расчета, представленные на рисунке 75, получены с применением МКЭ. Они показали, что по мере работы сверла, главная и

вспомогательная режущая кромка сменной твердосплавной головки сборного сверла испытывает переменный характер нагружения. Причем напряжения растяжения σ_1 на главной и вспомогательной режущей кромке при отклонении сверла на 0,1 мм в 5 раз больше, чем у сверла без отклонения от оси отверстия.

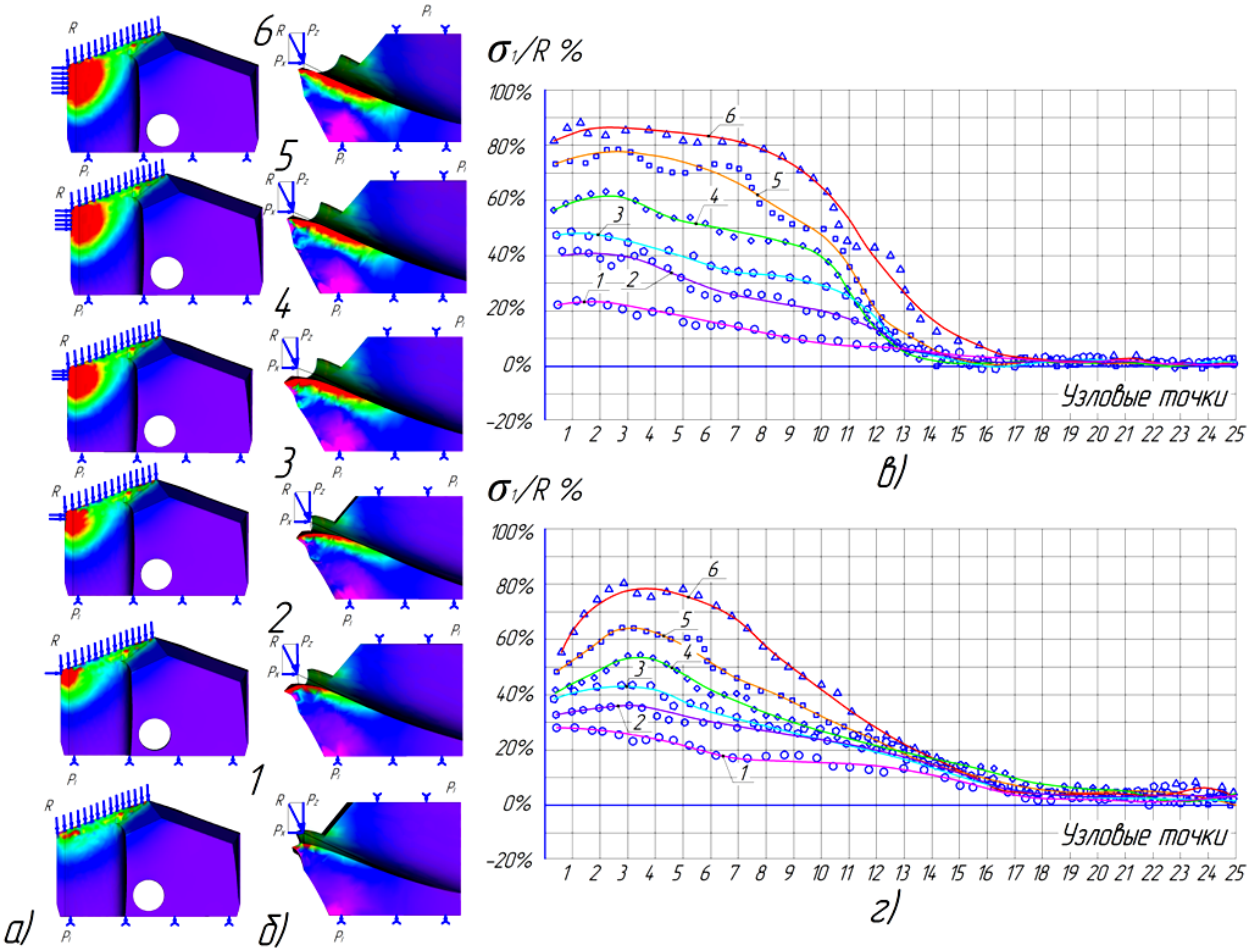


Рисунок 76 – Картины изолиний а) в плоскости головки б) в секущей плоскости схода стружки и эпюры опасных напряжений растяжения σ_1 на в) главной и г) вспомогательной (ленточке) режущих кромках возникающих из-за радиальных колебаний сверла Ø25 мм

(1- отклонение от оси 0,1 мм; 2- отклонение от оси 0,08 мм; 3 - отклонение от оси 0,06 мм; 4- отклонение от оси 0,04 мм; 5 - отклонение от оси 0,02 мм; 6 – без отклонений)

На основании этого были разработаны новые формы сменных твердосплавных режущих головок сборных сверл повышенной прочности. Новые формы сменных режущих головок, схематично обозначенные на рисунке 77, позволяют по сравнению с базовой сменной режущей головкой, при одинаковой величине радиальных колебаний сверла, снизить площадь контакта на вспомогательной режущей кромке и уменьшить величину опасных напряжений σ_1 на главной режущей кромке в 4 раза, как показано на рисунке 79.

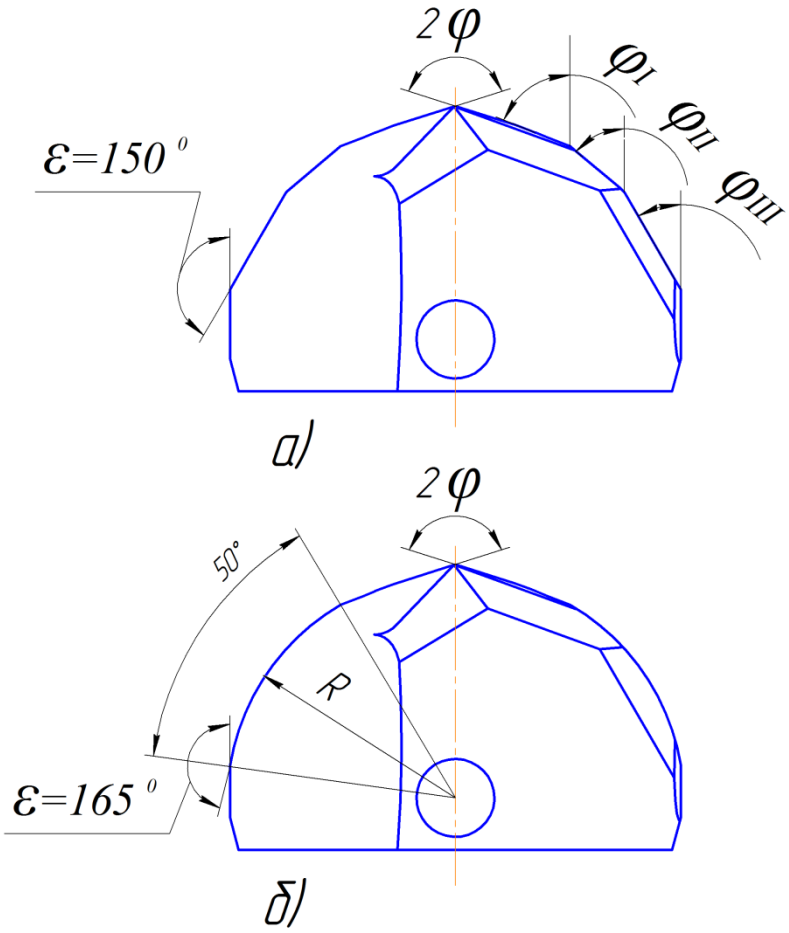


Рисунок 77 – Разработанные сменные режущие твердосплавные головки повышенной прочности: а) с тремя участками прямых с различными углами в плане φ на каждом участке ($\varphi_I > \varphi_{II} > \varphi_{III}$); б) с дугой радиусом R

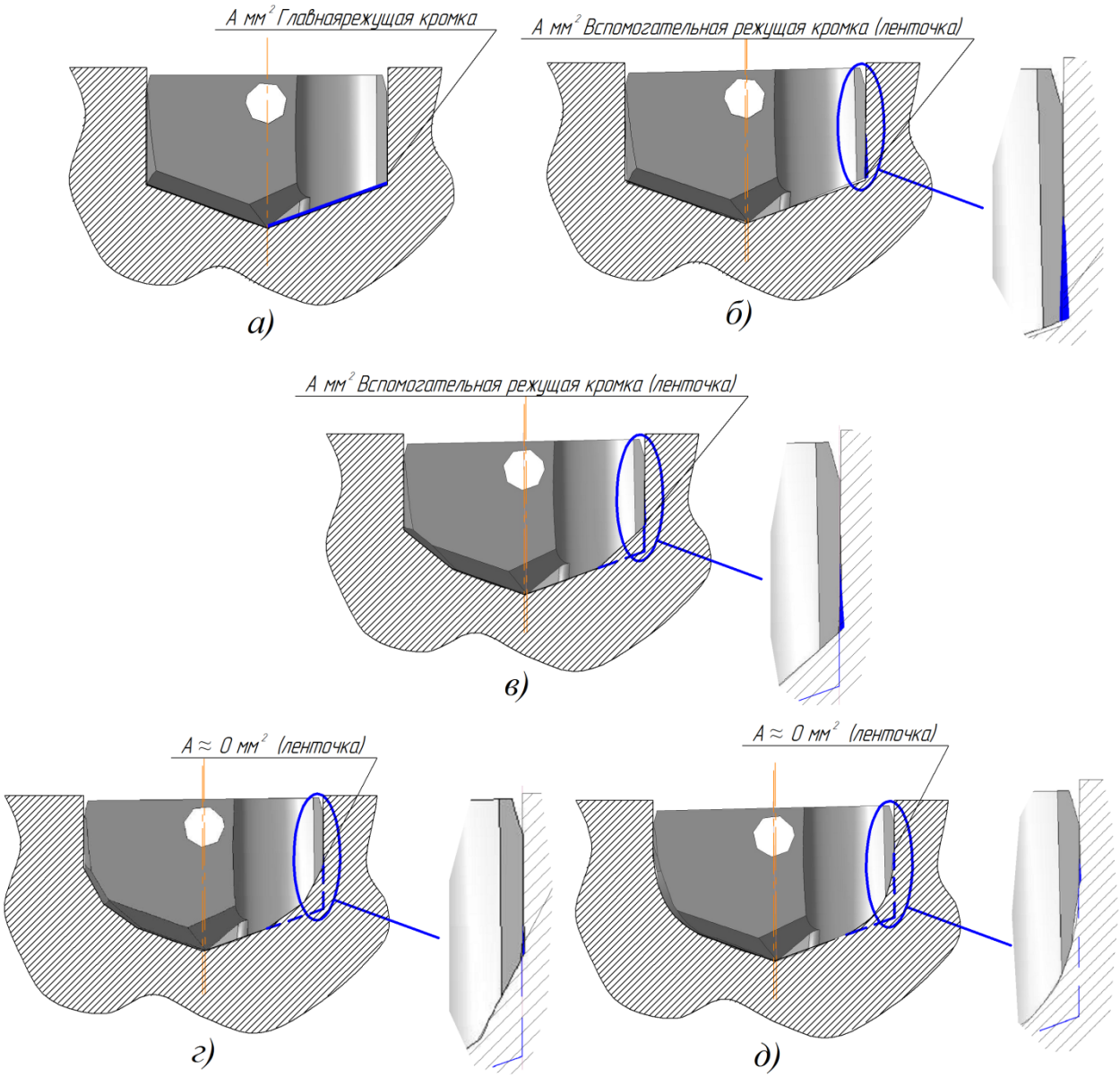


Рисунок 78 – Схема для определения площади контакта для сборных сверл со сменными режущими головками:

а) на главной режущей кромке; б) на вспомогательной режущей кромке (радиальные колебания сверла)

в) на вспомогательной режущей кромке новой формы сменной режущей головки с тройным углом φ; г) на вспомогательной режущей кромке новой формы сменной режущей головки, с дугой соединяющей главную и вспомогательную режущие кромки

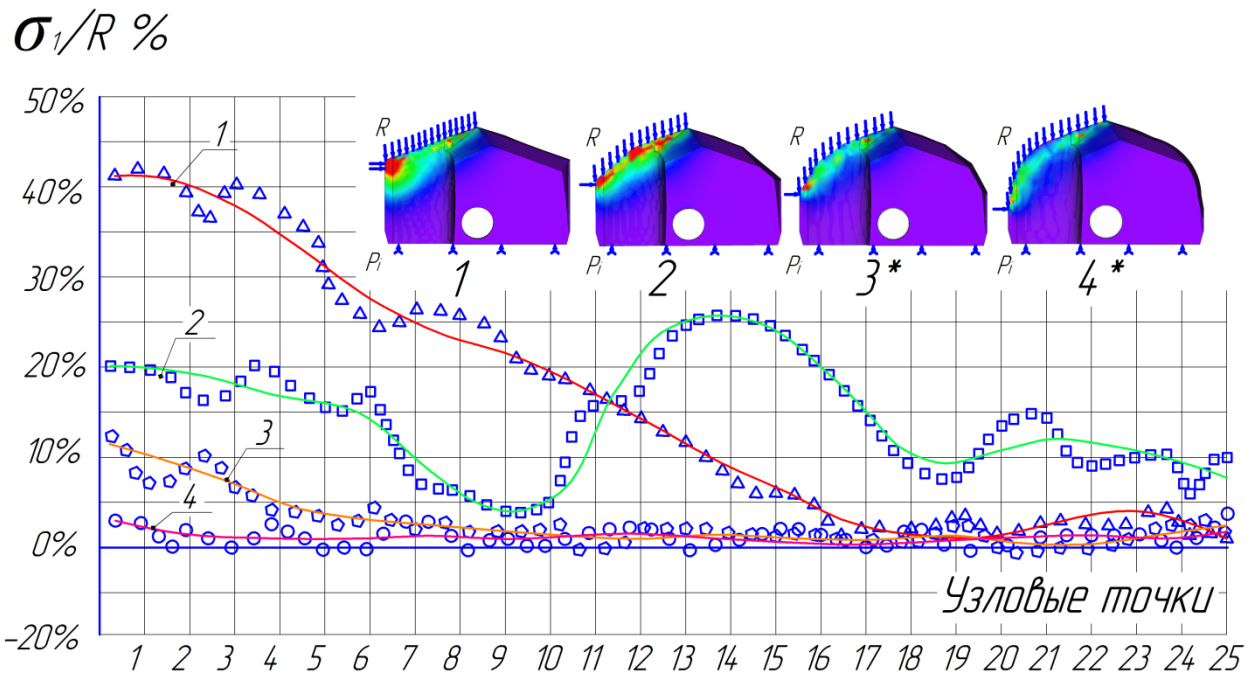


Рисунок 79 – Картины изолиний и эпюры опасных напряжений растяжения σ_1 на главной режущей кромке сверла Ø25мм со смещением от оси на 0,02 мм (1 – Сменная режущая головка фирмы Mitsubishi; 2 – Сменная режущая головка с «двойной заточкой» с двойным углом φ; 3 – Новая предлагаемая автором форма сменной режущей головки с тройным углом φ; 4 - Новая предлагаемая автором форма сменной режущей головки с дугой соединяющей главную и вспомогательную режущие кромки)

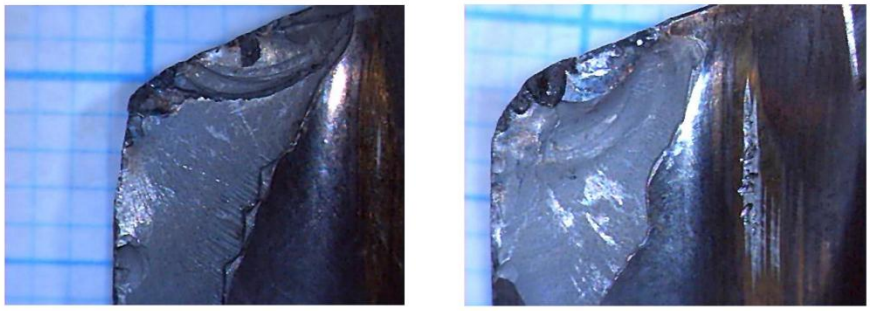
Анализ разрушенных режущих головок сборного сверла STAW фирмы Mitsubishi после эксплуатации показал, что имеет место хрупкий, хрупко-пластический и пластический характер их разрушения, как представлено на рисунке 80, а поверхности разрушения режущих элементов из твердых сплавов ограничиваются траекториями, которые хорошо описываются геометрической моделью критерия прочности Писаренко - Лебедева:

I зона – хрупкое разрушение при $\chi = 0{,}25 \div 0{,}5$;

II зона – хрупко-пластическое разрушение при $\chi = 0{,}5 \div 0{,}75$;

III зона – хрупко-пластическое разрушение при $\chi \to 1$;

IV зона – критическая текучесть кобальтовой связки $\chi = 1$.



Фрактограммы поверхности разрушения сменных режущих головок сборного сверла фирмы Mitsubishi

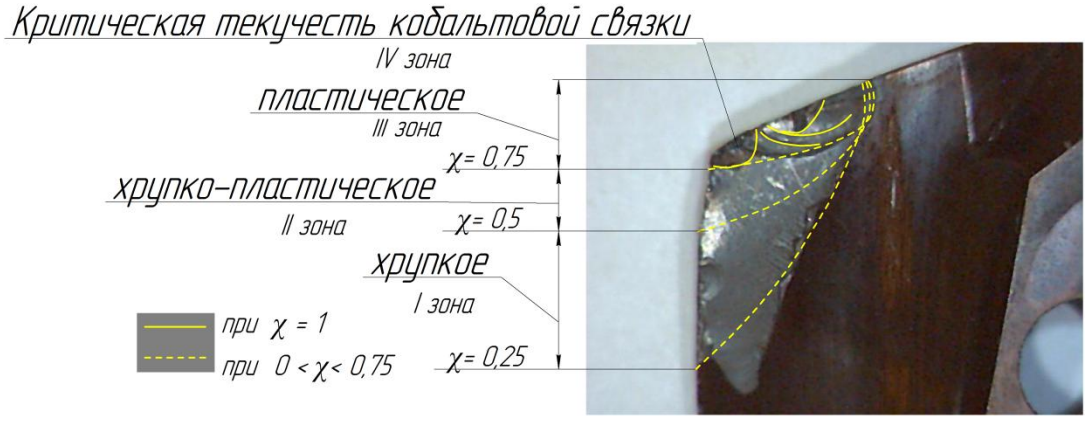


Рисунок 80 – Границы предельных поверхностей разрушения сменных твердосплавных режущих головок сборных сверл определенные с помощью геометрической модели критерия прочности Писаренко-Лебедева

Результаты расчета прочности сменных твердосплавных режущих головок сборных сверл представлены на рисунке 81.

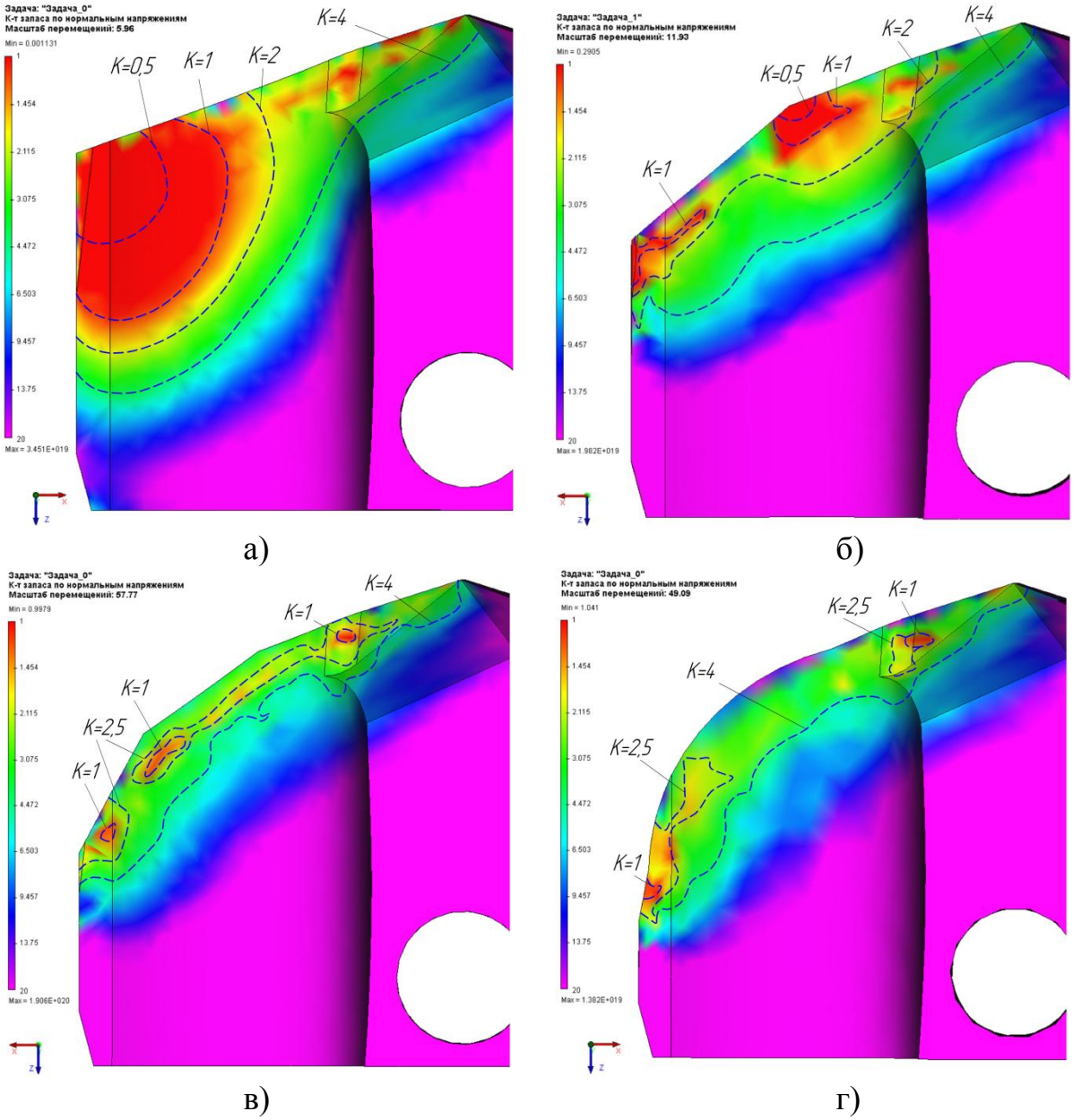


Рисунок 81 - Границы предельных поверхностей разрушения сменных твердосплавных режущих головок сборных сверл определенные с помощью разработанного метода численного исследования:

а) сменная режущая головка фирмы Mitsubishi; б) сменная режущая головка с двойным углом φ (с «двойной заточкой»); в) новая разработанная автором форма сменной режущей головки с тройным углом φ; г) новая форма сменной режущей головки с дугой радиусом R

Анализ результатов расчета прочности сменных режущих головок, представленный на рисунке 82 показал, что новая форма сменной режущей головки с главной режущей кромкой с тремя и более участками прямых, с различными углами в плане φ, позволяют, по сравнению с базовой сменной режущей головкой, при одинаковой величине радиальных колебаний сверла, снизить площадь контакта на вспомогательной режущей кромке уменьшить величину опасных напряжений σ_1, а также значительно снизить зону предельных поверхности разрушения, там где коэффициент запаса прочности меньше предельного значения (К < 1,5) и тем самым увеличить прочность разработанной сменной твердосплавной режущей головки.

Таким образом, по картинам изолиний опасных напряжений растяжения σ_1 определяются границы предельных поверхностей хрупкого разрушения сменных режущих твердосплавных головок сборных сверл, траектории которых хорошо описываются геометрической моделью критерия прочности Писаренко-Лебедева.

Для проверки результатов расчетов были проведены экспериментальные исследования при сверлении стали 12Х18Н10Т. В качестве режущего инструмента использовались сборное сверло со сменными режущими головками фирмы Mitsubishi и сборное сверло, предлагаемое автором. Анализ результатов эксперимента, представленный на рисунке 83, показал что новая форма сменных режущих головок позволили снизить силы резания $P_{ос}$, $M_{кр}$ и увеличить работоспособность твердосплавной головки, измеренную количеством полученных отверстий приблизительно в 2,5 раза.

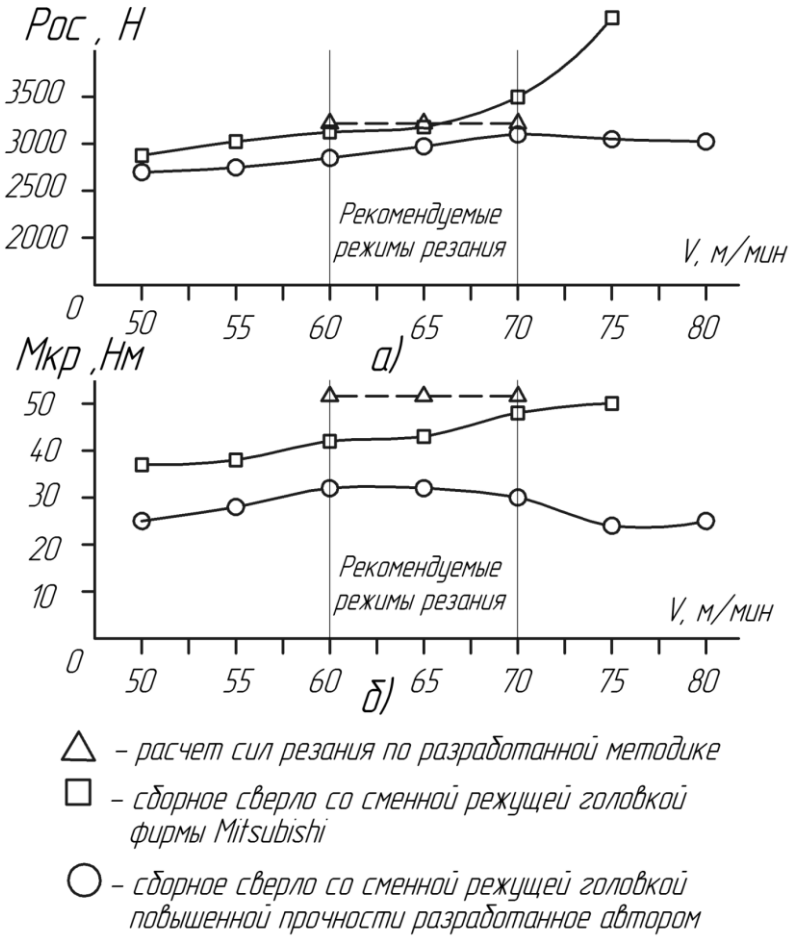


Рисунок 82 – Результаты производственных и лабораторных испытаний разработанного сверла со сменными режущими пластинами при S=0,2 мм/об: а) сила $P_{ос}$; б) крутящий момент $M_{кр}$

Таким образом, по результатам проведенных исследований установлено, что снижения сил резания, а также снижения величины опасных напряжений растяжения σ_1 на периферийной части сменной режущей головки можно достичь введением в конструкцию сменной режущей головки ломанной главной режущей кромки с тремя и более участками и различными углами в плане φ на каждом участке.

4.4 Выводы

1. Проведя имитационное моделирование, было исследовано влияние радиальных колебаний сверла на напряженное состояние сменной

твердосплавной режущей головки. Результаты расчета, полученные с применением МКЭ показали, что напряжения растяжения σ_1 на главной и вспомогательной режущей кромке при отклонении сверла на 0,1 мм в 5 раз больше, чем у сверла без отклонения от оси отверстия.

2. Разработаны новые формы сменных твердосплавных режущих головок сборных сверл повышенной прочности, которые позволяют по сравнению с базовой сменной режущей головкой, при одинаковой величине радиальных колебаний сверла, снизить площадь контакта на вспомогательной режущей кромке и уменьшить величину опасных напряжений σ_1 на главных режущих кромках в 4 раза.

3. Установлено, что снижение сил резания, а также снижение величины опасных напряжений растяжения σ_1 на периферийной части сменной режущей головки можно достичь введением в конструкцию сменной режущей головки ломанной главной режущей кромки с тремя и более участками с различными углами в плане φ.

4. По картинам изолиний опасных напряжений растяжения σ_1 определяются границы предельных поверхностей хрупкого разрушения сменных режущих твердосплавных головок сборных сверл, траектории которых хорошо описываются геометрической моделью критерия прочности Писаренко-Лебедева.

5. Для проверки результатов расчетов были проведены экспериментальные исследования при сверлении стали 12Х18Н10Т. Анализ результатов эксперимента показал, что новая форма сменных режущих головок позволять снизить силы резания $P_{ос}$, $M_{кр}$ и увеличить работоспособность твердосплавной головки, измеренную количеством полученных отверстий приблизительно в 2,5 раза.

ГЛАВА 5. ПРАКТИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ

5.1 Выбор, расчет и проектирование сменных режущих твердосплавных элементов и сборных сверл повышенной работоспособности

На основании результатов исследования разработан алгоритм выбора, расчета и проектирования конструктивных параметров сменных режущих элементов и сборных сверл повышенной работоспособности, схематично приведенный на рисунке 84.

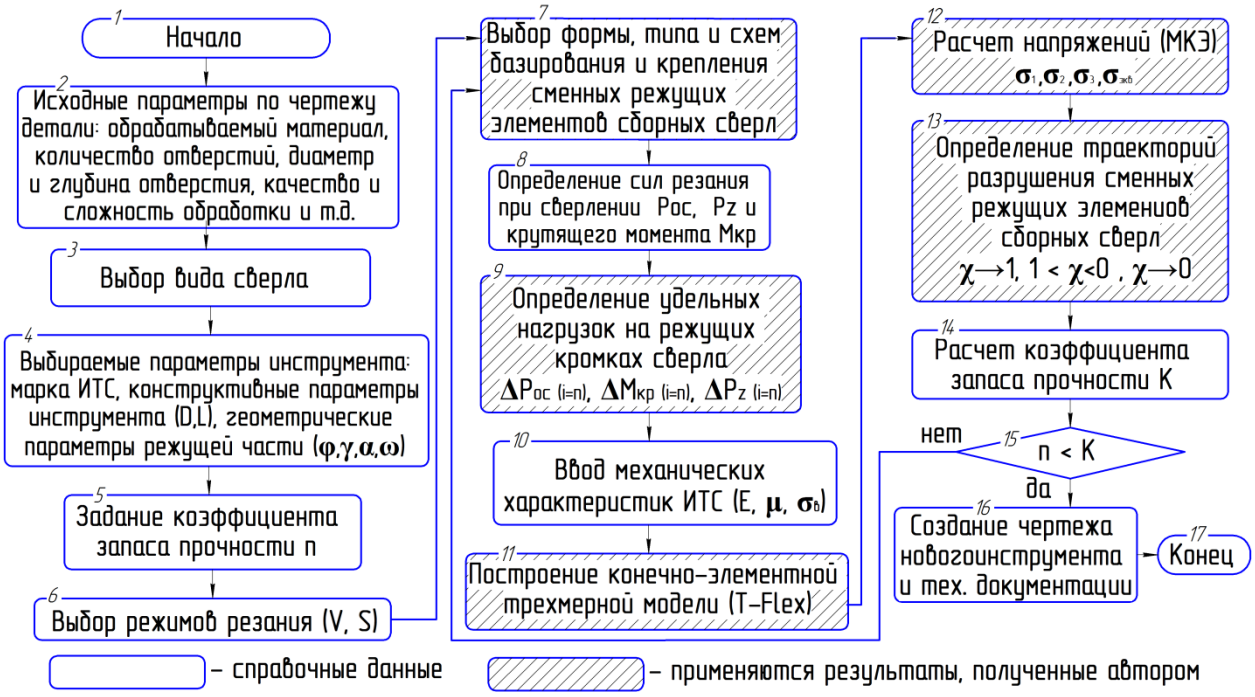


Рисунок 83 – Блок-схема алгоритма методики выбора, расчета и проектирования сменных режущих твердосплавных элементов и сборных сверл повышенной работоспособности

Следуя последовательности выполнения представленного алгоритма, необходимо выполнить следующие шаги:

◊ По чертежу и справочным данным провести анализ детали и материала заготовки, определить диаметр, глубину и качество обрабатываемого отверстия /2/;

◊ По рекомендациям фирм производителей режущего инструмента [60],[83],[84], [102] выбирать оптимальный вид сверла /3/;

◊ По справочным данным определить инструментальный материал, конструктивные параметры корпуса сверла и геометрические параметры режущей части /4/;

◊ Задать коэффициент запаса прочности с вероятностью неразрушения 80-90% [52] принимаем К=1,5 /5/;

◊ По имеющимся справочным данным выбрать оптимальные режимы резания [41],[59], [60], [83], [84], [88], [102] /6/;

♦ Выбрать форму, тип и схемы базирования сменных режущих элементов сборных сверл /7/;

♦ По разработанной методике, представленной в главе 2 и в соответствии со справочными данными, представленными в приложениях №3 определить суммарные силы резания $P_{ос}$, $M_{кр}$, P_z /8/;

♦ В соответствии с разработанным методом (см. главу 2) для задания граничных условной прочностного анализа сменных режущих твердосплавных элементов сборных сверл с применением МКЭ, определить удельные нагрузки $P_{ос}$, $M_{кр}$, P_z на режущих кромках сверла /9/;

◊ Задать механические свойства инструментального твердого сплава (см. главу 2) [6],[42],[44] (μ – коэффициент Пуассона, Е – модуль упругости и т.д.) /10/;

♦ Разработать конечно-элементные модели сменных твердосплавных режущих элементов сборных сверл. Выбрать тип конечных элементов, шаг расчетной сетки и т.д. /11/;

♦ Рассчитать методом конечных элементов в программном пакете T-Flex Анализ напряжения σ_1, σ_2, σ_3, σ_i и $\sigma_{экв}$ (см главу 3 и 4) /12/;

♦ По полученным результатам напряженно-деформированного состояния в соответствии с геометрической моделью критерия прочности Писаренко-

Лебедева $\sigma_\eta = \chi\sigma_i + (1-\chi)\sigma_1 A^{1-J} \le \sigma_B$ определить зоны разрушения /13/;

- ♦ С применением МКЭ провести расчет коэффициента запаса прочности сменных режущих элементов сборных сверл /14/;
- ◊ В случае, когда расчетное значение коэффициента запаса прочности получается меньше заданного, то необходимо изменить конструктивные параметры сменных режущих пластин и головок и повторить расчет /15/.

5.2 Разработанные и запатентованные конструкции сменных режущих пластин и сборных сверл повышенной работоспособности

Как уже было отмечено выше, на основании проведенного критического анализа конструкций конструктивных параметров сборных сверл разных фирм и полученных результатов исследования напряженно-деформированного состояния сменных режущих элементов сборных сверл, были разработаны, изготовлены и запатентованы новые конструкции сменных режущих пластин и сборных сверл, представленные на рисунках 84-86.

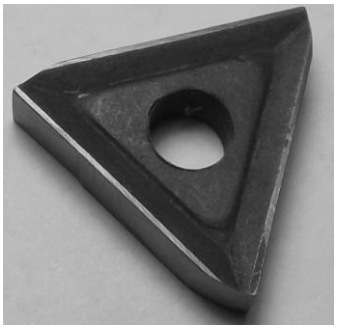


Рисунок 84 – Сменная режущая пластина повышенной прочности (Пат. №2531336)

Рисунок 85 – Сборное сверло с СРП повышенной прочности (Пат. №2539255)

Рисунок 86 – Сборное сверло со сменной режущей головкой повышенной прочности (Заявка на пат. № 2014132270 от 05.08.2014)

5.2.1 Сменная режущая пластина повышенной прочности (Пат. №2531336)

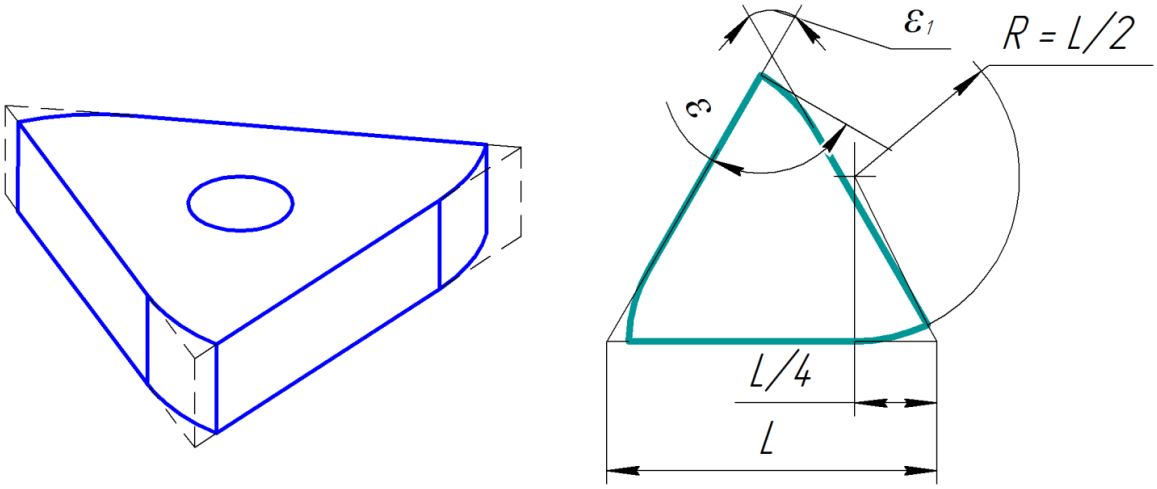


Рисунок 87 - Сменная режущая пластина повышенной прочности (Пат. №2531336)

Режущая многогранная пластина, выполненная на основе равностороннего многогранника, с главной и вспомогательной режущими кромками, образованными пересечением передней поверхности с боковыми поверхностями. Для повышения работоспособности и расширения технологических возможностей за счет использования режущий пластины для черновой и чистовой обработки вспомогательная режущая кромка выполнена в виде кривой линии вписанной в четверть длины стороны многогранника, при этом радиус криволинейной режущей кромки равен половине длины стороны многогранника.

Изобретение относится к области обработки материалов резанием, сборному режущему инструменту с механическим креплением многогранных режущих пластин, предназначенному для черновой и чистовой обработки.

Задачами, на решение которых, направленно заявляемое изобретение, является повышение работоспособности и расширение технологических

возможностей режущей пластины, которую можно использовать в стандартном корпусе державки сборного режущего инструмента, при стандартных схемах крепления.

Поставленная задача решается за счет вспомогательной режущей кромки выполненной в виде дуги, что повышает прочность пластины и позволяет снизить величину шероховатости обработанной поверхности, что обуславливает возможность применения такой режущей пластины для черновой и чистовой обработки в стандартном корпусе державки сборного режущего инструмента.

Указанный технический результат достигается тем, что режущая многогранная пластина, выполненная в виде равностороннего многогранника, с прямолинейными главной и вспомогательной режущими кромками, образованными пересечением передней поверхности с боковыми поверхностями, у которой вспомогательная режущая кромка выполнена в виде кривой линии вписанной в четверть длины стороны многогранника, при этом радиус криволинейной режущей кромки равен половине длины стороны многогранника.

Криволинейная вспомогательная режущая кромка повышает прочностные свойства режущей пластины ввиду увеличенного угла при вершине ε и снижает величину высоты микронеровностей R_z на обработанной поверхности, кроме того кривая линия вписывается в четверть длины стороны многогранника, тем самым не требует выемок под боковые поверхности режущих кромок в корпусе державки сборного инструмента. Паз под режущую пластину в корпусе державки сборного режущего инструмента повторяет форму поверхности многогранника, что обуславливает возможность применения такой режущей пластины для черновой и чистовой обработки в стандартном корпусе державки сборного режущего инструмента.

5.2.2 Сборное сверло с режущими пластинами (Пат. №2539255)

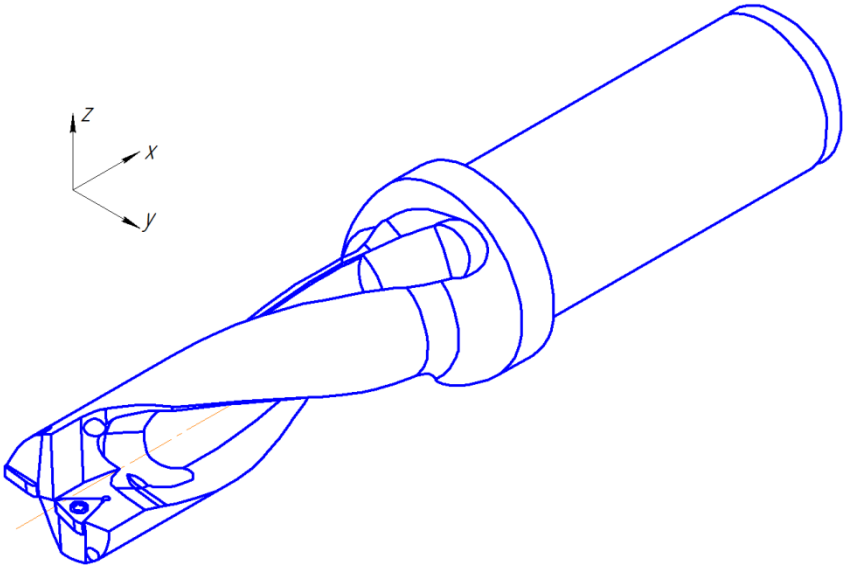


Рисунок 88 – Сборное сверло с СРП повышенной прочности (Пат. №2539255)

Изобретение относится к области обработки материалов резанием, сборному режущему сверлу с механическим креплением многогранных режущих пластин.

Сверло содержит корпус, центральную режущую пластину, установленную рядом с осью вращения и периферийную режущую пластину, идентичную центральной режущей пластине. При этом периферийная режущая пластина установлена дальше от оси вращения, чем центральная режущая пластина. Для повышения работоспособности, снижения сил резания и расширения технологических возможностей сверла траектория вращения центральной режущей пластины и периферийной режущей пластины по меньшей мере частично перекрываются с образованием участка перекрытия, причем режущая кромка внутренней режущей пластины и режущая кромка внешней режущей пластины наклонены к оси вращения в направление к детали, что обеспечивает пошаговое засверливание в обрабатываемую деталь. Для повышения надежности крепления многогранных режущих пластин, центральная и периферийная режущие

пластины, выполнены на основе равностороннего трехгранника, с главной и вспомогательной режущими кромками, образованными пересечением передней поверхности с боковыми поверхностями. В сборных сверлах данной конструкции исключается перекос режущих пластин при затяжке винта, обеспечивается выполнение правила силового замыкания, то есть направление силы резания совпадает с направлением силы крепления.

5.2.3 Сборное сверло со сменной режущей головкой повышенной прочности (Заявка на пат. № 2014132270 от 05.08.2014)

Изобретение относится к области обработки материалов резанием, сборному режущему сверлу с механическим креплением режущей головки.

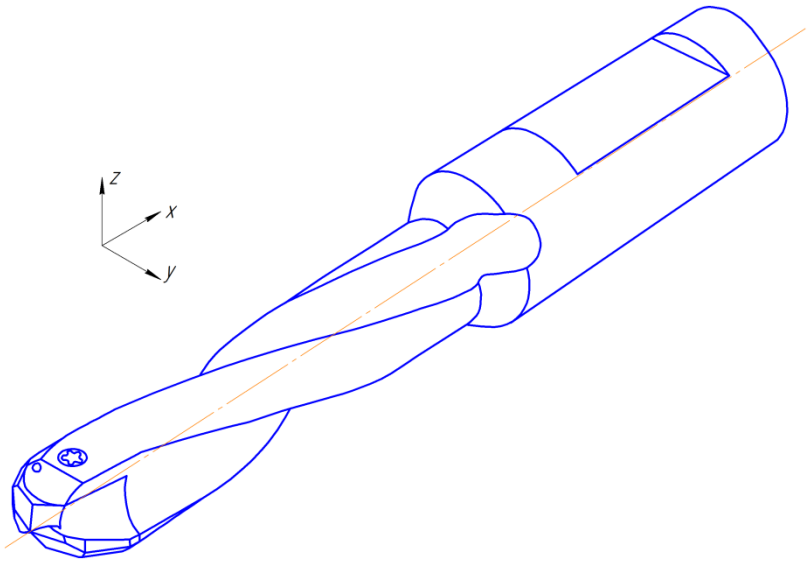


Рисунок 89 – Сборное сверло со сменной режущей головкой повышенной прочности (Заявка на пат. № 2014132270 от 05.08.2014)

Сверло содержит корпус, осесимметричную режущую головку с двумя главными режущими кромками, которые образуют просверливаемое отверстие и двумя вспомогательными режущими кромками. Для повышения работоспособности сверла каждая из главных режущих кромок образуется ломаной линией с тремя участками. При этом увеличивается угол между

периферийной частью главной режущей кромки и вспомогательной режущей кромкой, что улучшает отвод теплоты, возникающей в процессе сверления. Также уменьшается толщина срезаемого слоя на периферийной части сверла, что позволяет значительно увеличить стойкость сверла, или увеличить скорость резания.

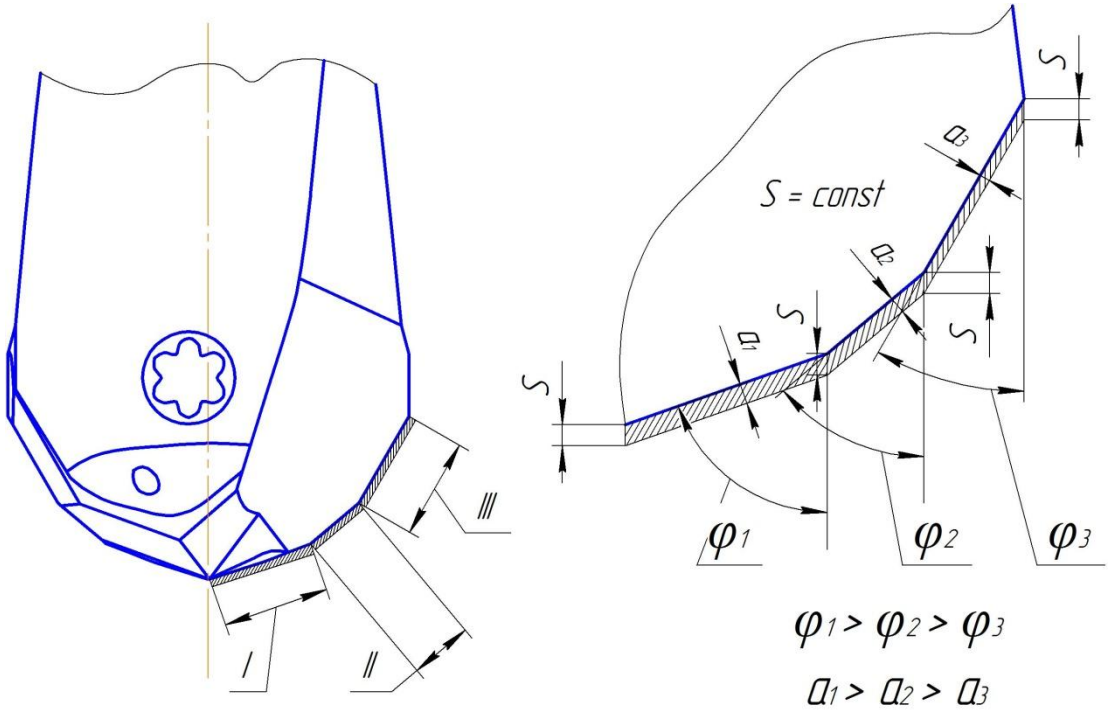


Рисунок 90 – Новая конструкция сменной твердосплавной режущей головки с главной режущей кромкой, формируемой из трех участков прямых, с различными углами в плане φ на каждом участке

Задачей, на решение которой, направленно заявляемое изобретение является создание сборного сверла с режущей головкой повышенной работоспособности, способное работать в условиях повышенных скоростей и вибрационных нагрузок.

Поставленная задача решается за счет предлагаемой формы режущей головки, что улучшает отвод теплоты, возникающей в процессе сверления. Также улучшается стружкодробление и уменьшается толщина срезаемого слоя на периферийной части сверла, что позволяет значительно увеличить

стойкость сверла, или обеспечивая ту же стойкость увеличить скорость резания.

Указанный технический результат достигается тем, что сборное сверло содержащее корпус, осесимметричную режущую головку с двумя режущими кромками, которые образуют просверливаемое отверстие и две вспомогательные режущие кромки, причем каждая из главных режущих кромок образуется ломаной линией, с тремя участками. При этом увеличивается угол между периферийной частью главной режущей кромки и вспомогательной режущей кромкой.

5.3 Результаты производственных испытаний созданных сборных сверл

На рисунке 91 представлены результаты производственных испытаний на ОАО «Газтурбосервис» сборных сверл с разработанными сменными режущими твердосплавными элементами при сверлении деталей из стали 12Х18Н10Т на рекомендуемых режимах резания, которые показали повышение работоспособности сборных сверл со сменными режущими головками (I-II) в 2,4 раза, с СРП (III-IV) в 1,7 раза.

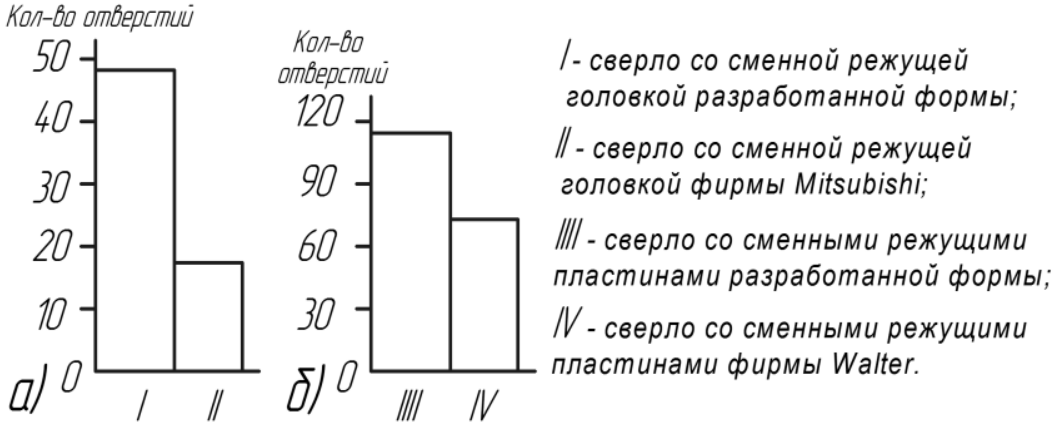


Рисунок 91 – Результаты производственных испытаний сборных сверл: а) со сменной режущей головкой (V=65 м/мин; S=0,2 мм/об; б) со сменными режущими пластинами при V=150 м/мин; S=0,04 мм/об)

Рисунок 92 – Производственные испытания резца оснащенного сменной режущей пластинка повышенной прочности (Пат. №2531336) и сборного сверла со сменными режущими пластинами (Пат. №2539255) на ОАО «Газтурбосервис»

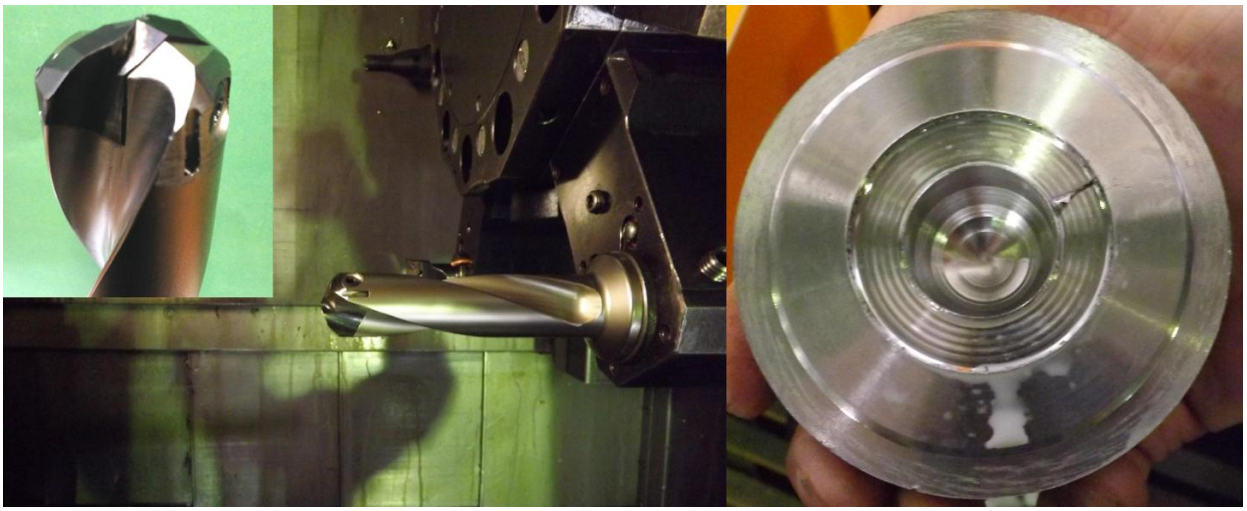


Рисунок 93 – Производственные испытания сборного сверла со сменной режущей головкой повышенной прочности (Заявка на пат. № 2014132270 от 05.08.2014)

Производственные испытания сборного сверла со сменной режущей головкой повышенной прочности на ООО «Тюменьстальмост» при сверлении стального проката из стали 10ХСНДА подтвердили полученные результаты. Работоспособность сверла увеличилась в 2 раза.

Рисунок 94 – Производственные испытания сборного сверла со сменной режущей головкой повышенной прочности на ООО «Тюменьстальмост» (Заявка на пат. № 2014132270 от 05.08.2014)

5.4 Выводы

1. На основании результатов исследования разработана методика выбора, расчета и проектирования сменных режущих твердосплавных элементов и сборных сверл повышенной работоспособности.

2. Разработаны, изготовлены и запатентованы новые конструкции сборных сверл и сменных режущих пластин повышенной прочности. Производственные испытания разработанных конструкций сборных сверл и сменных режущих пластин показали увеличение их работоспособности по сравнению с базовой конструкцией:

- сменной режущей пластины в 2 раза;
- сверла со сменными режущими пластинами в 1,7 раз;
- сверла со сменной режущей головкой в 2,4 раза.

3. Результаты работы в виде методики выбора, расчета и проектирования сменных режущих твердосплавных элементов и сборных сверл разных типов, а также в новые конструкции сборных инструментов с разработанными режущими элементами повышенной прочности переданы для внедрения в производство.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В заключении сформулированы выводы и результаты работы:

1. В диссертации решена научно-техническая задача, заключающаяся в повышении работоспособности сборных сверл путем снижения значений опасных напряжений растяжения σ_1 в режущих лезвиях, на основе исследования напряженного состояния и прочности режущих твердосплавных элементов.

2. Разработан метод численного исследования напряженного состояния и прочности сменных режущих твердосплавных элементов, с применением МКЭ, для обеспечения максимальной работоспособности сборных сверл путем снижения величины опасных напряжений растяжения σ_1 в режущих лезвиях и соответственно увеличения их прочности.

3. Получены картины изолиний опасных напряжений растяжения σ_1 , по которым были определены границы предельных поверхностей разрушения режущих твердосплавных элементах сборных сверл, что позволило оптимизировать конструктивные параметры сменных режущих пластин и сменных режущих головок с целью повышения их прочности, для обеспечения повышения работоспособности сборных сверл.

4. Установлено, что в сменных режущих твердосплавных пластинах сборных сверл увеличение угла при вершине ε и схема базирования и крепления пластины в угловой паз корпуса инструмента по двум боковым поверхностям пластин так, чтобы одна из них приходилась на вспомогательную режущую кромку, обеспечивает снижение опасных напряжений растяжения σ_1 и соответственно повышение прочности.

5. Установлено, что конструкция сменной твердосплавной режущей головки с главной режущей кромкой, формируемой из трех и более участков прямых, с различными углами в плане φ на каждом участке, позволяет снизить величины опасных напряжений растяжения σ_1 на периферийной части режущих лезвий сменной режущей головки.

6. Разработана новая сменная режущая пластина повышенной прочности, форма которой выполнена на основе равностороннего многогранника, при этом главная режущая кромка выполнена в виде прямой, а вспомогательная в виде дуги, которая вписана в четверть длины стороны многогранника, при этом радиус дуги равен половине длины стороны многогранника (Пат. № 2531336).

7. Созданы конструкции сборных сверл со сменными режущими пластинами повышенной прочности (Пат. №2539255) и со сменной режущей головкой с главной режущей кромкой, формируемой из трех и более участков прямых, с различными углами в плане φ на каждом участке (Подана заявка на патент на изобретение № 2014132270 от 05.08.2014).

8. Результаты работы в виде методики выбора, расчета и проектирования сменных режущих твердосплавных элементов и сборных сверл разных видов, а также в виде новых конструкций сборных сверл с разработанными режущими элементами повышенной прочности переданы для внедрения в производство.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аваков, А.А. Физические основы теории стойкости режущих инструментов. / А.А. Аваков - М.: Машгиз, 1960 - 308 с.

2. Артамонов, Е.В. Прочность и работоспособность сменных твердосплавных пластин сборных режущих инструментов. / Е.В. Артамонов – Тюмень: ТюмГНГУ, 2003. – 192 с.

3. Артамонов, Е.В. Механика разрушения и прочность сменных режущих пластин из твердых сплавов. / Е.В. Артамонов, Т.Е. Помигалова, А.М. Тверяков, М.Х. Утешев– Тюмень: ТюмГНГУ, 2013. – 148 с.

4. Артамонов, Е.В. Методология расчета и проектирования сменных режущих пластин и сборных инструментов. / Е.В. Артамонов, Т.Е. Помигалова, Н.И. Смолин, М.Х. Утешев – Тюмень, 2005. – 151 с.

5. Артамонов, Е.В. Повышение работоспособности сменных твердосплавных пластин сборных режущих инструментов. / Е.В. Артамонов, Р.С. Чуйков, В.А. Шрайнер – Тюмень, 2007. – 168 с.

6. Артамонов, Е.В. Расчет и проектирование сменных режущих пластин и сборных инструментов / Е.В. Артамонов, Т.Е. Помигалова, М.Х. Утешев – Тюмень: ТюмГНГУ, 2011 – 152 с.

7. Артамонов, Е.В. Напряженно-деформированное состояние и прочность режущих элементов инструментов / Е.В. Артамонов, И.А. Ефимович, Н.И. Смолин, М.Х. Утешев – М.: ООО «Недра: Бизнесцентр», 2001. – 199 с.

8. Артамонов, Е.В. Инструментальные твердые сплавы и их влияние на работоспособность металлорежущих инструментов: учебное пособие / Е.В. Артамонов, В.М. Костив. – Тюмень: ТюмГНГУ, 1998. – 137 с.

9. Артамонов, Е.В. Модель разрушения и прочности режущих твердосплавных элементов сборных сверл. / Е.В. Артамонов, М.О. Чернышов

// Омский научный вестник. Серия приборы, машины и технологии. – 2014. – №1 (127) – с 44-46.

10. Артамонов, Е.В. Повышение работоспособности сменных режущих пластин сборных инструментов. / Е.В. Артамонов, М.О. Чернышов, Т.Е. Помигалова, Д.В. Васильев. // СТИН – 2014. – №7 – с. 19-21

11. Артамонов, Е.В. Повышение эффективности обработки корпуса шиберной заглушки путем применения разработанной конструкции сборного сверла. / Е.В. Артамонов, М.О. Чернышов // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 2014. - №4 – с. 89 - 91

12. Артамонов, Е.В. Высокопроизводительные инструменты для обработки отверстий. / Е.В. Артамонов, А.Ю. Свирид, М.О. Чернышов // Новые материалы, неразрушающий контроль и наукоемкие технологии в машиностроении: материалы VI научно-технической интернет - конференции с международным участием – Тюмень: ТюмГНГУ, 2012. – с 25-29.

13. Артамонов, Е.В. Проблемы прочности и работоспособности сборных сверл. / Е.В. Артамонов, А.Ю. Свирид, М.О. Чернышов // Новые материалы, неразрушающий контроль и наукоемкие технологии в машиностроении: материалы VI научно-технической интернет - конференции с международным участием – Тюмень: ТюмГНГУ, 2012. – с. 3-7.

14. Александров, А.В. Сопротивление материалов: учеб. для вузов. / А.В. Александров, В.Д. Потапов, Б.П. Державин– М.: Высш. шк., 2001. – 560 с.

15. Баранчиков, В.И. Справочник конструктора-инструментальщика / Г.В. Боровский, Ю.В. Гаврилов и др. Под общ. ред. Гречишникова В.А. и Кирсанова С.В. 2-е изд., перераб. и доп. – М.:Машиностроение, 2006. – 542 с.

16. Баканов, А.А. Повышение работоспособности сборных сверл со сменными многогранными пластинами при сверлении железнодорожных рельсов: дис. … канд. тех. наук: 05.02.07 / Баканов Александр Александрович. – Томск, 2007 – 157 с.

17. Баканов, А.А. Методика проектирования сборных сверл со сменными многогранными пластинами. / А.А. Баканов // Инженерный вестник Дона.: Ростов-на-Дону - 2013. Т. 25. № 2 (25). С. 63.

18. Баканов, А.А. Определение доли припуска, приходящегося на каждую пластину при обработке отверстий сборными сверла с СМП. / А.А. Баканов, А.А. Ласуков // Инновационные технологии и экономика в машиностроении: сборник трудов IV Международной научно-практической конференции с элементами научной школы для молодых ученых. Юргинский технологический институт. − Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2013. −654 с.

19. Барботько, А.И. Геометрия резания материалов: учебное пособие. / А.И. Барботько – Старый Оскол: ТНТ, 2012. – 320 с.

20. Бетанели, А.И. Прочность и надежность режущих инструментов. / А.И. Бетанели – Тбилиси: Сабчота Сакартвело, 1973. – 301 с.

21. Биргер, И.А. Расчет на прочность деталей машин: справочник - 4 изд., перераб. и доп. / И.А. Биргер, Б.Ф. Шорр, Г.Б. Иосилевич - М.: Машиностроение, 1993. - 640 с.

22. Бобров, В.Ф. Развитие науки о резании металлов / В.Ф. Бобров, Г.И. Грановский, Н.Н. Зорин и др. – М.: Машиностроение, 1967. – 416 с.

23. Васин, С.А. Прогнозирование виброустойчивости инструмента при точении и фрезеровании. Серия «Библиотека инструментальщика». / С.А. Васин – М.: Машиностроение, 2006. – 384 с.

24. Васин, С.А. Проектирование сменных многогранных пластин. Методологические принципы. / С.А. Васин, С.Я. Хлудов – М.: Машиностроение, 2006. – 352 с.

25. Верещака, А.С. Работоспособность режущего инструмента с износостойкими покрытиями / А.С. Верещака– М.: Машиностроение, 1993. – 336 с.

26. Верещака, А.С. Резание материалов: учебник / А.С. Верещака, В.С. Кушнер – М.: высш. шк., 2009. – 535 с.

27. Виноградов, А.А. Физические основы процесса сверления труднообрабатываемых металлов твердосплавными сверлами / А.А. Виноградов – Киев: Наукова думка , 1985. – 264 с.

28. Вращающийся инструмент. - Общий каталог 2007-2009. – Mitsubishi 2007. с.D080, с. D090.

29. Горшков, А.Г. Теория упругости и пластичности: учеб.: для вузов. / А.Г. Горшков, Э.И. Старовойтов, Д.В. Тарлаковский – М.:ФИЗМАТЛИТ, 2002. – 416 с.

30. ГОСТ 25762-83 Обработка резанием. Термины, определения и обозначения общих понятий. – М.: Государственный комитет СССР по стандартам, 1985. – 45 с.

31. ГОСТ 25751-83 (СТ СЭВ 6506-88) Инструменты режущие. Термины и определения общих понятий. – М.: Государственный комитет СССР по управлению качеством продукции и стандартам, 1990. – 27 с.

32. ГОСТ 27301-87 Пластины режущие сменные многогранные. – М.: Стандартинформ, 2006. – 13 с.

33. ГОСТ 27724-88 Сверла с механическим креплением сменных многогранных пластин. – М.: Стандартинформ, 1990. – 7 с.

34. ГОСТ Р 51140-98 Инструмент металлорежущий. Требования безопасности и методы испытаний. – М.: Стандартинформ, 2006. – 6 с.

35. ГОСТ Р 7.0.11-2011 Диссертация и автореферат диссертации. Структура и правила оформления. – М.: Стандартинформ, 2012. – 16 с.

36. Грановский, Г.И. Резание металлов: учебник для машиностр. и приборостр. спец. Вузов. / Г.И. Грановский, В.Г. Грановский – М.: Высшая школа., 1985. – 304 с.

37. Гречишников, В.П. Формообразующие инструменты машиностроительных производств. Инструменты общего назначения: Учебник

для студентов высших учебных заведений. / В.П. Гречишников, А. Г.Схиртладзе, В.П. Борискин, А.И. Пульбере, Л.А.Чупина– Старый Оскол: ООО»ТНТ», 2005. – 432 с.

38. Гречишников, В.А. Режущие инструменты: учебное пособие / В.А. Гречишников, С.Н. Григорьев, А.Г. Схиртладзе, Б.Е. Седов, В.А. Иванов, В.К. Перевозников – Старый Оскол: ТНТ, 2012. - 388 с.

39. Григорьев, С.Н. Методы повышения стойкости режущего инструмента / С.Н. Григорьев – М.Машиностроение, 2011. – 368 с.

40. Григорьев, С.Н. Инструментальная оснастка станков с ЧПУ: Справочник / С.Н. Григорьев, М.В. Кохомский, А.Р. Маслов М.Машиностроение, 2006. – 544 с.

41. Гузеев, В.И. Режимы резания для токарных и сверлильно-фрезерно-расточных станков с числовым программным управлением: справочник. / В.И. Гузеев, В.А. Батуев, И.В. Сурков - М.: Машиностроение, 2007. – 368 с.

42. Даниелян, А.М. Обработка резанием жаропрочных сталей, сплавов и тугоплавких металлов. / А.М. Даниелян, П.И. Бобрик, Я.Л. Гуревич, И.С. Егоров – М.: Машиностроение, 1965. – 306 с.

43. Зорев, Н.Н. Вопросы механики резания металлов. / Н.Н. Зорев – М.: Машгиз, 1956. – 367 с.

44. Клушин, М.И. Резание металлов. Элементы теории пластического деформирования срезаемого слоя. / М.И. Клушин - М.: "Машгиз", 1958 – 480 с.

45. Кирсанов, С.В. Обработка глубоких отверстий в машиностроении: справочник / С.В. Кирсанов, В.А. Гречишников, С.Н. Григорьев, А.Г. Схиртладзе - М.: Машиностроение, 2010 – 344 с.

46. Кирсанов, С.В. Инструменты для обработки точных отверстий. / С.В. Кирсанов, В.А. Гречишников, А.Г. Схиртладзе, В.И. Кокарев – М.: машиностроение, 2005 – 336 с.

47. Кишуров, В.М. Исследование физических явлений при резании металлов, методики и оборудование: учеб. пособие. / В.М. Кишуров, В.В. Постнов, В.Ю. Шолом – М: Машиностроение, 2010. – 133 с.

48. Креймер, Г.С. Прочность твердых сплавов. / Г.С. Креймер – М.: Металлургия, 1971. -248 с.

49. Кожевников, Д.В. Режущий инструмент: учебник для вузов. / Д.В. Кожевников, В.А. Гречишников, С.В. Кирсанов - М.: Машиностроение, 2004. – 512 с.

50. Кущ, В.И. Структурно-статистическая модель твердого сплава с повреждениями. / В.И. Кущ, С.Б. Полотняк // Сверхтвердые материалы. – Киев: Ин-т сверхтвердых материалов им. В. Н. Бакуля НАН Украины, 2009. - №3 – с. 44-58.

51. Лебедев, А.А. Развитие теории прочности в механике материалов. / А.А. Лебедев // Проблемы прочности. - Киев: Институт проблем прочности им. Г. С. Писаренко НАН Украины, 2010. - №5 – с. 127-146

52. Лошак, М.Г. Прочность и долговечность твердых сплавов. / М.Г. Лошак – Киев: Наукова Думка, 1984г. - 328 с.

53. Лоладзе, Т.Е. Прочность и износостойкость инструмента. / Т.Е. Лоладзе – М.: Машиностроение, 1982. – 320 с.

54. Лукина, С.В. Повышение эффективности проектирования сборного режущего инструмента на базе установленных взаимосвязей конструкторско-технологических и экономических решений: дис. … др-ра. тех. наук: 05.03.01/ Лукина Светлана Валентиновна. – М., 1999. – 448 с.

55. Матвиенко, Ю.Г. Модели и критерии механики разрушения. / Ю.Г. Матвиенко – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006. – 328 с.

56. Михайлов, М.И. Повышение прочности сборного режущего инструмента. / М.И. Михайлов – Мінск: Навука і тэхніка, 1993. – 174 с.

57. Моисеев, В.Ф. Инструментальные материалы. / В.Ф. Моисеев, С.Н. Григорьев – М.: ИЦ МГТУ «Станкин», Янус-К. 2005, – 248 с.

58. Морозов, Е.М. ANSYS в руках инженера: Механика разрушения. / Е.М. Морозов, А.Ю. Муйземнек, А.С. Шадский– М.: ЛЕНАНД, 2010. – 456 с.

59. Музыкант, Я.А. Инструментальщик: энциклопедический справочник – каталог. В трех томах. Том 2 / Я.А. Музыкант, Я. Арпаз, Г.В. Боровский и др. – М.: Наука и технологии, 2013. -432 с.

60. Новые инструменты - дополнение к каталогам 12.2. - Sandvik Coromant 2012. с.E1-E85.

61. Ординарцев, И.А. Справочник инструментальщика / И.А. Ординарцев, А.Н. Филиппов, А.Н. Шевченко, А.В. Онишко, А.К. Сергеев – Л.: Машинстроение, 1987. – 846 с.

62. Остафьев, В.А. Расчет динамической прочности режущего инструмента. / В.А. Остафьев – М.: Машиностроение, 1979. – 168 с.

63. Партон, В.З. Механика разрушения: От теории к практике. / В.З. Партон – М.: Издательство ЛКИ, 2010. – 240 с.

64. Пестриков, В.М. Механика разрушения твердых: курс лекций / В.М. Пестриков, Е.М. Морозов – СПб.: Профессия, 2002. – 320 с.

65. Петраков, Ю.В. Моделирование процессов резания: учебное пособие / Ю.В. Петраков, О.И. Драчев – Старый Оскол: ТНТ, 2011. – 240 с.

66. Петрушин, С.И. Теоретические основы оптимизации режущей части лезвийных инструментов: автореф. дис. … д-ра тех. наук: 05.03.01 / Петрушин Сергей Иванович. – М., 1998 – 36 с.

67. Петрушин, С.И. Обработка чугунов и сталей сборными резцами со сменными многогранными пластинами. / С.И. Петрушин, С.В. Грубый – Томск: Изд. ТПУ, 2000. – 156 с.

68. Петухов, Ю.Е. Математическая модель криволинейной режущей кромки спирального сверла повышенной стойкости / Ю.Е. Петухов, А.А. Водовозов // Вестник МГТУ Станкин №3 – М.: МГТУ Станкин 2012, - с. 28 - 32.

69. Писаренко, Г.С. Деформирование и прочность материалов при сложном напряженном состоянии. / Г.С. Писаренко, А.А. Лебедев – К.: Наукова думка, 1976. – 416 с.

70. Подскребко, М.Д. Сопротивление материалов. Основы теории упругости, пластичности, ползучести и механики разрушения: учеб. пособие. / М.Д. Подскребко– Минск: Выш.шк., 2009. – 670 с.

71. Подураев, В.Н. Обработка резанием жаропрочных и нержавеющих материалов. / В.Н. Подураев – М.: Высш. шк., 1965. – 518 с.

72. Подураев, В.Н. Обработка резанием с вибрациями. / В.Н. Подураев – М.: Машиностроение, 1970. – 350 с.

73. Попов, А.Ю. Повышение эффективности использования современных инструментов со сменными твердосплавными пластинами за счет их вторичного ресурса. / А.Ю. Попов, Д.С. Реченко, Е.В. Васильев, В.С. Сергеев, А.Г. Кольцов // Вестник Уфимского государственного авиационного технического университета. – Уфа.,2012. – Т. 16. № 4 (49). – С. 24-29.

74. Попов, А.Ю. Способ упрочнения твердосплавного инструмента. / А.Ю. Попов, Н.Г. Васильев, А.А. Рауба // патент на изобретение RUS 2137590 24.07.1997.

75. Полетика, М.Ф. Контактные нагрузки на режущих поверхностях инструмента. / М.Ф. Полетика – М.: Машиностроение, 1969. – 150 с.

76. Резников, А.Н. Теплофизика процессов механической обработки материалов. / А.Н. Резников – М.: машиностроение, 1981. – 279 с.

77. Резников, А.Н. Теплофизика резания. / А.Н. Резников – М.: машиностроение, 1969. – 288 с.

78. Розенберг, Ю.А. Резание материалов: учебник для техн. вузов. / Ю.А. Розенберг – Курган: ОАО «Полиграфический комбинат» Зауралье, 2007. – 294 с.

79. Розенберг, Ю.А. Силы резания и методы их определения. Часть 1. Общие положения: учеб. пособие. / Ю.А. Розенберг, С.И. Тахман – Курган: КМИ, 1995. – 128 с.

80. Розенберг, Ю.А. Силы резания и методы их определения. Часть 2. Расчет сил резания при различных видах обработки: учеб. пособие. / Ю.А. Розенберг, С.И. Тахман – Курган: КМИ, 1995. – 104 с.

81. Румшиский, Л.З. Математическая обработка результатов эксперимента. / Л.З. Румшиский – М.: Главная редакция физико-математической литературы изд-ва «Наука», 1971. – 192 с.

82. Самохвалов, В.Д. Исследование технологических особенностей применения твердосплавных сверл при обработке жаропрочных сплавов: дис. … канд. тех. наук: 05.02.08 / Самохвалов Владимир Дмитриевич. – Тюмень, 1974. – 161 с.

83. Сандвик - 2010. Руководство по металлообработке. Sandvic Coromant, 2010.

84. Сверление. - Общий каталог 2009. – Walter 2009. с.342-351.

85. Сергеев, С.В. Расчет погрешностей формообразования отверстий и пазов с помощью конечно-элементных моделей. / С.В. Сергеев, В.Г. Шаламов, Ю.С. Сергеев, Д.В. Прошунин // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова, 2011. №3. с.63-65.

86. Солоненко, В.Г. Резание металлов и режущие инструменты: учебн. пособие для вузов. / В.Г. Солоненко, А.А. Рыжкин – М.: Высш. Шк., 2007. – 414 с.

87. Солнышков, Ю.С. Оптимизация. / Ю.С. Солнышков // БСЭ, т. 18. М.: "Советская Энциклопедия", 1974. – с.450.

88. Справочник технолога - машиностроителя. В 2-х т. Т.1 / Под ред. А. М. Дальского, А. Г. Сусловой, А. Г. Косиловой, Р. К. Мещеряковой – М.: Машиностроение, 2001. – 912 с.

89. Справочник технолога - машиностроителя. В 2-х т. Т.2 / Под ред. А. М. Дальского, А. Г. Сусловой, А. Г. Косиловой, Р. К. Мещеряковой М.: Машиностроение, 2001 г. 944 с.

90. Старков, В.К. Физика и оптимизация резания материалов. / В.К. Старков – М.: Машиностроение, 2009. – 640 с.

91. Сысоев, В.И. Основы резания металлов и режущий инструмент. / В.И. Сысоев – М.: МАШГИЗ,1955. – 312 с.

92. Троицкий, Н.Д. Глубокое сверление / Н.Д. Троицкий – Л.: Машиностроение, 1971. – 176 с.

93. Утешев, М.Х. Некоторые результаты исследования напряженного состояния режущей части инструмента при помощи лазера. / М.Х. Утешев, В.А. Сенюков // Прочность режущего инструмента. Материалы 2-го семинара по прочности - М.: ВНИИ, 1969.

94. Железнов, Г.С. Процессы механической и физико-химической обработки материалов: учебник / Г.С. Железнов, А.Г. Схиртладзе – Старый Оскол: ТНТ, 2013. – 456 с.

95. Фельдштейн, Е.Э. Режущий инструмент. Курсовое и дипломное проектирование. / Е.Э. Фельдштейн – Мн.: Дизайн ПРО, 2002. – 320с.

96. Филоненко, С.Н. Резание металлов. / С.Н. Филоненко – М.: МАШГИЗ, – 1963. – 212с.

97. Филиппов, Г.В. Режущий инструмент. / Г.В. Филиппов – Л.: Машиностроение,1981. -392 с.

98. Хает, Г.Л. Сборный твердосплавный инструмент. / Г.Л. Хает, В.М. Гах, К.Г. Громаков и др.– М.: Машиностроение, 1989. – 256 с.

99. Шаламов, В.Г. Теория проектирования режущего инструмента / В.Г. Шаламов – Челябинск: Из-во ЮУрГУ, 2003 – 156 с.

100. Щуров, И.А. Расчет точности обработки и параметров инструментов на основе дискретного твердотельного моделирования / И.А. Щуров – Челябинск: Из-во ЮУрГУ, 2004. -320 с.

101. Щуров, И.А. Расчет напряжений и деформаций метчиков. / И.А. Щуров // Известия Челябинского научного центра УрО РАН, 1999. №2. с. 101-110

102. GARANT Справочник по обработке резанием. Материалы и теоретические основы. – 842 с.

103. METALLWORKING WORLD (3/12) - деловой и технический журнал фирмы AB Sandvik Coromant - Spoon Publishing , г. Стокгольм , Швеция - 2012.- с.26-27.

104. T-Flex Анализ Пособие по работе с системой – М.: АО «Топ системы», 2009. – 161 с.

105. Artamonov, E.V. Extending the Life of Replaceable Cutting Plates in Composite Tools. / E.V. Artamonov, M.O. Chernishov, T.E. Pomigalova, D.V. Vasil'ev // Russian Engineering Research. - 2015 - Vol. 35, No. 1 - pp. 61-63.

106. Ehmann, K.F. Machining Process Modeling: A review. / K.F. Ehmann, S.G. Kapoor, R.E. DeVor, I. Lazoglu // Journal of Manufacturing Science and Engineering. - 1997 November; 119: p. 655-663.

107. Kaymakci, M. Unified cutting force model for turning, boring, drilling and milling operations. / M. Kaymakci, Z.M. Kilic, Y. Altintas // International Journal of Machine Tools & Manufacture. - 2012; 54-55: p. 34-45.

108. Kheireddine, A.H. An FEM analysis with experimental validation to study the hardness of in-process cryogenically cooled drilled holes in Mg AZ31b. / A.H. Kheireddine, A.H. Ammouri, T. Lu, I.S. Jawahir, R.F. Hamade // 14th CIRP Conference on modeling of machining operations – USA: CIRP, 2013. №8. p. 588-593.

109. Klocke, F. Modeling of Cutting Processes. Finite element simulation of cutting processes. Simulation techniques in manufacturing technology. Lecture 8 - WZL/Fraunhofer IPT. Available at: http://www.wzl.rwth-aachen.de/cms/www_content/en/f786439a4c53fb78c125709f0055702f.htm (Accessed 12.12.2014).

110. Man, X. A high performance computing cloud computing environment for machining simulations. / X. Man, S. Usui, S. Jayanti, L. Teo, T.D. Marusich // 14th CIRP Conference on modeling of machining operations – USA: CIRP, 2013. №8. p. 57-62.

111. Parsian, A. A mechanistic approach to model cutting forces in drilling with indexable inserts. / Parsian Armir, Magnevall Martin, Beno Tomas, Eyanian Mahdi // New production technologies in aerospace industry – 5th Machining innovations conference (MIC 2014) – USA: CIRP, 2014. №24. p. 74-79.

112. Roud, P. Using of FEM for chip formation and cutting force prediction when drilling tool steel AISI D3 / P. Roud, M. Zetek, I. Cesákova, J. Sklenicka1, P. Kozmin // Czech Republic: MM Science Journal, 2011, March: p. 236-239.

113. Roukema, J.C. Mechanics and Dynamics of Drilling. PhD [dissertation].The University of British Columbia; 2006.

114. Strenkowski, J.S. An analytical finite element technique for predicting thrust force and torque in drilling. / J.S. Strenkowski, C.C. Hsieh, A.J. Shih // International Journal of Machine Tools and Manufacture. 2004; 44(12-13): p. 1413-1421.

115. Stephenson, D.A. Calculation of main cutting edge forces and torque for drills with arbitrary point geometries. / D.A. Stephenson, J.S. Agapiou // International Journal of Machine Tools and Manufacture. 1992; 32(4): p. 521-538.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение №1

ХАРАКТЕР И ПРИЧИНЫ ОТКАЗА ТВЕРДОСПЛАВНЫХ СВЕРЛ РАЗНЫХ ВИДОВ (По данным фирмы SANDVIK COROMANT)

<u>Сверла со сменными пластинами</u>

Износ по задней поверхности

Износ по задней поверхности является предпочтительным видом износа при условии, что он происходит равномерно. Износ по задней поверхности вызывает:

- Снижение качества обработанной поверхности
- Выход размеров за пределы допусков
- Повышение потребляемой мощности

Причина

1.Чрезмерно высокая скорость резания (v_c);

2. Недостаточная износостойкость сплава.

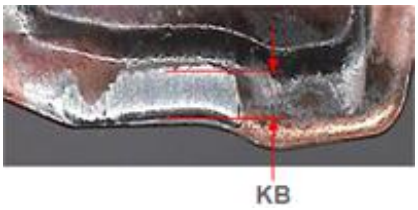
Устранение

1.Снизить скорость резания (v_c);

2. Выбрать более износостойкий сплав.

Лункообразование

Центральная пластина



Периферийная пластина

Лункообразование может вызвать:

- Ослабление режущей кромки, которое может привести к ее поломке или неудовлетворительному стружкообразованию
- Снижение качества обработанной поверхности
- Повышение потребляемой мощности

Причина

Центральная пластина: Абразивный износ (обрабатываемый материал) Периферийная пластина: Диффузионный износ, вызванный высокой температурой (особенно при покрытии PVD)

Устранение

Центральная пластина: Снизить подачу

Периферийная пластина:

1.Снизить скорость резания

2. Выбрать более износостойкий сплав (обычно MT-CVD)

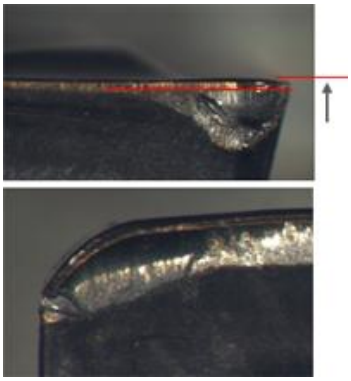
Общая рекомендация

Выбрать геометрию с более острыми углами для улучшения формирования стружки

Пластическая деформация

Проседание

Поднятие



Проседание и поднятие режущей кромки может привести к ухудшению контроля над образованием стружки, снижению качества обработанной поверхности и выход размеров отверстия за пределы допусков.

Причина

1. Слишком высокие температура и давление в зоне резания (высокая подача и/или поверхностное упрочнение заготовки) ;

2. Результат износа по задней поверхности и/или лункообразования.

Устранение

1. Выбрать сплав с большей стойкостью к пластической деформации (горячей твердостью) ;

2. Снизить скорость резания (v_c) ;

3. Снизить подачу (f_n).

Выкрашивание

Выкрашивание режущей кромки может вызвать:

- Чрезмерный износ по задней поверхности;
- Ухудшение качества обработанной поверхности.

Причина

1. Нестабильные условия;
2. Криволинейная поверхность;
3. Недостаточная твердость сплава;
4. Слабая геометрия пластин;
5. Недостаточный объем СОЖ;
6. Включения песка в обрабатываемом материале (чугун).

Устранение

1. Повысить жесткость (уменьшить вылет сверла, надежней закрепить заготовку);
2. Снизить подачу на входе. Выбрать более надежную геометрию пластин;
3. Выбрать более прочный сплав;
4. Выбрать более прочную геометрию пластин;
5. Повысить расход СОЖ;
6. Выбрать более прочную геометрию, снизить подачу.

Поломка режущей кромки

Поломка может привести к таким последствиям, как:

- Поломка инструмента;
- Разрушение заготовки.

Причина

1. Недостаточная жесткость;
2. Прерывистое резание;
3. Недостаточный объем СОЖ;

4. Чрезмерно высокая подача или чрезмерно высокая/низкая скорость резания;

5. Очень хрупкий сплав (периферийной пластины) ;

6. Изношенные пластины.

Устранение

1. Повысить жесткость (уменьшить вылет сверла, надежней закрепить заготовку);

2. Снизить подачу, выбрать более надежную геометрию (-GR или –GT) ;

3. Увеличить расход СОЖ;

4. Скорректировать режимы резания;

5. Выбрать более прочный сплав;

6. Определить срок безопасной службы периферийной пластины.

Наростообразование

Нарост на режущей кромке может вызвать:

- Ухудшение качества обработанной поверхности и появление сколов на кромке при откалывании нароста;
- Выкрашивание режущей кромки.

Причина

1. Неудовлетворительная температура (из-за скорости резания);

2. Отрицательная геометрия режущих кромок;

3. Вязкий обрабатываемый материал;

4. Очень низкая концентрация масла в СОЖ.

Устранение

1. Повышение/снижение скорости резания (высокая/низкая температура) ;

2. Выбрать сплав с покрытием;

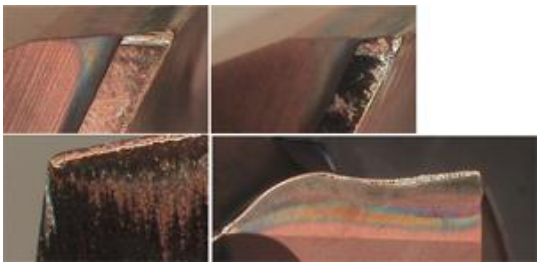
3. Выбрать геометрию пластин с положительными задними углами;

4. Повысить концентрацию масла в СОЖ и расход/давление СОЖ.

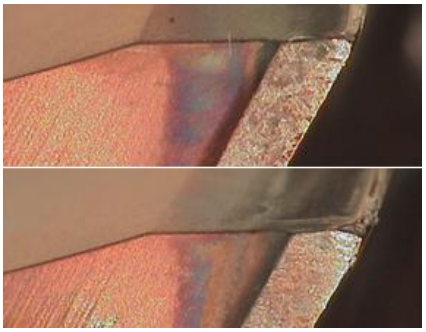
<u>Сверла со сменными головками</u>

Тип износа геометрии -PM при обработке различных материалов

Нелегированная сталь / CMC01.1

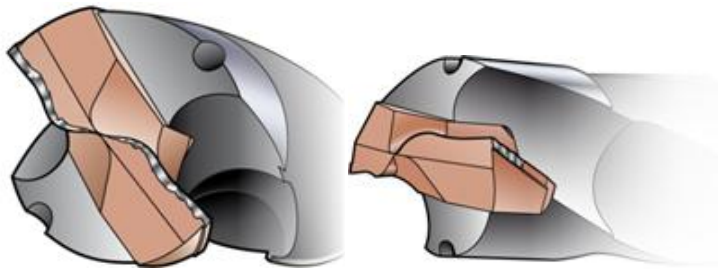


- Износ на главной режущей кромке/ленточке начинается с образования проточины, распространяясь вдоль ленточки и стружечной канавки;
- Постоянно развивающийся износ на главной режущей кромке;



- Постоянно развивающийся износ на главной режущей кромке/ленточке вблизи уголков.

Износ по задней поверхности



Износ по задней поверхности главной режущей кромки

Износ по задней поверхности ленточки

Нормальный и предпочтительный тип износа при условии, что износ равномерный

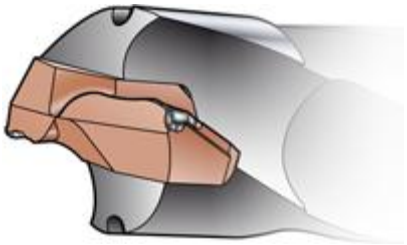
Причина

1. Снизить скорость резания;
2. Увеличить концентрацию масла в СОЖ (в рекомендуемых пределах);
3. Увеличить расход СОЖ;
4. Поверить радиальное биение (если наблюдается износ ленточки).

Устранение

1. Слишком высокая скорость резания;
2. Слишком низкая концентрация масла в СОЖ;
3. Недостаточный расход СОЖ;
4. Слишком большое биение (при износе ленточки).

Пластическая деформация



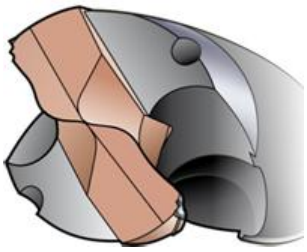
Причина

1. Чрезмерно высокая скорость резания и/или подача;
2. Недостаточный расход СОЖ.

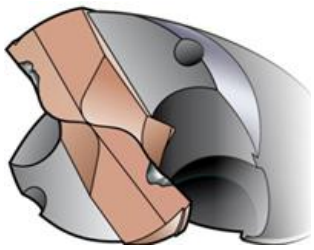
Устранение

1. Снизить скорость резания и/или подачу;
2. Увеличить расход СОЖ.

Выкрашивание



На периферии



На главной режущей кромке

Выкрашивание – это весьма распространенный тип износа при дальнейшем сверлении в предварительно обработанном (пилотном) отверстии. Если угол при вершине основного сверла больше, чем у пилотного сверла, то условия обработки будут нестабильными и может произойти поломка кромок сверла на периферии. Причиной этого может стать и несоответствие допусков на угол при вершине. Решить данную проблему позволяет изготовление сверл Tailor Made или фрезерование отверстия с плоским дном.

Причина

1. Нестабильные условия;
2. Слишком большое биение;

3. Чрезмерно высокая подача;

4. Недостаточный расход СОЖ (термические трещины).

Устранение

1. Проверить жесткость наладки;

2. Проверить радиальное биение;

3. Снизить подачу;

4. Проверить объем СОЖ.

Наростообразование

Причина

1. Некорректная скорость резания;

2. Слишком низкая концентрация масла в СОЖ.

Устранение

1. Увеличить скорость резания, если нарост образуется ближе к центру головки;

2. Снизить скорость резания, если нарост образуется на периферии головки;

3. Повысить процентное содержание масла в СОЖ (не превышая рекомендуемых значений, заданных производителем).

Если вам не удается полностью избежать наростообразования, то рассчитайте скорость резания, которая сместит нарост к самому прочному участку режущей кромки (=50% от диаметра).Применение наружного подвода СОЖ может ухудшить эвакуацию стружки.

Увеличьте скорость резания, чтобы наростообразование происходило ближе к центру сверла

Снизьте скорость резания, чтобы сместить наростообразование к периферии или исключить его

Приложение №2

Таблица П.2.1

Классификация конструкционных материалов по обрабатываемости

По данным ОАО «Кировоградский завод твердых сплавов»

Группа по ISO	ХАРАКТЕРИСТИКА МАТЕРИАЛА	МАРКИ СТАЛЕЙ И СПЛАВОВ ПО ГОСТ
P	Углеродистые стали С= 0,1 - 0,25 %	Ст0, Ст1, Ст2, Ст3, 05кп, 08кп, 08пс, 08, 10пс, 10, 15кп, 15пс, 15, 20кп, 20пс, 20, 25, 15Г, 20Г, 25Г, 10Г2, 09Г2, 09Г2С, А11, А12, А20, АС14, 14Г2АФ, 18Г2АФ, 10ХСНД, 15ХСНД, электротехнические: Э12, Э10, Э8
	С= 0,25 - 0,55 %	Ст4, Ст5, Ст6, 30, 35, 30Г, 40, 45, 40Г, 45Г, 47ГТ, 50, А30, А35, А40, А40Г, А35Е, А45Е, АС40, АС35Г2, АС40Г2
	С= 0,55 - 0,8 %	55, 60, 65, 70, 75, 80, 85, 60Г, 65Г, 70Г, У7А, У8А, У9А, У10А, У11А, У12А, У13А, 80С
	Легированные стали	15Х, 20Х, 18ХГ, 15ХФ, 20ХФ, 12ГН2МФАЮ, 20ХН, 12ХН2, 12ХН3А, 20ХН3А, 12Х2Н4А, 20Х2Н4А, 14Х2Н3МА, 18Х2Н4МА, 20ХН2М, 15Н2М, 20Н2М, 15ХМ, 20ХМ, 18ХГТ, 25ХГТ, 25ХГМ, 30ХГТ, 20ХГР, 27ХГР, 20ХНР, 20ХГНР, 15ХГН2ТА, 20ХГНТР, 15Х2ГН2ТА, 30Г2, 35Г2, 40Г2, 45Г2, 50Г2, 30Х, 35Х, 38ХА, 40Х, 45Х, 50Х, 30ХРА, 33ХС, 38ХС, 40ХС, 20ХГСА, 25ХГСА, 30ХГСА, 35ХГСА, 30ХМА, 35ХМ, 40ХФА, 40ХГТР, 40ХН, 45ХН, 50ХН, 30ХН3А, 38ХГН, 30ХГСН2А, 30ХН2МА, 38Х2Н2МА, 40ХН2МА, 40Х2Н2МА, 25Х2Н4МА, 20ХН4ФА, 45ХН2МФА, 20Х3ВМФ, 30Х3МФ, 38ХН3МФА, 36Х2Н2МФА, 34ХН1МА, АС12ХН, АС12ХН, АС14ХГН, АС19ХГН, АС20ХГНМ, АС30ХМ, АС38ХГМ, АС40ХГНМ, 55С2А, 60С2А, 70С3А, 50ХГА, 55ХГР, 50ХФА, 50ХГФА, 60С2ХА, 70С2ХА, 60С2ХФА, 65С2ВА, 60С2Н2А
	Подшипниковые	ШХ4, ШХ15, ШХ15ГС, ШХ4РП
	Электротехнические	Э310-Э360(3411-3425), 2011-2412
	Высоколегированные и инструментальные стали	

	После отжига	Х12М, Х6ВФ, 7ХГ2ВМ, 6Х6В3МФС, 5ХНМ, 5ХНВ, 4Х3ВМФ, 4Х5В2ФС, 3Х2В8Ф, 11ХФ, 13Х
	С повышенной твердостью	ХСВГ, 9ХС, Х, В2Ф, Р18, Р9, Р6М5, Р18К5Ф2, Р9К5, Р6М5К5, Р2АМ9К5, 11Р3АМ3Ф2, Р12Ф3
	Стальное литье	
	Нелегированное	15Л, 20Л, 25Л, 30Л, 35Л, 40Л, 45Л, 50Л, 55Л, У8Л
	Низколегированное, до 5%	20ГЛ, 35ГЛ, 30ГСЛ, 20ГФЛ, 30ХГСФЛ, 45ФЛ, 30ХНМЛ, 23ХГС2МФЛ, 20Х5МЛ
	Высоколегированное	10Х13Л, 15Х13Л, 20Х13Л, 5Х14НДЛ, 10Х14НДЛ, 20Х8ВЛ
	Марганцовистая и броневая сталь	10Г13, Г13
М	**Нержавеющие стали**	
	Ферритная/мартенситная	08Х13, 12Х13, 20Х13, 30Х13, 40Х13, 14Х17Н2, 12Х17, 15Х25Т, 40Х9С2Л, 95Х18
	Теплостойкие и мартенситно стареющие	11Х11Н2В2МФ, Х5Н12К3М7Т, Н18К9М5Т, Н12К8М4Г2, Н10Х11М2Т, Н9Х12Д2ТБ, 30Х9Н8М4Г2С2, 25Н25М4Г1(TRIP или ПНП), 04Х11Н9М2Д2ТЮ (ЭП832), 03Н17К10В10МТ-ВД
	Аустенитная	(ЭП836-ВД), 03Н18К9М5Т-ВД (ЭП637-ВД), ЧС4-ВИ, ЧС5-ВИ
	Аустенитная, литьевая	12Х18Н10Т, 17Х18Н9, 06Х18Н11, 10Х14АГ15, 10Х14Г14Н4Т (ЭИ711), 12Х17Г9АН4 (ЭИ878), 20Х13Н4Г9 (ЭИ100), 08Х10Н20Т2, 09Х16Н4Б (ЭП56) 30Х24Н12СЛ, 40Х24Н12СЛ, 35Х23Н7СЛ, 12Х18Н9ТЛ, 10Х18Н11БЛ, 12Х18Н12М3ТЛ, 55Х18Г14С2ТЛ, 45Г13Н3ЮЛ, 15Х18Н22В6М2Л, 20Х21Н46В8Л, 31Х19Н9МВБТЛ, 10Х17Н10Г4МБЛ, 08Х17Н34В5Т3Ю2Л
К	**Чугуны**	
	Серый ферритного класса	СЧ10, СЧ15,СЧ18, АЧС-3
	Серый перлитного класса	СЧ21, СЧ24, СЧ25, СЧ30, СЧ35, АЧС-1, АЧС-2
	Высокопрочный ферритный	ВЧ35, ВЧ40, ВЧ45

	Высокопрочный перлитный Ковкий чугун	ВЧ50, ВЧ60 ВЧ70, ВЧ80, ВЧ100 Ферритный КЧ37-12, КЧ35-10, КЧ30-6, КЧ33-8, АЧК-1, Перлитный КЧ50-5, КЧ55-4
N	**Алюминиевые сплавы** Алюминий чистый Деформируемые Литейные Силумины Si ≥ 8% **Медь и сплавы** Латунь Бронза	 А999-А95, А85, А7-А0, АД1, АД0 АМц,АМг2, АМг3, АМг5, АМг6, АД31, Д1, Д16, АК4, АК6, АК8, В95 АЛ3, АЛ5, АЛ32, АК52М, АЛ8, АЛ23, АЛ23-1, АЛ27, АЛ27-1, АЛ28, АЛ7, АЛ19, АЛ33, ВАЛ10, АЛ1, АЛ21, АЛ24 АЛ2, АЛ4, АЛ9, АЛ34 ЛС59-1,ЛС60-1, ЛС64-2, ЛС74-3, ЛС63-3, ЛЖС58-1-1 (> 1%Pb) Л96, Л90, Л85, Л70, Л68, Л63,Л60 (< 1% Pb) БрОЦС4-4-4, БрО6Ц6С3 (>1%Pb) , БрОФ6, БрАЖН10-4-4
S	**Титановые сплавы** Технически чистый титан Альфа сплавы Сплавы альфа+бета **Жаропрочные сплавы** На основе Fe На основе Ni На основе Co	 ВТ1-00, ВТ1-0, ВТ1Л ВТ3-1, ВТ3-1Л, ВТ4, ВТ5, ВТ5-1, ОТ4 ВТ6, ВТС6, ВТ6Л, ВТ9Л, ВТ14, ВТ14Л, ВТ20, ВТ21Л ХН38ВТ (ЭИ703), ХН28МАБ (ЭП126), 36ХНТЮ (ЭИ702), ХН35ВТЮ (ЭИ787), ХН32Т, ЭП99 ХН60В (ВЖ98,ЭИ868), ХН77ТЮ (ЭИ437), ХН72МВКЮ (ЭИ867), ХН60МВТЮ (ЭП487), ХН82ТЮМВ (ЭП460), ВЖ36-Л2, АНВ-300, ЖС6К, ЖС3ДК Сплавы зарубежного производства: Inconel 600, 601, 604, 625
H	**Твердые материалы** Закаленная сталь Отбеленный чугун	 Термообработанные стали ЧХ16, ЧХ28, ЧХ32, ЧН15Д7, ЧН15Д3Ш, ЧН19Х3Ш, ЧН11Г7Ш, ЧС13, ЧС15, ЧС17

Приложение №3

Таблица П.3.1

Значения удельных нагрузок k_c для определения главной составляющий силы резания P_z по данным фирмы Garant

Группа обрабатываемых материалов	Предел прочности [Н/мм²]	Материал				Удельные нагрузки k_c [Н/мм²] в зависимости от толщины срезаемого слоя h [мм]									
		Обозначение ГОСТ (ближайший аналог)	Обозначение DIN	$k_{c1.1}$ [Н/мм²]	m	0,05	0,06	0,1	0,16	0,3	0,4	0,5	0,8	1,6	2,5
Конструкционная сталь	до 500	Ст2, Ст3	St 37-2	1780	0,17	2962	2872	2633	2431	2253	2080	2003	1849	1643	1523
	500-850	Ст5	St 50-2	1990	0,26	4336	4136	3621	3205	2854	2525	2383	2109	1761	1568
		Ст6	St 60-2	2110	0,17	3511	3404	3121	2881	2671	2466	2374	2192	1948	1806
		C375	St 70-2	2260	0,30	5552	5256	4509	3916	3426	2975	2782	2416	1963	1717
Автоматная сталь	до 500	AC14	9SMnPb28	1200	0,18	1997	1844	1775	1639	1473	1402	1350	1246	1108	1027
Нелег. Улучшенная сталь	до 700	20	C 22	1800	0,16	2907	2823	2602	2413	2247	2084	2011	1865	1670	1555
		35	C 35	1516	0,27	3404	3240	2823	2486	2204	1942	1828	1610	1335	1184
	700-850	45	C 45	1680	0,26	3661	3491	3057	2705	2409	2132	2012	1780	1487	1324
	850-1000	60	Ck 60	2130	0,18	3652	3534	3224	2962	2734	2512	2413	2217	1957	1806
Лег. Улучшенная сталь	1000-1200	20ХМ, 30ХМ	25CrMo4	2070	0,25	4378	4182	3681	3273	2927	2603	2462	2189	1841	1646
		40ХН2МА, 38ХМ, 35ХМ	42CrMo4	2500	0,26	5448	5195	4549	4026	3585	3173	2994	2649	2212	1970
Нелег. Цементируемая сталь	до 750	15	C 15	1820	0,22	3518	3380	3020	2724	2469	2226	2120	1912	1641	1488
Лег. Цементируемая сталь	до 1000	12ХН2, 12ХН2А	15CrNi6	1380	0,30	3390	2944	2753	2391	1980	1817	1699	1476	1199	1048
		18ХГ	16MnCr5	2100	0,26	4576	4364	3821	3382	3011	2665	2515	2225	1858	1655
	Более 1000	18ХГТ	20MnCr5	2140	0,25	4526	4324	3806	3384	3026	2691	2545	2263	1903	1702
		15ХМ	15CrMo5	2290	0,17	3811	3694	3387	3127	2899	2676	2576	2379	2114	1960
Азотируемая сталь	до 1000	-	34CrAlMo5	1740	0,26	3792	3616	3166	2802	2495	2208	2084	1844	1540	1371
Инструментальная сталь	до 850	-	C45W	1680	0,26	3661	3491	3057	2705	2409	2132	2012	1780	1487	1324
	850-1100	ШХ15	100Cr6	1410	0,39	4535	3776	3461	2881	2255	2016	1848	1538	1174	986

Продолжение таблицы П.3.1

		-	40CrMnMoS8-6	1800	0,27	4042	3847	3352	2952	2617	2305	2170	1912	1585	1405
	1100-1400	9Г2Ф	90MnCrV	2300	0,21	4315	4153	3730	3380	3077	2788	2660	2410	2084	1897
		Х12	X210Cr12	1820	0,26	3966	3782	3312	3931	2610	2310	2179	1929	1611	1434
Пружинная сталь	до 1200	38С2А	38Si7	1800	0,27	4042	3847	3352	2952	2617	2305	2170	1912	1585	1405
		50ХГФА	50CrV4	2220	0,26	4925	4697	4113	3639	3241	2868	2706	2395	2000	1781
Нерж. сернистая сталь	до 700	-	X14CrMoS17	1820	0,26	3966	3782	3312	2931	2610	2310	2179	1929	1611	1434
Нерж. аустенитная сталь	до 700	08Х18Н10	X5CrNi18 10	2350	0,21	4408	4243	3811	3453	3144	2849	2718	2463	2129	1939
		08Х16Н11М3	X5CrNiMo17 122	2600	0,19	4594	4437	4027	3683	3383	3094	2966	2713	2378	2185
	до 850	40Х13	X46Cr13	1820	0,26	3966	3782	3312	2931	2610	2310	2179	1929	1611	1434
Нерж. сталь мартенситная/ ферритная	до 1100	30Х13	X30Cr13	1820	0,26	3966	3782	3312	2931	2610	2310	2179	1929	1611	1434
		ХН77ТЮР	NiCr20TiAl	2088	0,29	4978	4721	4071	3553	3121	2724	2553	2228	1822	1601
Чугун (СЧ)	до 180 НВ	СЧ20	GG 20	1020	0,25	2157	2061	1814	1613	1442	1283	1213	1079	907	811
	Более 180 НВ	СЧ40	GG 40	1470	0,26	3203	3055	2675	2367	2108	1865	1760	1558	1301	1158
Чугун (ВЧ, КЧ)	от 180 НВ	ВЧ-40	ВЧ-40	1005	0,25	2125	2031	1787	1589	1421	1264	1195	1063	894	799
		-	GTW-40	2060	0,19	3640	3516	3191	2918	2681	2452	2350	2149	1884	1731
	до 260 НВ	ВЧ-80	ВЧ-80	1132	0,44	4230	3904	3118	2535	2083	1694	1536	1249	921	756
		-	GTS-65	1180	0,24	2422	2318	2051	1832	1646	1470	1394	1245	1054	947
Титан, титановые сплавы	850-1200	-	TiAl6V4	1370	0,21	2570	2378	2222	2013	1764	1661	1585	1436	1241	1130
Алюминий длинностружечный, Деформируемые сплавы на основе алюминия, магний	до 350	Д16	AlCuMg1	830	0,23	1653	1585	1410	552	1095	1025	973	874	745	672
		-	MgAl8Zn	390	0,19	689	666	604	1189	490	464	445	407	357	328
Алюминий короткостружечный		АМг3	AlMg3	780	0,23	1554	1490	1325	1265	1073	963	915	821	700	632
Алюминиевые сплавы с содержанием серы > 10%		АК12	G-AlSi12	830	0,23	1653	1585	1410	1265	1142	1025	973	874	745	672
Латунь, короткоструж.	до 600	ЛС59-3	CuZn39Pb2	780	0,18	1337	1294	1181	1085	1001	920	884	812	717	661
Бронза, короткоструж	до 600	БрОЦС 6-6-3	CuSn7ZnPb	640	0,25	1353	1293	1138	1012	905	805	761	677	569	509

Таблица П.3.2

Значения удельных нагрузок k_c , k_f , k_p для определения силы резания P_z , P_x , P_y по данным фирмы Garant

Группа обрабатываемых материалов	Материал		$k_{c1.1}$ [Н/мм^2]	Показатель степени m	$k_{f1.1}$ [Н/мм^2]	Показатель степени m_f	$K_{p1.1}$ [Н/мм^2]	Показатель степени m_p
Конструкционная сталь	Ст5	St 50-2	1990	0,26	351	0,70	271	0,49
	С375	St 70-2	2260	0,30	364	0,62	311	0,49
Нелег. сталь	15	C15	1820	0,22	333	0,8	260	0,8
	35	C35	1516	0,27	321	0,8	259	0,54
	45	Ck 45	2220	0,14	343	0,68	263	0,48
	60	Ck 60	2130	0,18	347	0,71	250	0,41
Лег. сталь	40ХН2МА, 38ХМ, 35ХМ	42CrMo4	2500	0,26	334	0,67	271	0,48
	18ХГ	16MnCr5	2100	0,26	391	0,7	324	0,46
	18ХГТ	20MnCr5	2140	0,25	337	0,68	246	0,52
	ШХ15	100Cr6	1410	0,39	318	0,86	326	0,53
	5ХНМ	55NiCrMoV6	1595	0,21	269	0,79	198	0,66
	50ХГФА	50CrV4	2220	0,26	317	0,77	315	0,39
	10Х17Н13М2Т	X10CrNiMoNb18 10	2550	0,18	181	0,74	173	0,59
Чугун	СЧ20	GG20	GG 20	0,25	240	0,7	178	0,46
	СЧ30	GG30	GG 40	0,26	170	0,91	164	0,7
	ВЧ-60	ВЧ-60	1480	0,17	290	0,76	240	0,43

Утверждаю

Главный инженер

ООО «Тюменьстальмост»

_____ В.О. Андреев

«16» июня 2014 г.

АКТ

о внедрении результатов

кандидатской диссертационной работы

Чернышова Михаила Олеговича

О том, что в заготовительном цехе на системе сверления VOORTMAN V200 были проведены испытания сборного сверла с режущей головкой повышенной работоспособности ø25 мм изготовленной путем переточки режущей головки фирмы ARNO на режимах рекомендованных производителем: подача 0,25 мм/об; обороты 800 об/мин.

Специальная форма режущей головки, позволила улучшить отвод теплоты, возникающей в процессе сверления, а также улучшить стружкодробление и уменьшить толщину срезаемого слоя на периферийной части сверла, что позволило:

- увеличить стойкость сверла в 2 раза;
- повысить производительность обработки в 1,5 раза.

Начальник КТО Колясников В.В.

Начальник заготовительного цеха Ермаков И.В.

Ведущий инженер технолог КТО Бердов П.А.

Предприятие с иностранными инвестициями открытое акционерное общество

газтурбосервис

Россия, 625014, г.Тюмень-14, пл. Хуторянского, 1
тел.(3452)69-10-01,69-11-01;ф.(3452)69-10-02
(495) 719-60-99, газсвязь: (770) 28-004
www.gazts.ru e-mail: gazts@gazts.ru

ПИИ ОАО «Газтурбосервис» ИНН 7203078728
КПП 720450001 р/с 40702810267020000067 в
Западно-Сибирском банке ОАО «Сбербанк России» г.Тюмень
БИК 047102651 к/с 30101810800000000651,
ОГРН 1027200817852

20 марта 2014 № _____

На № _____ от _____

УТВЕРЖДАЮ

Главный технолог ОАО ПИИ «Газтурбосервис»:

Старых Л.С.

АКТ

о внедрении результатов

кандидатской диссертационной работы

Чернышова Михаила Олеговича

Настоящим актом подтверждается, что на ПИИ ОАО «Газтурбосервис» заводе Чернышовым Михаилом Олеговичем проведена работа по испытанию и внедрению сборного сверла со сменными режущими пластинами повышенной работоспособности.

Применяемое сверло со схемой механического крепления и базирования пластин в угловой паз обеспечивает высокую производительность и поддерживает широкий диапозон подач.

Испытание и внедрение сборного сверла повышенной работоспособности показали:

1) Надежность схемы базирования и крепления режущих пластин в угловой паз;
2) Снижение количества отказов сверла в результате поломок пластин в 1,7 раз.

Руководитель технологической службы:
Кропанев В.А.

Начальник цеха №36:
Золотухин А.С.

ТЮМЕНСКИЙ РЕМОНТНО-МЕХАНИЧЕСКИЙ ЗАВОД

ОТКРЫТОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО "СИБНЕФТЕПРОВОД"

УТВЕРЖДАЮ:
Директор ТРМЗ
ОАО «Сибнефтепровод»
_____ Н.Ю. Прокопенко
"12" декабря 2013 г.

АКТ
о внедрении результатов
кандидатской диссертационной работы
Чернышова Михаила Олеговича

Настоящим актом подтверждается, что на ОАО «АК «Транснефть» ОАО "Сибнефтепровод" Тюменский Ремонтно-Механический Завод Чернышовым Михаилом Олеговичем проведена работа по испытанию и внедрению сборного инструмента с режущими пластинами повышенной работоспособности и передана для внедрения методика и программа по выбору, расчету сменных режущих пластин и проектированию сборных сверл повышенной работоспособности, в которую вошли:

1) Программа для выбора, расчета сменных режущих пластин и проектирования сборных сверл повышенной работоспособности;
2) Чертежи разработанных конструкций сборных инструментов;
3) Режимы резания сборными сверлами разработанных конструкций.

Начальник ТО Барабаш Д.А.

Начальник МЦ Муратов И.В.

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2531336

РЕЖУЩАЯ ПЛАСТИНА ДЛЯ ЧЕРНОВОЙ И ЧИСТОВОЙ ОБРАБОТКИ

Патентообладатель(ли): ***Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Тюменский государственный нефтегазовый университет" (ТюмГНГУ) (RU)***

Автор(ы): ***см. на обороте***

Заявка № **2013129883**

Приоритет изобретения **28 июня 2013 г.**

Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений Российской Федерации ***22 августа 2014 г.***

Срок действия патента истекает **28 июня 2033 г.**

Врио руководителя Федеральной службы по интеллектуальной собственности

Л.Л. Кирий

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

(19) RU (11) 2 531 336 (13) C1

(51) МПК
B23B 27/16 (2006.01)

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: **2013129883/02, 28.06.2013**

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
28.06.2013

Приоритет(ы):
(22) Дата подачи заявки: **28.06.2013**

(45) Опубликовано: **20.10.2014** Бюл. № **29**

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: **GB 2104421 A, 09.03.1983. SU 814573 A1, 23.03.1981. SU 1033266 A1, 07.08.1983. RU 2201316 C2, 27.03.2003**

Адрес для переписки:
625000, г.Тюмень, ул. Володарского, 38, ТюмГНГУ, УНИР, Ивановой Л.С.

(72) Автор(ы):
Артамонов Евгений Владимирович (RU),
Васильев Дмитрий Вячеславович (RU),
Киреев Виталий Владимирович (RU),
Чернышов Михаил Олегович (RU)

(73) Патентообладатель(и):
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Тюменский государственный нефтегазовый университет" (ТюмГНГУ) (RU)

(54) РЕЖУЩАЯ ПЛАСТИНА ДЛЯ ЧЕРНОВОЙ И ЧИСТОВОЙ ОБРАБОТКИ

(57) Реферат:

Изобретение относится к области обработки материалов резанием, сборному режущему инструменту с механическим креплением многогранных режущих пластин, предназначенному для черновой и чистовой обработки. Режущая многогранная пластина, выполненная на основе равностороннего многогранника, с главной и вспомогательной режущими кромками, образованными пересечением передней поверхности с боковыми поверхностями. Для повышения работоспособности и расширения технологических возможностей за счет использования режущей пластины для черновой и чистовой обработки вспомогательная режущая кромка выполнена в виде кривой линии, вписанной в четверть длины стороны многогранника, при этом радиус криволинейной режущей кромки равен половине длины стороны многогранника. 6 ил.

RU 2531336 C1

RU 2531336 C1

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2539255

СБОРНОЕ СВЕРЛО С РЕЖУЩИМИ ПЛАСТИНАМИ

Патентообладатель(ли): ***Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Тюменский государственный нефтегазовый университет" (ТюмГНГУ) (RU)***

Автор(ы): ***см. на обороте***

Заявка № **2013155436**

Приоритет изобретения **12 декабря 2013 г.**

Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений Российской Федерации ***28 ноября 2014 г.***

Срок действия патента истекает **12 декабря 2033 г.**

Врио руководителя Федеральной службы по интеллектуальной собственности

Л.Л. Кирий

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

(19) RU (11) 2 539 255 (13) C1

(51) МПК
B23B 51/00 (2006.01)

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: **2013155436/02, 12.12.2013**

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
12.12.2013

Приоритет(ы):
(22) Дата подачи заявки: **12.12.2013**

(45) Опубликовано: **20.01.2015** Бюл. № **2**

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: **EP 1902799 A2, 26.03.2008. SU 1002105 A1, 07.09.1983. SU 1808509 A1, 15.04.1993. RU 2432237 C2, 27.10.2011**

Адрес для переписки:
625000, г.Тюмень, ул. Володарского, 38, ТюмГНГУ, управление НИР, Ивановой Л.С.

(72) Автор(ы):
Артамонов Евгений Владимирович (RU), Остапенко Мария Сергеевна (RU), Чернышов Михаил Олегович (RU)

(73) Патентообладатель(и):
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Тюменский государственный нефтегазовый университет" (ТюмГНГУ) (RU)

(54) СБОРНОЕ СВЕРЛО С РЕЖУЩИМИ ПЛАСТИНАМИ

(57) Реферат:

Изобретение относится к области обработки материалов резанием, сборному режущему сверлу с механическим креплением многогранных режущих пластин. Сверло содержит корпус, центральную режущую пластину, установленную рядом с осью вращения и периферийную режущую пластину, идентичную центральной режущей пластине. При этом периферийная режущая пластина установлена дальше от оси вращения, чем центральная режущая пластина. Для повышения работоспособности, снижения сил резания и расширения технологических возможностей сверла траектория вращения центральной режущей пластины и периферийной режущей пластины по меньшей мере частично перекрываются с образованием участка перекрытия, причем режущая кромка внутренней режущей пластины и режущая кромка внешней режущей пластины наклонены к оси вращения в направлении к детали, что обеспечивает пошаговое засверливание в обрабатываемую деталь. Для повышения надежности крепления многогранных режущих пластин центральная и периферийная режущие пластины выполнены на основе равностороннего трехгранника, с главной и вспомогательной режущими кромками, образованными пересечением передней поверхности с боковыми поверхностями. В сборных сверлах данной конструкции исключается перекос режущих пластин при затяжке винта, обеспечивается выполнение правила силового замыкания, то есть направление силы резания совпадает с направлением силы крепления. 8 ил.

RU 2539255 C1

RU 2539255 C1

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ (19) **RU** (11) **2014132270**

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ, ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

(12) ЗАЯВКА НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

По данным на 13.04.2015 состояние делопроизводства: Экспертиза по существу

(21) Заявка: **2014132270**

(22) Дата подачи заявки: **05.08.2014**

Дата поступления: **05.08.2014**

Страна заявителя: **RU**

Исходящая корреспонденция			Входящая корреспонденция	
Уведомление об удовлетворении ходатайства	2014.09.05		Ходатайство о проведении экспертизы заявки по существу	2014.08.05
Уведомление о положительном результате формальной экспертизы	2014.08.28			
Уведомление о зачете пошлины	2014.08.28		Платежный документ	2014.08.05
Уведомление о поступлении документов заявки	2014.08.07		Комплект заявочной документации	2014.08.05

ТЮМЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НЕФТЕГАЗОВЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Всероссийская научно-практическая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых, посвященная 50-летию Тюменского индустриального института

«НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ-НЕФТЕГАЗОВОМУ РЕГИОНУ»

ДИПЛОМ

ПЕРВОЙ СТЕПЕНИ

награждается

СВИРИД АЛЕСЯ ЮРЬЕВНА

ЧЕРНЫШОВ МИХАИЛ ОЛЕГОВИЧ

ТюмГНГУ

ПРОГРЕССИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ СВЕРЛЕНИЯ СБОРНЫМИ ИНСТРУМЕНТАМИ

Секция: нефтяное машиностроение, материаловедение

Ректор **В. В. Новосёлов**

Тюмень, 2013

ТЮМЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НЕФТЕГАЗОВЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Всероссийская с международным участием
научно-практическая конференция
студентов, аспирантов и молодых ученых

«НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ-
НЕФТЕГАЗОВОМУ РЕГИОНУ»

ДИПЛОМ

ПЕРВОЙ СТЕПЕНИ

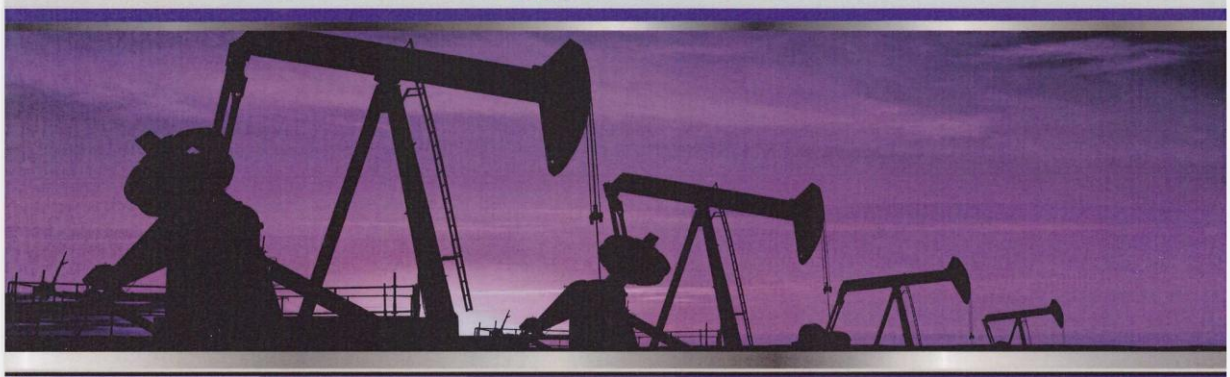
награждается

Чернышов Михаил Олегович

за доклад

Основные направления разработки новых конструкций сборных сверл повышенной работоспособности

**Проректор
по научной работе** **О.А. Новосёлов**



Тюмень, 2014

ФОНД СОДЕЙСТВИЯ РАЗВИТИЮ
малых форм предприятий в научно-технической сфере

КОМИТЕТ ПО ИННОВАЦИЯМ
ТЮМЕНСКОЙ ОБЛАСТИ

Тюменский
ТЕХНОПАРК

СЕРТИФИКАТ УЧАСТНИКА

подтверждает, что

Чернышов Михаил Олегович

ФГБОУ ВПО "Тюменский государственный нефтегазовый университет"

принял участие в конкурсе «УМНИК - 2013»
Фонда содействия развитию малых форм
предприятий в научно-технической сфере

Директор ГБУ ТО
«Западно-Сибирский инновационный центр»,
представитель Фонда содействия развитию
малых форм предприятий в
научно-технической сфере в Тюменской области А.В. Сакевич

г. Тюмень
16-17 апреля 2013 года

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

СЕРТИФИКАТ

№ 984

Настоящий сертификат выдан

ЧЕРНЫШОВУ МИХАИЛУ ОЛЕГОВИЧУ

аспиранту
Кафедры «Станки и инструменты»
Тюменского государственного нефтегазового университета

за участие
в Международной конференции школьников, студентов, аспирантов, молодых ученых «Ресурсоэффективные системы в управлении и контроле: взгляд в будущее»
с докладом

«АНАЛИЗ ОСНОВНЫХ ВИДОВ РАЗРУШЕНИЯ РЕЖУЩИХ ТВЕРДОСПЛАВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ СБОРНЫХ СВЕРЛ»

8-12 октября 2013 года
г. Томск

Ректор ТПУ ***П.С. Чубик***

Ученый секретарь конференции ***А.Н. Калиниченко***

Национальный исследовательский Томский политехнический университет