

**Институт машиноведения, автоматике 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

на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Бишкек – 2024

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

Научный руководитель: Рагрин Николай Алексеевич доктор технических наук, профессор, кафедра приборостроения Кыргызско-российского славянского университета Б.Н. Ельцина, профессор

Официальные оппоненты:

Ведущая организация:

Защита диссертации состоится на заседании диссертационного совета Д 05.21.642 по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата технических наук при Институте машиноведения и автоматики Национальной академии наук Кыргызской Республики и Кыргызском государственном техническом университете им. И. Раззакова Министерства образования и науки Кыргызской Республики по адресу: г. Бишкек ул. Скрябина, 23, в конференц-зале. Идентификационный код онлайн трансляции защиты диссертации в <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

Ученый секретарь диссертационного совета к.т.н.

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.

Задачи исследований:

1. Разработать параметры резания сверлением, при которых имеет место влияние параметров режима резаний на глубину дефектного поверхностного слоя и твердость поверхности отверстий, просверленных стандартными спиральными сверлами.

2. Определить и обосновать характер влияния параметров режима резания на глубину дефектного поверхностного слоя и твердость поверхности отверстий, просверленных стандартными спиральными сверлами.

3. Разработать эмпирическую модель влияния параметров режима резания на глубину дефектного поверхностного слоя и твердость поверхности отверстий, просверленных стандартными спиральными сверлами.

4. Разработать методологию планирования, организации и проведения исследований объектом которых является качество поверхностного слоя и твердость поверхности отверстий, обработанных сверлением, а переменными независимыми факторами – параметры режима резания.

Научная новизна полученных результатов:

1. Впервые определен и обоснован характер влияния параметров режима резания на глубину дефектного поверхностного слоя и твердость поверхности просверленных отверстий.

2. Впервые разработаны эмпирические модели влияния параметров режима резания на глубину дефектного поверхностного слоя и твердость поверхности просверленных отверстий.

Практическая значимость полученных результатов:

1. Разработаны условия обработки сверлением, при которых имеет место влияние параметров режима резаний на глубину дефектного поверхностного слоя и твердость поверхности просверленных отверстий. Разработанные условия обработки сверлением отверстий высокого качества используются в производственных процессах предприятий г. Бишкек. Акт внедрения в производство (Приложение 1).

2. Разработана методология планирования, организации и проведения исследований объектом которых является качество поверхностного слоя и твердость поверхности отверстий, обработанных сверлением, а переменными независимыми факторами – параметры режима резания. Методология легла в основу методических указаний «Методы контроля качества обработанной поверхности и поверхностного слоя» используемых в учебном процессе магистрантов КГТУ им. И. Раззакова. Акт внедрения в учебный процесс (Приложение 2).

Экономическая значимость полученных результатов. Снижение трудоемкости обработки отверстий за счет уменьшения количества технологических переходов.

Основные положения диссертации, выносимые на защиту:

1. Разработан характер влияния параметров режима резания на глубину дефектного поверхностного слоя и твердости поверхности просверленных отверстий в виде эмпирических табличных и графических зависимостей.

2. Эмпирические модели, отражающие характер влияния параметров режима резания на глубину дефектного поверхностного слоя и твердость поверхности просверленных отверстий, позволяющие получить обработкой стандартными быстрорежущими спиральными сверлами отверстия соответствующие качеству поверхностного слоя после нормального развертывания с более чем двукратным повышением твердости поверхности.

3. Условия обработки сверлением позволяющие использовать стандартные быстрорежущие спиральные сверла для получения отверстий, имеющих глубину дефектного слоя менее 25 мкм с более чем двукратным повышением твердости поверхности.

4. Методология планирования, организации, проведения исследований, отличающаяся от известных методологий тем, что объектом исследования являются показатели качества поверхностного слоя отверстий, обработанных стандартными быстрорежущими спиральными сверлами, в зависимости от скорости резания и подачи.

Личный вклад соискателя.

Основные научные результаты исследований получены соискателем лично. 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» Посвященная памяти первого декана ЕТФ профессора Юрикова В.А. Бишкек, КРСУ им. Б.Н. Ельцина, 2022 г.

3. Международная научно–практическая конференция «Наука, образование, инновации и технологии: оценки, проблемы, пути решения», посвященная 80 – летию ученого–педагога Ж. Усубалиева и 30 – летию Инженерной Академии КР. 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, 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 145 страницах машинописного текста, содержит 38 рисунков, 74 таблицы, библиографию из 73 наименований.

Диссертационная работа выполнена в КГТУ им. И. Раззакова под научным руководством д.т.н., профессора Рагрина 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 поверхности деталей машин. 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 упрочнение поверхности отверстий, обработанных стандартными быстрорежущими спиральными сверлами.

Отсутствие математических зависимостей, раскрывающих влияние режимов обработки сверлением на глубину дефектного поверхностного слоя и упрочнение поверхности просверленных отверстий. Отсутствие технологических методов упрочнения поверхности отверстий малых диаметров значительной глубины.

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

Объектом исследований являются технологические процессы обработки отверстий быстрорежущими спиральными сверлами.

Предметом исследований являются разработка методов повышения качества обработки отверстий быстрорежущими спиральными сверлами, обеспечивающих снижение трудоемкости обработки отверстий.

Методология исследований направлена на разработку эмпирической модели, определяющей характер влияния технологических факторов на результаты исследований, и включает требования к технологической системе, состоящей из четырех обязательных составляющих:

- станок (технологическое оборудование, на котором производится обработка деталей сверлением);
- приспособление (технологическое оснащение оборудования, необходимое для обеспечения обработки деталей сверлением);
- инструмент (быстрорежущие спиральные сверла непосредственно участвующие в обработке деталей);
- деталь (конструктивная часть изделия, заготовка, непосредственно подлежащая обработке и контролю результатов).

Все четыре составляющие технологической системы определяются в зависимости от заданных технологических условий проведения исследований и технологических факторов, зависящих от них.

Условия проведения исследований являются 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. Зависимые технологические факторы: глубина дефектного поверхностного слоя отверстий и твердость поверхности отверстий, обработанных спиральными сверлами.

Станок

Большое значение для экспериментальных исследований имеет выбор станка. Станок должен обеспечить высокую точность обработки и минимальное рассеивание результатов исследований. Помимо этого, станок должен иметь достаточно широкие пределы и большое количество скоростей резания и подач. Всеми этими требованиями обладает широкоуниверсальный фрезерный станок повышенной точности модели 675П, на базе которого был оборудован экспериментальный стенд для испытаний сверл с целью определения влияния параметров режима резания на глубину дефектного поверхностного слоя отверстий и твердость поверхности отверстий, обработанных спиральными сверлами.

Приспособление

При проведении экспериментальных исследований приспособление должно обеспечивать точность позиционирования заготовки, а именно параллельность технологических баз относительно рабочей поверхности стола станка и их перпендикулярность относительно оси сверла. При проведении исследований заготовка непосредственно устанавливалась на столе станка (рис.2.2, рис.2.6), тем самым погрешности позиционирования заготовки полностью исключались.



Рисунок 2.2 – Установка заготовки на станке



Рисунок 2.6 – Обрабатываемая заготовка

Инструмент

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 класса А1 затачивались по двухплоскостной заточке. Сверла нормальной точности класса В имели стандартную заточку.

Конструктивные элементы и геометрические параметры сверл контролировались на соответствие стандартам на микроскопе УИМ-23.

У сверл повышенной точности класса А1 осевое биение после установки в шпиндель станка не превышало значение 0,08 мм. У сверл нормальной точности класса В - 0,3 мм.

Деталь

Сверлились заготовки из конструкционной стали 45 180НВ. Толщина заготовок соответствовала трем диаметрам сверл. Сверлились сквозные отверстия (рис.2.6) с поливом смазочно-охлаждающей жидкостью – 5% раствор Укринола 5. Предварительно заготовки фрезеровались и шлифовались с шести сторон для обеспечения технологических и измерительных баз для обработки заготовок и контроля параметров точности просверленных отверстий.

Методы контроля качества поверхностного слоя просверленных отверстий

Глубина дефектного поверхностного слоя

Поверхность образца, на которой проводят металлографическое исследование, подвергают специальной обработке, состоящей из ряда последовательных операций: грубая шлифовка (для выравнивания поверхности среза или излома образца); тонкая шлифовка; полировка; травление.

Шлифовка и полировка, осуществляется на полировочной установке «PRESI Mintech 233», (рис. 2.10), с применением наждачной бумаги зернистостью от Р 60 (номер зерна 250..315 мкм) до Р 180 (номер зерна 63..80 мкм) последовательно уменьшая размер зерна. Обработку производят 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 2.10 - Полировочная установка «PRESI Mintech 233»

Травление стали производится 4% раствором азотной кислоты в этиловом спирте

Микроструктура поверхностного слоя отверстий изучалась на световом микроскопе Axio Imager A1m/M1m (рис. 2.11) при 200 кратном увеличении.



Рисунок 2.11 - Световой микроскоп Axio Imager A1m/M1m

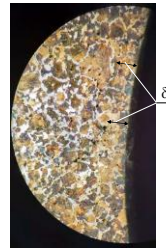


Рисунок 3.1 - Фотография микроструктуры металла

Контроль твердости поверхностности отверстий

Твердость поверхностного слоя просверленных отверстий определялась измерением твердости поверхности отверстий по методу Роквелла в единицах HRC (рис. 2.12).



Рисунок 2.12 – Измерение твердости, 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 [62, 63, 64] представлены в таблице 3.1.

Таблица 3.1.

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 3.2 видно, что связь между параметрами режима резания и глубиной дефектного поверхностного слоя отверстий явно не выражена.

В таблице 3.2 представлены результаты проверки корреляции между параметрами режима резания и глубиной дефектного поверхностного слоя отверстий, обработанных сверлами нормальной точности класса В.

Таблица 3.2.

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

В таблице 3.3 представлена глубина дефектного поверхностного слоя отверстий при сверлении сверлами повышенной точности класса А1 с двухплоскостной заточкой режущей части, которые имели осевое биение режущих кромок 0,06 мм.

Таблица 3.3.

S, мм/об V, м/мин	0,078	0,1	0,13	0,16	0,20	0,25
	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	18,6	18,9	19,40

Как видно в таблице 3.3 скорость резания и подача влияют на глубину дефектного поверхностного слоя отверстий. Для определения степени этого влияния проведен корреляционный анализ.

В таблице 3.4 представлены результаты проверки корреляции между параметрами режима резания и глубиной дефектного поверхностного слоя отверстий, обработанных сверлами повышенной точности класса А1.

Таблица 3.4.

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

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.

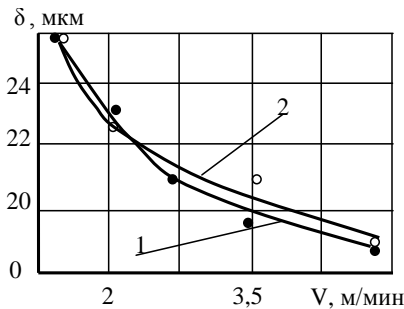


Рис. 3.2 - Зависимость глубины дефектного поверхностного слоя от скорости резания сверлами класса точности А1: 1 – подача 0,2 мм/об, 2 – 0,25 мм/об

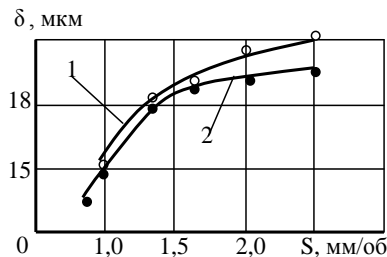


Рис. 3.3 - Зависимость глубины дефектного поверхностного слоя от подачи сверлами класса точности А1: 1 - V = 4,32 м/мин, 2 - V = 5,53 м/мин

На представленных рисунках наблюдается уменьшение глубины дефектного поверхностного слоя отверстий с увеличением скорости резания (рис. 3.2) и увеличение глубины дефектного поверхностного слоя отверстий с увеличением подачи (рис. 3.3).

На рисунках 3.4 и 3.5 представлены зависимости разбивки отверстий от скорости резания и подачи при сверлении сверлами повышенной точности класса А1.

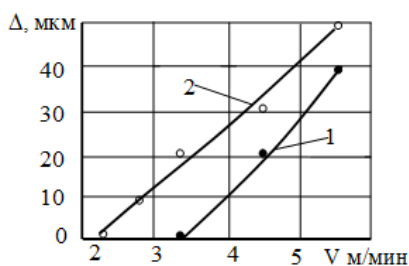


Рисунок 3.4 – Зависимость разбивки отверстий от скорости резания при сверлении сверлами повышенной точности класса А1: 1 – подача 0,2 мм/об, 2 – 0,25 мм/об

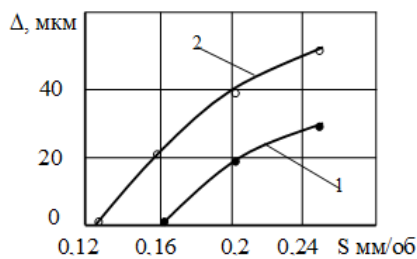


Рисунок 3.5 – Зависимость разбивки отверстий от подачи при сверлении сверлами повышенной точности класса А1: 1 – скорость резания 4,32 м/мин, 2 – 5,53 м/мин

Обратное влияние скорости резания на глубину дефектного поверхностного слоя (рис.3.2) можно объяснить прямой зависимостью разбивки отверстий от скорости резания (рис.3.4), 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 (рис.3.3) и разбивка отверстий (рис.3.5) увеличиваются с увеличением подачи.

Анализ результатов исследований, представленный выше показывает, что при сверлении сверлами повышенной точности класса А1 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.

Физические закономерности высокого качества отверстий, полученных сверлением

Физические закономерности высокого качества отверстий, полученных сверлением, базируются на теории обработки металлов давлением, согласно которой повышение температуры металла оказывает существенное влияние на его механические характеристики (рис. 3.5).

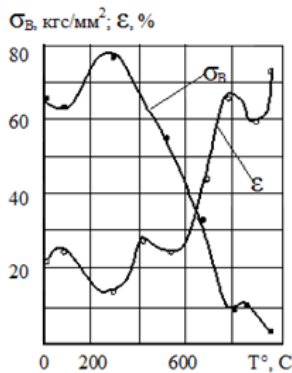


Рисунок 3.6 - Зависимость предела прочности и пластичности углеродистой конструкционной стали от температуры.

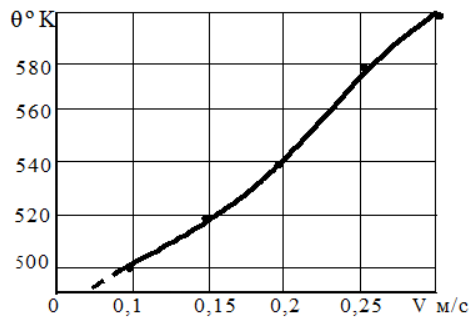


Рисунок 3.7 - Зависимости пути резания от скорости резания (а) и температуры резания (б) при точении конструкционной углеродистой стали резцами из быстрорежущей стали, где 1 – толщина среза $\alpha = 0,1$ мм, 2 – $\alpha = 0,3$ мм

На рисунке 3.6 видно, что в области невысоких температур (до 100 °С) с увеличением температуры пластичность углеродистой стали растет, а предел прочности уменьшается. Анализ графика представленных на рисунке 3.7 показал, что на скоростях резания меньших 0,1 м/с температура резания примерно равна температуре максимальной пластичности металла (рис.3.5).

На рисунке 3.6 представлены результаты лабораторных исследований зависимости твердости углеродистой стали 45 от температуры сотрудниками кафедры Технологии машиностроения КГТУ им. И. Раззакова.

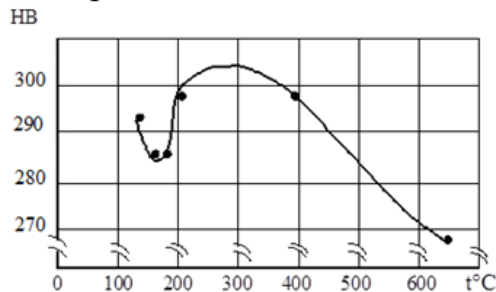


Рис. 3.8 - Зависимость твердости (HV) заготовки из стали 45 от температуры

При получении представленной зависимости заготовка нагревалась до температуры 650 °С, при остывании периодически измерялась ее твердость. Сравнение зависимостей предела прочности от температуры (рис. 3.5) и твердости от температуры (рис. 3.6) показывает их аналогичный характер. Это дает основание предположить связь качества отверстий на скоростях резания меньших 6 м/мин с максимальной пластичностью металла в области невысоких температур.

На основании изложенного выше можно предположить, что при сверлении на низких скоростях резания (менее 6 м/мин) физические закономерности уменьшения глубины дефектного поверхностного слоя отверстий с увеличением скорости резания связаны с характером влияния температуры резания на твердость конструкционной стали (рис. 3.6). С увеличением скорости резания до 5,53 м/мин температура растет, а твердость уменьшается – левая ветвь кривой рисунка 3.6, что сопровождается

повышением пластичности, стали и уменьшением крутящего момента за счет чего глубина дефектного поверхностного слоя отверстий уменьшается.

Определение коэффициентов регрессии зависимостей глубины дефектного поверхностного слоя от режима резания

Кривые графиков рисунок 3.2 и рисунок 3.3 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 рисунок 3.1 и рисунок 3.2 представлены в таблице 3.5 и таблице 3.6.

Таблица 3.5

№ 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 3.6

№ 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 результатам исследований являются степенные зависимости №2 таблице 3.5 ($r=0,94$) и №2 таблице 3.6 ($r=0,99$), которые следует использовать для получения обобщенной эмпирической зависимости. Указанные зависимости имеют вид

$$\delta = 32,7532S^{0,3086}, \quad (3.1)$$

$$\delta = 31,3761V^{-0,3081}. \quad (3.2)$$

Методика разработки обобщенной эмпирической модели

Методика разработки обобщенной эмпирической зависимости заключается в определении постоянного коэффициента a зависимости (3.3) использованием результатов испытаний, представленных в таблице 3.10 следующим образом (3.4)

$$\delta = aV^{-0,3081}S^{0,3086}, \quad (3.3)$$

$$a_i = \frac{\delta_i}{V^{-0,3081}S^{0,3086}}. \quad (3.4)$$

Постоянный коэффициент a определяется зависимостью (3.5)

$$a = \frac{\sum_{i=1}^n a_i}{n}. \quad (3.5)$$

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

$$\delta = 51,09V^{-0,3081}S^{0,3086}. \quad (3.6)$$

Проведен сравнительный анализ адекватности эмпирической модели (3.6) результатам настоящих исследований (табл. 3.22), который позволил определить фактические и рассчитанные глубины дефектного поверхностного слоя отверстий и погрешность расчетов.

Упрочнение поверхностного слоя отверстий

В таблице 3.23 результаты анализа твердости поверхности отверстий, обработанных сверлами нормальной точности класса В.

Таблице 3.6

V, м/мин	S, мм/об					
	0,078	0,1	0,13	0,16	0,20	0,25
	HRC					
2,18					11,5	11,7
2,76				12	12,3	10,6
3,45			14,8	11,4	12,7	13,0
4,32		19,3	20,3	17,3	19,2	16,6
5,53	12,6	12,5	12,0	16,0	13,4	12,8

В таблице 3.7 показано отсутствие корреляции между параметрами режима резания и глубиной дефектного поверхностного слоя отверстий обработанных сверлами нормальной точности класса В.

Таблица 3.7

S, мм/об	связь V - HRC		V, м/мин	связь S - HRC	
	r			r	
0,16	-0,767	не значим	3,45	-0,291	не значим
0,2	-0,479	не значим	4,32	-0,682	не значим
0,25	0,5095	не значим	5,53	0,216	не значим

Аналогично проведен корреляционный анализ результатов исследований результатов исследований твердости поверхности отверстий, просверленных сверлами класса точности А1, (табл. 3.8).

Таблица 3.8

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

Результаты исследований представлены в таблице 3.9.

Таблица 3.9

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

Вид зависимостей твердости поверхностного слоя отверстий от параметров режима резания при сверлении сверлами повышенной точности класса А1 представлен на рисунках 3.9 и 3.10.

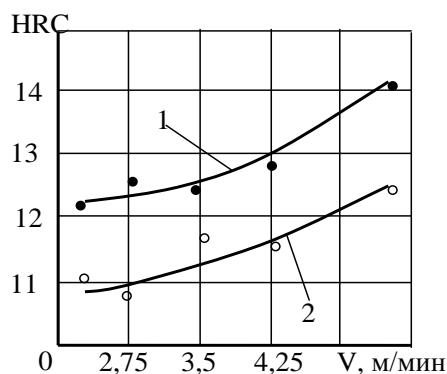


Рис. 3.9 – Зависимость твердости обработанной поверхности отверстий от скорости резания, где 1 – S = 0,25 мм/об, 2 – S = 0,2 мм/об.

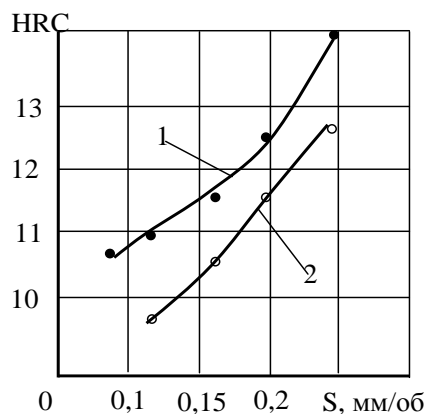


Рис. 3.10 – Зависимость твердости обработанной поверхности отверстий от подачи, где 1 – V = 5,53 м/мин, 2 – V = 4,32 м/мин.

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

Кривые графиков рисунок 3.9 и рисунок 3.10 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 3.10 и 3.11.

Таблица 3.10

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

Таблица 3.11

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

Построение эмпирической модели зависимости твердости от параметров режима резания

Аппроксимация результатов исследований влияния параметров режима резания на глубину дефектного поверхностного слоя просверленных отверстий, представленных на рисунке 3.9 и рисунке 3.10 позволила определить коэффициенты регрессии трех статистических зависимостей для сочетания скоростей резания и подач, показанных в таблицах 3.38 и таблице 3.39. Сравнительный анализ коэффициентов корреляции показал, что наиболее адекватными результатам исследований являются степенные зависимости №2 таблице 3.38 (r=0,997) и №2 таблице 3.39 (r=0,99), которые следует использовать для получения обобщенной эмпирической зависимости. Указанные зависимости имеют (3.7) и (3.8) вид

$$\text{HRC} = 6,19V^{0,415} \quad (3.7) \quad \text{HRC} = 24,66 \cdot S^{0,4692} \quad (3.8)$$

Построенная по вышеприведенной методике эмпирическая модель (3.14) имеет вид

$$\text{HRC}=13,315V^{0,415}S^{0,4692} \quad (3.9)$$

Адекватность эмпирической модели (3.9) результатам настоящих исследований представлена в таблице 3.12

Таблица 3.12

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

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.

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.

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.

4. **Дыйканбаева, У.М.** Разработка методов повышения качества отверстий сверлением, обработанных сверлением [Текст] / Н.А Рагрин // Научное обозрение. –2020, - № 1. - С. 32-48.

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.

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.

7. **Дыйканбаева, У.Д.** Повышение качества поверхностного слоя отверстий при обработке сверлением[Текст]/Н.А. Рагрин, А.А. Айнабекова, Д.М. Курганова // Машиноведение.-2021.-№ 2 (14) -С. 76-82.

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.

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.
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. 179-185.
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.
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.
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.
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.
15. **Дыйканбаева, У.Д.** Корреляционный анализ результатов технических испытаний [Текст] / Н. А Рагрин // Машиноведение.- 2023. -№ 1, Том 17,– С. 102-115.
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.
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.
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.
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.
20. **Дыйканбаева, У.М.** Пат. Кыргызская Республика, № 264. Сверло [Текст] / Н.А. Рагрин // Кыргызпатент, заявл. 20180009.2, опубл. 30.06.2019.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные выводы и практические рекомендации

1. Экспериментально определены параметров режима резаний, влияющие на глубину дефектного поверхностного слоя и твердость поверхности просверленных отверстий.
2. Определен и обоснован характер влияния параметров режима резания на глубину дефектного поверхностного слоя и твердость поверхности просверленных отверстий.
3. Разработаны эмпирические модели позволяющие определить влияния параметров режима резания на глубину дефектного поверхностного слоя и твердость поверхности просверленных отверстий, позволяющие исключить из технологического процесса обработки отверстий высокой точности ряд технологических переходов, таких как рассверливание, черновое и чистовое зенкерование и нормальное развертывание.
4. Разработана методология планирования, организации и проведения исследований, позволяющая повысить качество поверхностного слоя и твердость поверхности отверстий, обработанных сверлением.

Практические рекомендации

1. Для контроля симметричности расположения режущих кромок относительно оси рабочей части сверла использовать осевое биение режущих кромок, проверяемое посередине режущей кромки в направлении параллельном оси рабочей части сверла вместо допуска биения, проверяемого посередине режущих кромок в направлении перпендикулярном режущей кромке.
2. Допуск осевого биения режущих кромок для всех классов точности сверл не должен быть более половины подачи на оборот сверла.
3. Для обработки отверстий сверлением использовать сверла повышенной точности класса А1 по ГОСТ 2034-80 с двухплоскостной заточкой задних поверхностей, у которых осевое биение режущих кромок не превышает 0,06 мм.
4. Использовать следующие параметры режима резания: скорость резания 4,32 -5,56 м/мин, подача 0,2-0,25 мм/об.

РЕЗЮМЕ

диссертации Дыйканбаевой Урпия 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 разработка методов повышения качества обработки отверстий быстрорежущими спиральными сверлами, обеспечивающие 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.

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, используются при чтении лекций, проведении лабораторных и практических занятий на кафедре «Технология машиностроения» КГТУ им. И Раззакова. Приняты к внедрению в производство на предприятии ОсОО «Алаташ».

Область применения. Машиностроение, обработка отверстий резанием быстрорежущими спиральными сверлами.