

Институт машиноведения, автоматики и геомеханики
Национальной академии наук Кыргызской Республики
Кыргызский государственный технический
университет имени И. Раззакова
Диссертационный совет ДС 05.24.703

На правах рукописи
УДК 621. 951.45

Дыйканбаева Урпия Маматкадыровна

Разработка метода повышения качества поверхностного слоя отверстий
при сверлении

05.02.08 – технология машиностроения

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Бишкек 2025

Работа выполнена на кафедре Технологии машиностроения Кыргызского государственного технического университета им. И. Раззакова.

Научный руководитель: Рагрин Николай Алексеевич

доктор технических наук, профессор, кафедры механики и приборостроения им.Я.И.Рудаева, Кыргызско-российского славянского университета Б.Н. Ельцина.

Официальные оппоненты: Абсадыков Бахыт Нарикбаевич

доктор технических наук, профессор, академик, РОО «Национальная академия наук Республики Казакстан».

Сарбанов Советбек Талгарбекович

кандидат технических наук, доцент.

Ведущая организация: Ошский технологический университет им. М.М.Адышева.

Защита диссертации состоится в 14.00 ч. “21” ноября 2025 года на заседании диссертационного совета Д 05.24.703 по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата технических наук при Институте машиноведения, автоматике и геомеханики Национальной академии наук Кыргызской Республики и Кыргызском государственном техническом университете им. И. Раззакова Министерства науки, высшего образования и инноваций Кыргызской Республики по адресу: 720055, г. Бишкек ул. Скрыбина, 23. Идентификационный код онлайн трансляции защиты диссертации <https://vc.vak.kg/b/052-xlj-xui-jwa> .

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеках организаций, при котором создан совет и на сайте: <https://imash.kg>

Автореферат разослан «15» октября 2025 г.

Ученый секретарь
диссертационного
совета Д 05.24.703, к.т.н., с.н.с.



Эликбаев К.Т.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы диссертации. Большое количество деталей технологической оснастки имеют отверстия высокой точности и относительно малого диаметра, к которым предъявляются высокие требования к износостойкости. К ним относятся отверстия подвижных соединений технологической оснастки, на износостойкость которых в большой степени влияет глубина дефектного поверхностного слоя и твердость поверхности отверстий. От этого зависит долговечность технологической оснастки и качество изделий машиностроения. Технологический процесс получения точных отверстий относительно малого диаметра содержит семь переходов обработки осевыми инструментами, первым из которых всегда является сверление. Следующие за сверлением переходы повышают качество отверстий снижением технологического допуска на размер, шероховатости поверхности и глубины дефектного поверхностного слоя. При этом ни один из этих технологических переходов не упрочняет поверхность обработанных отверстий. Поэтому проблема снижения глубины дефектного поверхностного слоя при одновременном упрочнении поверхности отверстий, обработанных сверлением, является актуальной, решение которой позволит повысить долговечность технологической оснастки и качество изделий машиностроения и значительно снизить трудоемкость их изготовления.

Связь темы диссертации с крупными научными программами (проектами), основными научно-исследовательскими работами.

Диссертация связана с научно-исследовательской работой «Организационно-технологическое проектирование производственных систем» кафедры «Технология машиностроения» КГТУ им. И. Раззакова

Цель и задачи исследования. Целью диссертационной работы является снижение глубины дефектного поверхностного слоя при одновременном повышении твердости поверхности отверстий, обработанных стандартными спиральными сверлами с целью повышения качества и долговечности деталей машин и снижения трудоемкости их изготовления.

Задачи исследований:

1. Исследование и получение зависимостей, отражающих влияние скорости резания и подачи на глубину дефектного поверхностного слоя и твердость поверхности отверстий, просверленных стандартными спиральными сверлами.

2. Разработка методологии планирования, организации и проведения экспериментов, объектом которых является качество поверхностного слоя и твердость поверхности отверстий, обработанных сверлением, а переменными независимыми факторами – параметры режима резания.

3. Разработка эмпирической модели влияния параметров режима резания на глубину дефектного поверхностного слоя и твердость поверхности отверстий на основании результатов экспериментов.

Научная новизна полученных результатов:

1. Экспериментально исследовано и получены соответствующие результаты влияния параметров режима резания на глубину дефектного поверхностного слоя и твердость поверхности просверленных отверстий: установлено, что на скоростях резания меньших 6 м/мин, глубина дефектного поверхностного слоя уменьшается в результате снижения температуры резания и пластичности обрабатываемого материала.

2. Разработаны эмпирические зависимости глубины дефектного поверхностного слоя и твердости поверхности просверленных отверстий от скорости резания и подачи с использованием методов корреляции и регрессионного анализа.

3. Разработана новая конструкция сверла, обеспечивающая повышение стойкости сверл и качества поверхности обработанных отверстий, новизна которой подтверждена Патентом Кыргызской Республики № 264.

Практическая значимость полученных результатов:

1. Разработана методология планирования, организации и проведения экспериментов, объектом которых является глубина дефектного поверхностного слоя и твердость поверхности отверстий, обработанных сверлением, а переменными независимыми факторами – параметры режима резания.

2. Результаты исследований легли в основу методических указаний «Методы контроля качества обработанной поверхности и поверхностного слоя», учебного пособия «Повышение качества отверстий обработанных сверлением» и учебника «Повышение стойкости спиральных сверл и качества обработки сверлением», используемых в учебном процессе подготовки бакалавров и магистров по направлению Машиностроение в КГТУ им. И. Раззакова.

3. Внедрено в производство представленные методы повышения качества поверхностного слоя отверстий, в части снижения глубины дефектного поверхностного слоя до 25 мкм и повышения твердости поверхности отверстий. Это позволяет уменьшить трудоемкость обработки высокоточных отверстий диаметром 10...18 мм за счет исключения следующих переходов: рассверливание, черновое и чистовое зенкерование, нормальное и чистовое развёртывание.

Экономическая значимость полученных результатов.

Разработанные практические рекомендации по расчету режимов резания, позволяют существенно снизить трудоемкость практически в два раза за счет уменьшения количества технологических переходов.

Основные положения диссертации, выносимые на защиту:

1. Результаты исследования влияния параметров режима резания на глубину дефектного поверхностного слоя и твердость поверхности просверленных отверстий.

2. Эмпирические зависимости глубины дефектного поверхностного слоя и твердости поверхности просверленных отверстий от скорости резания и подачи. Эмпирические модели, отражающие влияние параметров режима резания на глубину дефектного поверхностного слоя и твердость поверхности просверленных отверстий, полученные применением методов аппроксимации, корреляционного и регрессионного анализа результатов исследования, позволяющие исключить несколько технологических переходов обработки отверстий высокой точности, повысить качество технологической оснастки и снизить трудоемкость ее изготовления.

3. Метод повышения качества поверхностного слоя отверстий при сверлении, позволяющий использовать стандартные быстрорежущие спиральные сверла для получения отверстий, имеющих глубину дефектного поверхностного слоя в пределах 25 мкм при одновременном повышении твердости поверхности отверстий до 2-х раз.

4. Методология планирования, организации, проведения экспериментов, отличающаяся от известных методологий тем, что объектом исследования являются показатели качества поверхностного слоя отверстий, обработанных стандартными быстрорежущими спиральными сверлами, позволяющая повысить качество результатов исследований и снизить их трудоемкость.

Личный вклад соискателя. Основные научные результаты исследований получены соискателем лично под руководством научного руководителя. Разработаны: условия и характер влияния параметров режима резания на глубину дефектного поверхностного слоя и упрочнение поверхности просверленных отверстий, эмпирические модели, отражающие характер этого влияния, методология планирования, организации, проведения исследований.

Апробации результатов диссертации. Результаты диссертационной работы доложены и обсуждены на следующих международных конференциях:

1. Четырнадцатая общероссийская научно-практической конференции: Инновационные технологии и технические средства специального назначения. - Санкт-Петербург, БГТУ, 2022 г.

2. Международная научно-практическая конференция «Инновации в науке и технике». Бишкек, КРСУ им. Б.Н. Ельцина, 2022 г.

3. Международная научно-практическая конференция «Наука, образование, инновации и технологии: оценки, проблемы, пути решения». Кыргызский государственный университет геологии, горного дела и освоения

природных ресурсов им. академика У. Асаналиева; Инженерная академия Кыргызской Республики; Инженерный центр. Бишкек, «АСКАТЕШ, 2022 г.

4. VIII Международная сетевая научно-практической конференции «Современные интеграционные процессы в развитии инноваций в образовании и науке» Бишкек, КГТУ им. И. Раззакова, 2022 г.

Полнота отражения результатов диссертации в публикациях.

По материалам диссертации опубликовано 19 научных статей в изданиях, входящих в РИНЦ в том числе девять статей опубликовано за рубежом, а также патент в КР № 264.

Структура и объем диссертации.

Диссертационная работа состоит из введения, трех глав, основных выводов и практических рекомендаций, списка использованной литературы и приложений. Содержание диссертации изложено на 138 страницах машинописного текста, содержит 34 рисунка, 60 таблиц, библиографию из 85 наименований.

Диссертационная работа выполнена в КГТУ им. И. Раззакова под научным руководством д.т.н., профессора Рагина Николай Алексеевича.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цели и задачи исследований, отражены научная новизна и практическая значимость.

В **первой главе** проведен обзор и анализ существующих методов по обеспечению качества поверхностного слоя деталей машин. Качество поверхностного слоя отверстий, полученных сверлением, существенно влияет на эксплуатационные характеристики изделий — износостойкость, усталостную прочность и коррозионную стойкость. Глубина дефектного поверхностного слоя и твердость обработанной поверхности являются ключевыми показателями качества обработки. Влияние режимов резания (скорость резания, подача) и геометрии сверла (углы заточки, форма режущей кромки) на эти параметры требует детального исследования. Рассмотрены методы обеспечения качества обработки поверхностного слоя отверстий осевыми инструментами. В итоге анализ литературных источников показал отсутствие результатов исследований влияния условий обработки, параметров режима резания на глубину дефектного поверхностного слоя и твердость поверхности отверстий, обработанных стандартными быстрорежущими спиральными сверлами, отсутствие математических зависимостей, раскрывающих влияние режимов обработки сверлением на глубину дефектного поверхностного слоя и твердость поверхности просверленных отверстий, а

также отсутствие технологических методов упрочнения поверхности отверстий относительно малых диаметров значительной глубины.

Во **второй главе** представлены методология и методы исследования, объект и предмет исследования.

Объектом исследований является технологический процесс обработки отверстий быстрорежущими спиральными сверлами.

Предметом исследований является технологическая операция обработки отверстий быстрорежущими спиральными сверлами, обеспечивающая снижение глубины дефектного поверхностного слоя при одновременном повышении твердости поверхности просверленных отверстий, что позволяет повысить долговечности и качества изделий и снижения трудоемкости их изготовления.

Решение поставленных задач в данной работе осуществляется с использованием основных положений технологии машиностроения, теории обработки резанием, основ материаловедения, математической статистики.

Методология исследований направлена на разработку эмпирической модели, определяющей характер влияния технологических параметров режима резания на результаты исследований.

Условия проведения исследований характеризуются независимыми технологическими факторами, подлежащими варьированию в процессе проведения исследований, непосредственно влияющие на зависимые технологические факторы – результаты исследований.

В настоящих исследованиях независимыми технологическими факторами являются параметры режима резания, а именно скорость резания и подача. Зависимые технологические факторы: глубина дефектного поверхностного слоя отверстий и твердость поверхности отверстий, обработанных спиральными сверлами.

Методы получения отверстий

Большое значение для результатов экспериментальных исследований имеет выбор станка. Станок должен обеспечить высокую точность обработки и минимальное рассеивание результатов исследований. Помимо этого станок должен иметь достаточно широкие пределы скоростей резания и подач и большое их количество при узком диапазоне варьирования. Всеми этими требованиями обладает широкоуниверсальный фрезерный станок повышенной точности модели 675П. Станок имеет широкий диапазон оборотов шпинделя и подач. Такие обороты шпинделя, скорости резания и подачи, на которых проводились настоящие исследования, мог обеспечить только станок 675П.

При проведении экспериментальных исследований приспособление должно обеспечивать точность позиционирования заготовки относительно рабочих органов станка, а именно совмещение измерительной и установочных технологических баз и их перпендикулярность относительно оси шпинделя

станка. При проведении исследований заготовка непосредственно устанавливалась на столе станка, тем самым погрешности базирования заготовки полностью исключались.

При проведении экспериментальных исследований использовались спиральные сверла с коническим хвостовиком по ГОСТ 10903-77, диаметром 11 мм из быстрорежущей стали Р6М5, повышенной точности класса А1 и нормальной точности класса В. Сверла повышенной точности А1 затачивались по двухплоскостной заточке. Конструктивные элементы и геометрические параметры контролировались на соответствие стандартам на микроскопе УИМ-23.

Глубина дефектного поверхностного слоя. Поверхность образца, на которой проводилось металлографическое исследование, подвергалось специальной обработке, состоящей из ряда последовательных операций: грубая шлифовка (для выравнивания поверхности среза или излома образца); тонкая шлифовка; полировка; травление.

Шлифовка и полировка, осуществлялось на полировочной установке «PRESI Mintech 233», (рисунок 1), с применением наждачной бумаги зернистостью от Р 60 (размер зерна 250..315 мкм) до Р 180 (размер зерна 63..80 мкм) последовательно уменьшая размер зерна. Обработку производили на 5 номерах наждачной бумаги.

Направление вращения наждачного круга при смене зернистости наждачной бумаги следует изменять на противоположное. После окончания шлифования образец промывают струей воды для удаления частиц абразива и металла.



Рисунок 1 – Полировочная установка « PRESI Mintech 233»

Травление производилось 4% раствором азотной кислоты в этиловом спирте.

Микроструктура поверхностного слоя отверстий изучалась на световом микроскопе Axio Imager A1m/M1m (рисунки 2 и 3).

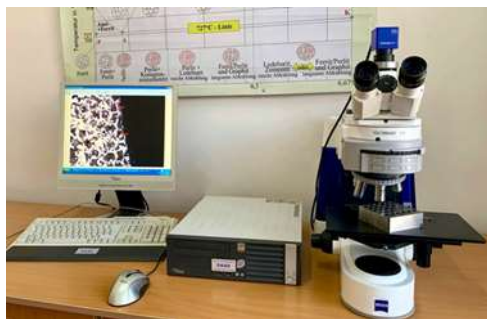


Рисунок 2 – Световой микроскоп Axio Imager A1m/M1m

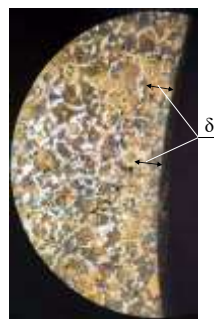


Рисунок 3 – Фотография микроструктуры поверхностного слоя

Контроль твердости поверхности отверстий. Твердость поверхностного слоя просверленных отверстий определялась измерением твердости поверхности отверстий по методу Роквелла в единицах HRC (рисунок 4).



Рисунок 4 – Измерение твердости, поверхности, обработанной сверлением

Для обеспечения возможности применения индентора с алмазным наконечником для измерения твердости обработанной поверхности, просверленные заготовки фрезеровались в плоскостях параллельных продольным осям каждого ряда отверстий.

В третьей главе представлен характер влияния параметров режима резания на глубину дефектного поверхностного слоя и твердость поверхности просверленных отверстий.

Результаты анализа микроструктуры металла поверхностного слоя отверстий при сверлении сверлами нормальной точности класса В представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Глубина дефектного поверхностного слоя δ при сверлении сверлами нормальной точности класса В

S, мм/об	0,078	0,1	0,13	0,16	0,20	0,25
V, м/мин	δ , мкм					
2,18					66,66	49,66
2,76				58,33	56,66	55,66
3,45			51,66	56,66	53,33	50,00
4,32		53,33	53,33	63,33	63,33	46,66
5,53	50,00	43,33	53,33	50,00	58,33	53,33

Сверла нормальной точности класса В имели большое осевое биение режущих кромок 0,3 мм. В таблице 1 видно, что связь между параметрами режима резания и глубиной дефектного поверхностного слоя отверстий явно не выражена.

В таблице 2 представлены результаты проверки корреляции между параметрами режима резания и глубиной дефектного поверхностного слоя отверстий, обработанных сверлами нормальной точности класса В.

Таблица 2 – Результаты проверки корреляции, обработанных сверлами нормальной точности класса В

S, мм/об	связь V- δ		V, м/мин	связь S - δ	
	r			r	
0,16	-0,512	не значим	3,45	-0,439	не значим
0,2	-0,234	не значим	4,32	-0,168	не значим
0,25	-0,032	не значим	5,53	0,616	не значим

В таблице 2 видно отсутствие связи между параметрами режима резания и глубиной дефектного поверхностного слоя отверстий, обработанных сверлами нормальной точности класса В.

В таблице 3 представлена глубина дефектного поверхностного слоя отверстий при сверлении сверлами повышенной точности класса А1 с двухплоскостной заточкой и осевым биением режущих кромок 0,06 мм.

Таблица 3 – Глубина дефектного поверхностного слоя отверстий при сверлении сверлами повышенной точности класса А1

S, мм/об	0,078	0,1	0,13	0,16	0,20	0,25
V, м/мин	δ , мкм					
2,18					25,0	25,0
2,76				22,30	23,0	22,30
3,45			16,00	21,30	21,00	22,60
4,32		15,30	18,60	19,00	19,7	21,00
5,53	13,33	15,00	18,00	18,67	19,00	19,33

Как видно в таблице 3 скорость резания и подача влияют на глубину дефектного поверхностного слоя отверстий. Для определения степени этого влияния проведен корреляционный анализ.

В таблице 4 представлены результаты проверки корреляции между параметрами режима резания и глубиной дефектного поверхностного слоя отверстий, обработанных сверлами повышенной точности класса А1. При работе сверлами повышенной точности класса А1 имеет место значимая связь между скоростью резания и глубиной дефектного поверхностного слоя отверстий на подачах 0,16, 0,2 и 0,25 мм/об.

Таблица 4 – Результаты проверки корреляции, обработанных сверлами повышенной точности класса А1

S, мм/об	связь V- δ		V, м/мин	связь S- δ	
	r			r	
0,16	-0,944	значим	3,45	0,8215	не значим
0,2	-0,949	значим	4,32	0,890	значим
0,25	-0,946	значим	5,53	0,876	значим

На представленных рисунках наблюдается уменьшение глубины дефектного поверхностного слоя отверстий с увеличением скорости резания (рисунок 5) и увеличение глубины дефектного поверхностного слоя отверстий с увеличением подачи (рисунок 6).

Обратное влияние скорости резания на глубину дефектного поверхностного слоя (рисунок 5) можно объяснить прямой зависимостью разбивки отверстий от скорости резания, что способствует уменьшению величины контакта ленточек со стенками обрабатываемого отверстия и соответствующим уменьшением величины крутящего момента от трения ленточек. Подача существенно и прямо пропорционально влияет на осевую силу и крутящий момент, поэтому и глубина дефектного поверхностного слоя (рисунок 6) увеличивается с увеличением подачи.

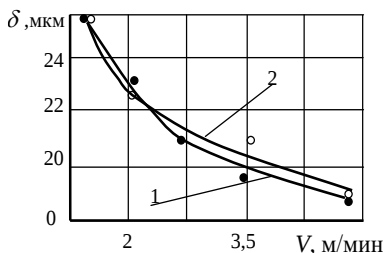


Рисунок 5 – Зависимость глубины дефектного поверхностного слоя от скорости резания A1: 1 – подача 0,2 мм/об, 2 – 0,25 мм/об

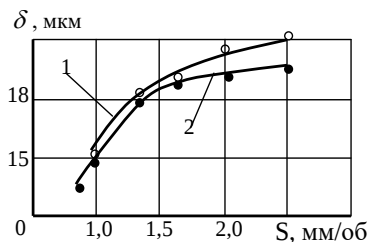


Рисунок 6 – Зависимость глубины дефектного поверхностного слоя от подачи сверлами A1: 1 - $V = 4,32$ м/мин, 2 - $V = 5,53$ м/мин

Анализ результатов исследований, представленный выше показывает, что при сверлении сверлами повышенной точности класса A1 с двухплоскостной заточкой задних поверхностей на всех скоростях резания и подах глубина дефектного поверхностного слоя не превышает 0,25 мкм, что соответствует требованиям к качеству поверхности отверстий после нормального развертывания. Этим обосновывается возможность значительного снижения трудоемкости обработки деталей с отверстиями высокой точности путем исключения из операции их обработки следующих технологических переходов: рассверливание, черновое и чистовое зенкерование, нормальное развертывание.

Определение коэффициентов регрессии зависимостей глубины дефектного поверхностного слоя от режима резания. Кривые графиков (рисунок 5 и рисунок 6) являются статистическими зависимостями, полученными усреднением нескольких измерений в каждой точке, поэтому аппроксимация этих зависимостей проводилась методом наименьших квадратов. Определялись коэффициенты регрессии трех статистических зависимостей: прямой, степенной и экспоненциальной. Результаты аппроксимации графических зависимостей, представленных на рисунке 5 и рисунке 6, представлены в таблице 5 и таблице 6.

Таблица 5 – Результаты аппроксимации графических зависимостей δ от V

№ п/п	На скорости резания $V = 4,32$ м/мин	r	№ п/п	На скорости $V = 5,53$ м/мин	r
1	$\delta = 13,24 + 32,56S$	0,86	4	$\delta = 12,3 + 31,73S$	0,85
2	$\delta = 32,7532S^{0,3086}$	0,94	5	$\delta = 31,36S^{0,3134}$	0,92
3	$\delta = 13,778e^{1,7876S}$	0,89	6	$\delta = 12,647e^{1,935S}$	0,84

Таблица 6 – Результаты аппроксимации графических зависимостей δ от S

№ п/п	На подаче $S = 0,2$ мм/об	r	№ п/п	На подаче $S = 0,25$ мм/об	r
1	$\delta = 28,025 - 1,784V$	0,95	4	$\delta = 27,78 - 1,59V$	0,95
2	$\delta = 31,3761V^{-0,3081}$	0,99	5	$\delta = 29,4677V^{-0,233}$	0,92
3	$\delta = 28,966e^{-0,0825V}$	0,95	6	$\delta = 28,62e^{-0,0735V}$	0,96

Сравнительный анализ коэффициентов корреляции показал, что наиболее адекватными результатами исследований являются степенные зависимости №2 таблице 5 ($r=0,94$) и №2 таблице 6 ($r=0,99$), которые следует использовать для получения обобщенной эмпирической зависимости. Указанные зависимости имеют вид

$$\delta = 32,7532S^{0,3086} \quad (1)$$

$$\delta = 31,3761V^{-0,3081} \quad (2)$$

Методика разработки обобщенной эмпирической модели заключается в определении постоянного коэффициента a зависимости (3) использованием результатов испытаний, представленных в таблице 3 следующим образом (4). Постоянный коэффициент a определяется зависимостью (5)

$$\delta = aV^{-0,3081}S^{0,3086} \quad (3)$$

$$a_i = \frac{\delta_i}{V^{-0,3081}S^{0,3086}} \quad (4)$$

$$a = \sum_{i=1}^n a_i / n \quad (5)$$

В результате применения настоящей методики получена эмпирическая модель для расчета глубины дефектного слоя просверленных отверстий при варьировании скоростью резания и подачей в виде

$$\delta = 51,09V^{-0,3081}S^{0,3086}. \quad (6)$$

Проведен сравнительный анализ адекватности эмпирической модели (6) результатам настоящих исследований (табл. 6), который позволил определить фактические и рассчитанные глубины дефектного поверхностного слоя отверстий и погрешность расчетов.

Упрочнение поверхностного слоя отверстий.

Таблица 7 – Твердость поверхности отверстий при сверлении сверлами повышенной точности класса A1

V, м/мин	S, мм/об					
	0,078	0,1	0,13	0,16	0,20	0,25
	HRC					
2,18					11,0	12,2
2,76				9,7	10,8	12,6
3,45			9,4	11,1	11,7	12,3
4,32		8,3	9,5	10,7	11,5	12,8
5,53	10,7	11,4	11,0	11,6	12,5	14,3

Проведен корреляционный анализ результатов исследований, представленных в табл.7.

Таблица 8 – Корреляция между параметрами режима резания и твердостью поверхности отверстий, обработанных сверлами повышенной точности класса A1 с двухплоскостной заточкой режущей части

S, мм/об	связь V - HRC		V, м/мин	связь S - HRC	
	r			r	
0,16	0,8546	не значим	3,45	0,9295	значим
0,2	0,9075	значим	4,32	0,99	значим
0,25	0,887	значим	5,53	0,934	значим

Вид зависимостей твердости поверхностного слоя отверстий от параметров режима резания при сверлении сверлами повышенной точности класса A1 представлен на рисунках 7 и 8.

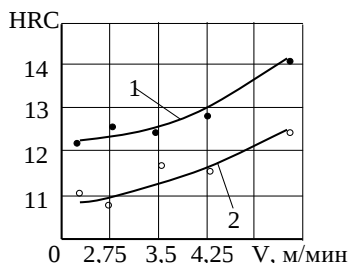


Рисунок 7 – Зависимость твердости обработанной поверхности отверстий от скорости резания, где 1 – $V = 5,53$ м/мин, 2 – $V = 4,32$ м/мин.

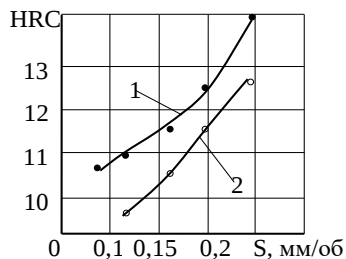


Рисунок 8 – Зависимость твердости обработанной поверхности отверстий от подачи, где 1 – $S = 0,25$ мм/об, 2 – $S = 0,2$ мм/об.

Определение коэффициентов регрессии зависимостей твердости обработанной поверхности от параметров режима резания.

Кривые графиков (рисунок 7 и рисунок 8) являются статистическими зависимостями, полученными усреднением нескольких измерений в каждой точке, поэтому аппроксимация этих зависимостей проводилась методом наименьших квадратов. Определялись коэффициенты регрессии трех статистических зависимостей: прямой, степенной и экспоненциальной. Затем рассчитывался коэффициент корреляции каждой из них, и методом сравнительного анализа определялась зависимость наиболее адекватная результатам исследований. Результаты аппроксимации зависимостей твердости обработанной поверхности отверстий от скорости резания и подачи представлены в таблицах 9 и 10.

Таблица 9 – Результаты аппроксимации зависимостей твердости обработанной поверхности отверстий от скорости резания

№	$S = 0,2 \text{ мм/об}$	r	№	$S = 0,25 \text{ мм/об}$	r
1	$HRC = 5,8+1,3V$	0,98	4	$HRC = 10,76+0,57 V$	0,89
2	$HRC = 6,19V^{0,415}$	0,99	5	$HRC = 10,932V^{0,124}$	0,75
3	$HRC = 6,64 \cdot e^{0,124V}$	0,97	6	$HRC = 10,9e^{0,0439V}$	0,9

Таблица 10 – Результаты аппроксимации зависимостей твердости обработанной поверхности отверстий от подачи

№	$V = 4,32 \text{ м/мин}$	r	№	$V = 5,53 \text{ м/мин}$	r
1	$HRC = 5,64+29,3S$	0,99	4	$HRC = 8,98+ 19,2S$	0,93
2	$HRC = 24,66 \cdot S^{0,469}$	0,997	5	$HRC = 18,45 \cdot S^{0,226}$	0,92
3	$HRC = 6,52 \cdot e^{2,798S}$	0,98	6	$HRC = 9,33 \cdot e^{1,568S}$	0,95

Построение эмпирической модели зависимости твердости от параметров режима резания.

Аппроксимация результатов исследований влияния параметров режима резания на твердость поверхностного слоя просверленных отверстий, представленных на рисунке 7 и рисунке 8, позволила определить коэффициенты регрессии трех статистических зависимостей для сочетания скоростей резания и подач, показанных в таблицах 9 и таблице 10. Сравнительный анализ коэффициентов корреляции показал, что наиболее адекватными результатам исследований являются степенные зависимости №2 в таблице 9 ($r=0,997$) и №2 в таблице 10 ($r=0,99$), которые следует использовать для получения обобщенной эмпирической зависимости, которые имеют вид:

$$HRC = 6,19V^{0,415}, \quad (7)$$

$$HRC = 24,66 \cdot S^{0,4692}. \quad (8)$$

Использованием зависимостей (7) и (8) разработана обобщенная эмпирическая модель:

$$HRC = 13,315 V^{0,415} S^{0,4692}. \quad (9)$$

Таблица 11 – Адекватность эмпирической модели

V, м/мин	S = 0,2 мм/об			S = 0,25 мм/об		
	HRC факт.,	HRC расч.,	погр., %	HRC факт.,	HRC расч.,	погр., %
4,32	11,5	11,48	0,17	12,8	12,6	1,56
5,53	12,5	12,72	1,76	14,3	14,12	1,3
			ср.0,97			ср. 1,43

В таблице 11 представлена высокая адекватность разработанной эмпирической модели (9) результатам исследований. Средняя погрешность расчетов не превышает значения 1,43, при минимальном значении 0,97.

Физические закономерности повышения качества поверхностного слоя отверстий, просверленных спиральными сверлами.

Значительные силы резания на лезвиях спиральных сверл и их конструктивные особенности приводят к изменению физико-механических свойств обработанной поверхности просверленных отверстий и повышают ее твердость.

На главных лезвиях спирального сверла возникают две радиальные силы P_y действующие друг против друга и теоретически уравновешенные. Однако режущая часть сверла имеет погрешности геометрических параметров, даже в пределах допусков, а также конструктивных элементов, таких как главные углы в плане, смещение поперечной кромки, неравенство длин главных режущих лезвий (рисунок 9).

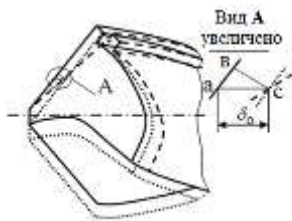


Рисунок 9 - Погрешности заточки сверл в результате смещения поперечной кромки....., неравенства углов ϕ -----.

Стандарт регламентирует допуск биения, проверяемый посередине главных режущих кромок в перпендикулярном им направлении (рисунок 9, вид

А, сторона *bc* треугольника *abc*). Однако основное влияние на осевую силу оказывает осевое биение режущих кромок δ_o (сторона *ac* треугольника *abc*), от которого зависит распределение подачи между зубьями сверла.

Эти погрешности приводят к неравенству сил P_y на них, в результате чего появляется равнодействующая радиальная сила ΔP_y в направлении большей радиальной силы. Получена зависимость для расчета радиальной силы на каждом главном лезвии при сверлении учитывающая величину осевого биения:

$$P_y = C_{py} D^q (0,5S + \delta_o)^y K_p. \quad (10)$$

с использованием которой, разработана зависимость, позволяющая рассчитать большую радиальную силу на одном зубе сверла при осевом биении меньшем величины подачи:

$$P_{yb} = C_{py} D (0,5S + \delta_o)^{0,7} K_p. \quad (11)$$

Большая радиальная сила, рассчитанная по зависимости (10) для сверл класса точности А1 диаметром 11 мм, имеющих двухплоскостную заточку режущей части и осевое биение 0,06 мм равна $P_{yb} = 89,5$ кгс. Тогда меньшая радиальная сила на другом зубе сверла будет равна $P_{ym} = 136 - 89,6 = 46,4$ кгс. В этом случае равнодействующая радиальная сила равна

$$\Delta P_y = 89,6 - 68 = 21,6 \text{ кгс.}$$

Радиальная сила резания зависит от подачи. Выше показано наличие значимой корреляции между подачей, глубиной дефектного поверхностного слоя и твердостью поверхности отверстий у сверл класса точности А1, что показывает наличие прямой функциональной зависимости глубины дефектного слоя и твердости поверхности отверстий, просверленных сверлами класса точности А1 от подачи. У сверл класса точности А1 на подаче равной 0,25 мм/об равнодействующая радиальная сила равна 21,6 кгс. Аналогично рассчитана равнодействующая радиальная сила для сверл класса точности В имеющих осевое биение режущих кромок 0,3мм, которая равна 68 кгс, т.е. в 3,15 раз больше чем у сверл класса точности А1, при этом среднее значение глубины дефектного слоя больше 2,75 раза, (54,35 и 19,77 соответственно), что практически соответствует увеличению равнодействующей радиальной силы. Это означает, что уменьшение глубины дефектного поверхностного слоя просверленных отверстий сверлами класса точности А1 по сравнению с отверстиями просверленными сверлами класса точности В происходит за счет уменьшения равнодействующей радиальной силы.

Температура в зоне резания и диаметр просверленных отверстий находятся в прямой зависимости от скорости резания.

В работе представлена эмпирическая зависимость температуры в зоне резания от скорости резания, имеющая вид

$$\Theta = 37,824V^{0,7328}, \quad (12)$$

При увеличении скорости резания от 2,18 м/мин до 5,53 м/мин рассчитанная по зависимости (12) температура увеличивается от 100°C до 200°C соответственно. В работе приведена эмпирическая зависимость, прочности и пластичности углеродистой конструкционной стали от температуры, на которой с увеличением температуры в указанных пределах прочность углеродистых сталей растет, а пластичность уменьшается. В результате твердость с увеличением скорости резания в указанном диапазоне повышается, а глубина дефектного поверхностного слоя уменьшается.

Увеличение диаметра отверстия происходит из-за воздействия силы, вызывающей смещение центра масс сверла по причине погрешностей изготовления конструктивных элементов в пределах их допусков. Сила, вызывающая смещение центра масс сверла:

$$F = m\omega^2 l, \quad (13)$$

где m – масса конструктивного элемента, ω – угловое ускорение, l – величина радиального смещения центра масс.

Квадрат углового ускорения в зависимости (13) показывает существенное влияние скорости резания на силу F . Эта сила действует даже при отсутствии погрешностей заточки режущей части спиральных сверл и своим влиянием способствует увеличению твердости поверхности просверленных отверстий.

В результате проведенных исследований выявлены физические закономерности влияния условий обработки спиральными сверлами на глубину дефектного поверхностного слоя и твердость поверхности просверленных отверстий:

- погрешности заточки режущей части сверл (неодинаковая величина главных углов в плане, длин главных режущих кромок, смещение поперечной кромки) вызывают неравенство радиальных сил P_y на зубьях сверл, которое приводит к появлению равнодействующей радиальной силы ΔP_y направленной в сторону действия большей силы P_y и увеличивающей ее. Равнодействующая радиальная сила непосредственно формирует дефектный слой поверхности просверленных отверстий. Большая радиальная сила зависит от подачи и равномерно возрастает с увеличением подачи. Характер зависимостей глубины дефектного поверхностного слоя и твердости поверхности просверленных

отверстий от подачи определяется характером зависимости от подачи большей радиально силы;

- погрешности изготовления конструктивных элементов сверл, в пределах их допусков приводят к возникновению силы, вызывающей смещение центра масс сверла. Эта сила имеет место даже при отсутствии погрешностей заточки сверл и в свою очередь способствует повышению твердости поверхности просверленных отверстий;

- увеличение скорости резания до 5,53 м/мин приводит к увеличению температуры резания до 200°C, в пределах которой прочность углеродистой стали растет, а пластичность падает. Поэтому твердость поверхности просверленных отверстий растет с увеличением скорости резания, а глубина дефектного поверхностного слоя уменьшается.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В рамках диссертационной работы получены следующие результаты:

1. Разработана методология планирования, организации и проведения экспериментов, объектом которого являются глубина дефектного поверхностного слоя и твердость поверхности отверстий.

2. Экспериментально выявлено наличие влияния скорости резания и подачи на глубину дефектного поверхностного слоя и твердость поверхности просверленных отверстий. Получены зависимости, отражающие влияние скорости резания и подачи на глубину дефектного поверхностного слоя и твердость поверхности отверстий, просверленных стандартными спиральными сверлами.

3. Получены эмпирические модели влияния скорости резания и подачи на глубину дефектного поверхностного слоя и твердость поверхности просверленных отверстий, позволяющие существенно уменьшить количество технологических переходов при обработке отверстий высокой точности, тем самым повысить качество изделий машиностроения и снизить их себестоимость.

4. Разработан и обоснован метод повышения качества поверхностного слоя отверстий при сверлении, включающий: стандартные спиральные сверла класса точности А1 с двухплоскостной заточкой режущей части, с осевым биением режущих кромок не превышающим 0,06 мм; эмпирическую модель, позволяющую выбрать параметры режима резания в зависимости от требуемой глубины дефектного поверхностного слоя в пределах 25 мкм; эмпирическую модель, позволяющую определить твердость поверхности просверленных отверстий в зависимости от выбранных параметров режима резания.

5. Разработана конструкция сверла повышенной точности класса А1 с двухплоскостной заточкой задних поверхностей, обеспечивающий повышение качества обработанной поверхности, новизна которой подтверждена патентом КР.

6. Результаты диссертационной работы используются в учебном процессе в рамках специальных дисциплин: «Технологические процессы в машиностроении», «Обработка материалов и инструмент», «Исследование материалов и процессов» и «Повышение стойкости спиральных сверл и качества обработки сверлением» на кафедре «Технология машиностроения» КГТУ им. И. Раззакова и приняты к внедрению в производство на промышленных предприятиях ОсОО «Алаташ» и ОсОО «Автомаш-Радиатор», что подтверждается соответствующими актами внедрения.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

1. **Дыйканбаева, У. М.** Научные основы повышения качества поверхности обработанной быстрорежущими спиральными сверлами [Текст]/ Н. А. Рагрин, А. А. Айнабекова // Технология машиностроения. –2017. - № 5. - С. 13-16. [https:// www.elibrary.ru/item.asp?id=29769701](https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29769701)

2. **Дыйканбаева, У.М.** Разработка и обоснование закономерностей повышения показателей качества отверстий, обработанных сверлением [Текст]/ Н.А. Рагрин, А.А. Айнабекова // Изв. Кырг. гос. техн. ун-та им. И. Раззакова. - 2018. - № (46). - С. 77-89. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36293764>

3. **Дыйканбаева, У.М.** Разработка и обоснование путей повышения качества поверхностного слоя отверстий, обработанных сверлением [Текст] / Н.А. Рагрин // Технология машиностроения. –2020.-№ 7. - С. 55-60. <https://elibrary.ru/item.asp?id=44350886>

4. **Дыйканбаева, У.М.** Разработка методов повышения качества отверстий сверлением. [Текст] / Н.А Рагрин // Научное обозрение. –2020, - № 1. - С. 32-48. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44897004>

5. **Дыйканбаева, У.М.** Повышения качества поверхностного слоя просверленных отверстий, обработанных сверлением [Текст]/Н.А. Рагрин // Кырг. гос. техн. ун-та им. И. Раззакова.-2021.- № 2(58).- С. 21-25. <https://elibrary.ru/item.asp?id=48045805>

6. **Дыйканбаева, У.М.** Повышение качества поверхностного слоя отверстий [Текст] / Н.А. Рагрин, А.А. Айнабекова, Д.М. Курганова // Вестн. Кырг.-Рос. Славян. ун-та. - 2021. - № 12(21) - С. 112-118. <https://elibrary.ru/item.asp?id=48045617>

7. **Дыйканбаева, У.М.** Повышение качества поверхностного слоя отверстий при обработке сверлением[Текст]/Н.А. Рагрин, А.А. Айнабекова,

Д.М. Курганова // Машиноведение.-2021.-№ 2 (14) -С. 76-85.
<https://elibrary.ru/item.asp?id=48535132>

8. **Дыйканбаева, У.М.** Повышения качества поверхностного слоя просверленных отверстий //Труды четырнадцатой общероссийской научно-практической конференции: Инновационные технологии и технические средства специального назначения. [Текст] / Н.А. Рагрин // Вестник БГТУ-2022. - № 81,Том 1. – С. 117-121. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=48571393>

9. **Дыйканбаева, У.М.** Разработка модели упрочнения поверхностного слоя отверстий сверлением [Текст] / Н.А. Рагрин, А.А. Айнабекова, Д.М. Курганова // Технология машиностроения. –2022, -№ 6 (240). - С. 11-15.
<https://elibrary.ru/item.asp?id=49357742>

10. **Дыйканбаева, У.М.** Обеспечение качества поверхностного слоя отверстий, обработанных сверлением [Текст] / Н.А. Рагрин, Д.М. Курганова // Вестн. Кырг.-Рос. Славян. ун-та. –2022, - № 4, Том 22. - С. 79-85.
<http://vestnik.krsu.edu.kg/archive/176/7290>

11. **Дыйканбаева, У.М** Разработка метода повышения качества поверхностного слоя отверстий при сверлении [Текст] / Н.А. Рагрин, // Вестн. Кырг.-Рос. Славян. ун-та. - 2022, -№ 12, Том 22, - С. 80-85.
<https://elibrary.ru/item.asp?id=50199518>

12. **Дыйканбаева, У. М.,** Научные основы упрочнения поверхностного слоя просверленных отверстий [Текст] / Н. А. Рагрин А. А. Айнабекова, Д. М. Курганова // Технология машиностроения. –2022, - № 12 (246). - С. 21-26.
<https://elibrary.ru/item.asp?id=50295901>

13. **Дыйканбаева, У. М.** Разработка основ повышения качества отверстий обработанных стандартными спиральными сверлами [Текст] / Н. А. Рагрин, А. А. Айнабекова // Технология машиностроения. –2023, -№ 1 (247). - С. 2-12. <https://elibrary.ru/item.asp?id=53829296>

14. **Дыйканбаева, У.М.** Регрессионный анализ технических исследований для построения эмпирических моделей [Текст] / Н.А. Рагрин, Д.М. Курганова // Вестн. Кырг.-Рос. Славян. ун-та. -2023, -№ 4 Том 23, - С. 94-100. <http://vestnik.krsu.edu.kg/archive/188/7665>

15. **Дыйканбаева, У.Д.** Корреляционный анализ результатов технических испытаний [Текст] / Н. А Рагрин // Машиноведение.- 2023. -№ 1, Том 17,– С. 102-115. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=54401362>

16. **Дыйканбаева, У.М.,** Разработка методов статистического анализа эмпирических технических исследований [Текст] / Н.А. Рагрин, Д.М. Курганова // Технология машиностроения. –2023,-№ 9. - С. 20-25.
<https://www.elibrary.ru/item.asp?id=59818933>

17. **Дыйканбаева, У.М.** Разработка физической модели формирования дефектного поверхностного слоя отверстий, просверленных спиральными

сверлами [Текст] / Н.А. Рагрин // Вестн. Кырг.-Рос. Славян. ун-та. -2023. -№ 8. Т. 23. С. 63-71. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=54674095>

18. **Дыйканбаева, У.М.** Разработка физических закономерностей влияния условий обработки спиральными сверлами на твердость поверхности просверленных отверстий // Технология машиностроения [Текст] / Н.А. Рагрин // –2023. - №10. - С. 20-26. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=59820238>

19. **Дыйканбаева, У.М.** Разработка физических закономерностей формирования дефектного поверхностного слоя просверленных отверстий на основе физической модели [Текст] / Н.А. Рагрин // Изв. Кырг. гос. техн. ун-та им. И. Раззакова. –2023. - № 12(58). - С. 1481-1494. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=54991255>

20. **Дыйканбаева, У.М.** Пат. Кыргызская Республика, № 264. Сверло [Текст] / Н.А. Рагрин // Кыргызпатент, заявл. 20180009.2, опубл. 30.06.2019. https://base.patent.kg/pm.php?action=search_list&f100=264

Дыйканбаева Урпия Маматкадыровнанын 02.05.08 – машина куруу технологиясы адистиги боюнча техника илимдеринин кандидаты илимий даражасын изденүү үчүн «Көзөөдө көзөнөктүн беттик катмарынын сапатын жогорулатуу ыкмасын иштеп чыгуу» темасындагы диссертациясынын

РЕЗЮМЕСИ

Негизги сөздөр: иштеп чыгуу, көзөөч, кемтик катмардын терендиги, катуулук, кесүү режимдеринин параметрлери, корреляция, аппроксимация, изилдөө.

Изилдөөнүн объектиси болуп бат кесүүчү сайбоор көзөөчтөр менен көзөнөктөрдү иштетүүнүн технологиялык процесстери саналат.

Изилдөөнүн предмети болуп эмгек сыйымдуулугун төмөндөтүүнү камсыз кылуучу бат кесүүчү сайбоор көзөөчтөр менен көзөнөктөрдү иштетүүнүн сапатын жогорулатуу ыкмасын иштеп чыгуу саналат.

Иштин максаты болуп машина тетиктеринин сапатын жана бышыктыгын жогорулатуу максатында стандарттуу сайбоор көзөөчтөр менен иштетилген көзөнөктөрдүн бетинин катуулугун жогорулатуу менен бирге кемтик катмарынын терендигин азайтуу саналат.

Изилдөө ыкмалары жана жабдуулар. Изилдөө усулу машина куруу технологиясынын негиздерин жана металл кесүү назариятын колдонууга негизделген. Изилдөөлөр натыйжаларды көзөмөлдөө үчүн заманбап приборлорду жана жабдууларды колдонуу менен 675П тесинин негизинде атайын жабдылган стендде жүргүзүлдү. Изилдөөнүн натыйжалары аппроксимация, математикалык статистика, корреляциялык жана регрессиялык талдоо ыкмалары менен иштелип чыкты.

Алынган натыйжалар жана алардын жаңылыгы: көзөлгөн көзөнөктөрдүн кемтик катмарынын терендигинин жана беттик катуулугунун кесүү режиминин параметрлерине көз карандылыктарынын табияты эксперименталдык түрдө аныкталып жана илимий жактан негизделди, бул көз карандылыктардын мүнөзүн чагылдырган эмпирикалык моделдер алынды, көзөөчтөрдүн кесүүчү бөлүгүн курчутуу сунушталган (патент № 264 – Кыргызпатент).

Колдонуу даражасы. Диссертациялык иштин жыйынтыктары, И. Раззаков атындагы КМТУнун Машина куруу технологиясы кафедрасында окуу процессине киргизилди жана «Алаташ» ЖЧК жана «Автомаш Радиатор» ЖЧК ишканаларында өндүрүшкө киргизүүгө кабыл алынды.

Колдонуу чөйрөсү. Бат кесүүчү сайбоор көзөөчтөр менен көзөлгөн көзөнөктөрдү иштетүүнү колдонгон өндүрүш ишканалары.

РЕЗЮМЕ

диссертации Дыйканбаевой Урпии Маматкадыровны на тему: «Разработка метода повышения качества поверхностного слоя отверстий при сверлении» на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.02.08 – технология машиностроения

Ключевые слова: разработка, сверло, глубина дефектного слоя, твердость, параметры режима резания, корреляция, аппроксимация, исследование.

Объектом исследования являются технологические процессы обработки отверстий быстрорежущими спиральными сверлами.

Предметом исследования являются методы обработки отверстий быстрорежущими спиральными сверлами, обеспечивающие повышение качества поверхностного слоя и снижение трудоемкости обработки отверстий.

Целью работы является снижение глубины дефектного поверхностного слоя при одновременном повышении твердости поверхности отверстий, обработанных стандартными спиральными сверлами с целью повышения качества и долговечности деталей машин и снижения трудоемкости их изготовления.

Методы исследования и аппаратура. Методика исследований базируется на использовании основ технологии машиностроения и теории резания металлов. Исследования проводились на специально оборудованном стенде на базе станка 675П с использованием современных приборов и аппаратуры для контроля результатов. Результаты исследований обрабатывались методами аппроксимации, математической статистики, теории корреляции и регрессионного анализа.

Полученные результаты и их новизна: экспериментально определен и научно обоснован характер зависимостей глубины дефектного слоя и твердости поверхности просверленных отверстий от параметров режима резания, получены эмпирические модели, отражающие характер этих зависимостей, предложена заточка режущей части сверл (патент №264 - Кыргызпатент).

Степень использования. Результаты диссертационной работы внедрены в учебный процесс на кафедре «Технология машиностроения» КГТУ им. И Раззакова и приняты к внедрению в производство на предприятиях ОсОО «Алаташ» и ОсОО «Автомаш радиатор».

Область применения. Производственные предприятия, обработка отверстий резанием быстрорежущими спиральными сверлами.

SUMMARY

of the dissertation of Dyikanbayeva Urpiya Mamatkadyrovna on the topic: "Development of a method for improving the quality of the surface layer of holes during drilling" for the degree of Candidate of Technical Sciences in the specialty 05.02.08 – technology of mechanical engineering

Keywords: development, drill bit, depth of the defective layer, hardness, cutting mode parameters, correlation, approximation, research.

The object of the research is the technological processes of hole processing with high-speed spiral drills.

The subject of the research is the development of a method to improve the quality of hole processing with high-speed spiral drills, which reduce the complexity of hole processing.

The aim of the work is to reduce the depth of the defective surface layer while increasing the surface hardness of the holes processed with standard spiral drills in order to improve the quality and durability of machine parts.

Research methods and equipment. The research methodology is based on the use of the fundamentals of mechanical engineering technology and the theory of metal cutting. The research was carried out on a specially equipped stand based on the 675Π machine using modern instruments and equipment for monitoring the results. The research results were processed using methods of approximation, mathematical statistics, correlation theory, and regression analysis.

The results obtained and their novelty: the nature of the dependencies of the depth of the defective layer and the hardness of the surface of drilled holes on the parameters of the cutting mode has been experimentally determined and scientifically substantiated, empirical models reflecting the nature of these dependencies have been obtained, and sharpening of the cutting part of drills has been proposed (patent No. 264 - Kyrgyzpatent).

Extent of use. The results of the dissertation work are introduced into the educational process at the Department of "Technology of Mechanical Engineering" of the KSTU named after I.Razzakov. They have been accepted for introduction into production at the enterprises of Alataash Ltd. and Avtomash Radiator Ltd.

The scope of application. Manufacturing enterprises, hole cutting with high-speed spiral drills.



Дыйканбаева Урпия Маматкадыровна

Разработка метода повышения качества поверхностного слоя
отверстий при сверлении

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук
подписано в печать 15.10.2025

Формат 60x84/16 Объем 1,5 п.л. Тираж 50 экз.

Издательство КГТУ им.И.Раззакова,
720044, Бишкек, проспект Ч.Т. Айтматова, 66