

РАЗРАБОТКА И ОБОСНОВАНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ПОВЫШЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ОТВЕРСТИЙ ОБРАБОТАННЫХ СВЕРЛЕНИЕМ

Рагрин Николай Алексеевич, д.т.н., проф., КГТУ им. И. Раззакова, Кыргызская Республика, 720044, Бишкек, пр. Ч. Айтматова 66, E-Mail: n_ragrin@mail.ru

Айнабекова Айнуур Алмановна, ст. преподаватель КГТУ им. И. Раззакова, Кыргызская Республика, 720044, Бишкек, пр. Ч. Айтматова 66,

Дыйканбаева Урпия Маматкадыровна, ст. преподаватель, КГТУ им. И. Раззакова, Кыргызская Республика, 720044, Бишкек, пр. Ч. Айтматова 66, E-Mail: urpia71@mail.ru

Аннотация. Известно, что более 60% деталей машин и механизмов имеют отверстия. Сверление единственный способ получения отверстий резанием, поэтому сверла являются одним из наиболее часто применяемых режущих инструментов. Поэтому быстрорежущие спиральные сверла занимают наибольший удельный вес в общем объеме производства режущего инструмента (около 30%). Сверление всегда является первым технологическим переходом при обработке отверстий резанием, за которым следуют: рассверливание, черновое и чистовое зенкерование, нормальное, точное и тонкое развертывание, зависящие от необходимых параметров качества отверстий. Трудоемкость обработки таких отверстий достаточно высока и зависит не только от большого количества технологических переходов, но и от высокой стоимости режущих инструментов. Поэтому проблема повышения качества отверстий, обработанных сверлением, с целью снижения общей трудоемкости обработки деталей достаточно актуальна. В работе представлены результаты лабораторных исследований закономерностей влияния осевого биения режущих кромок спиральных сверл и параметров режима резания на показатели качества просверленных отверстий. Разработана математическая модель, позволяющая с высокой точностью рассчитывать параметры качества отверстий, обработанных сверлением при варьировании параметрами режима резания и осевым биением режущих кромок. Разработаны нормативы параметров режима резания, повышающие качество отверстий.

Ключевые слова: сверло, отверстие, допуск, размер, качество, диаметр, скорость.

DEVELOPMENT AND SUBSTANTIATION OF REGULARITIES OF INCREASING QUALITY FACTORS OF PROCESSED HOLES DRILLING

N. A. Ragrin, doctor of technical sciences, prof. KSTU named after I. Razzakov, 720044 Bishkek, Kyrgyz Republic, 66 Ch. Aitmatov av., e-mail: n_ragrin@mail.ru,

AA Ainabekova, art. prep. KSTU named after I. Razzakov, 720044 Bishkek, Kyrgyz Republic, 66 Ch. Aitmatov av.

Dyikanbaeva Urpiia, Senior Instructor, KSTU named after I. Razzakov, 720044 Bishkek, Kyrgyz Republic, 66 Ch. Aitmatov av., E-Mail: urpia71@mail.ru

Annotation. It is known that more than 60% of machine parts and mechanisms have holes. Drilling is the only way to get holes by cutting, so drills are one of the most commonly used cutting tools. Therefore, high-speed spiral drills occupy the largest share in the total production of cutting tools (about 30%). Drilling is always the first technological transition in the machining of holes by cutting, followed by: reaming, roughing and finishing, normal, precise and fine deployment, depending on the necessary parameters for the quality of the holes. The complexity of processing such holes is high enough and depends not only on a large number of technological transitions, but also on the high cost of cutting tools. Therefore, the problem of improving the quality of holes

treated with drilling, in order to reduce the overall laboriousness of processing parts is quite relevant. The paper presents the results of laboratory studies of the regularities of the influence of the axial runout of the cutting edges of spiral drills and the parameters of the cutting regime on the quality indicators of drilled holes. A mathematical model has been developed that makes it possible to calculate with high accuracy the parameters of the quality of the holes treated with pore drilling by varying the parameters of the cutting regime and axial beating of the cutting edges. The standards for the parameters of the cutting regime are developed, which increase the quality of the holes.

Key words: drill, hole, tolerance, size, quality, diameter, speed.

Анализ качества отверстий технологической оснастки

В таблице 1 приведены результаты анализа качества отверстий технологической оснастки: штампов, пресс-форм, лит-форм, применяемых на предприятиях г. Бишкек.

Таблица 1

Диаметр, мм	Квалитет допуска размера	Шероховатость Ra, мкм	Допуск перпендикулярности оси отверстий, мм	Глубина дефектного поверхностного слоя, мкм	Назначение отверстия
10-13	7	0,8	0,02	5 - 15	Под знаки
14-16	9-7	0,8	0,02	5 - 15	Под выталкиватели
16-20	7	0,8	0,04 – 0,06	5 - 15	Под направляющие втулки

Представленные в таблице 1 отверстия в основном содержат такие детали оснастки, как плиты: верхние, нижние, держатели матриц и пуансонов и т.п., каждая из которых имеет до десяти высокоточных отверстий различного диаметра. Технологический процесс обработки отверстий небольших диаметров, показанных в таблице 1, для достижения указанных параметров качества, содержит несколько переходов зенкерования и развертывания после сверления и достаточно трудоемок. При этом немаловажным фактором является стоимость металлорежущих инструментов, которая возросла более чем в сто раз, по сравнению с советским периодом. Поэтому в представленной работе рассмотрена достаточно актуальная проблема повышения качества отверстий, обработанных быстрорежущими спиральными сверлами, с целью снижения трудоемкости изготовления деталей.

Общепринятым технологическим способом повышения качества поверхности отработанной резанием является увеличение скорости резания [1]. На рисунке 1 приведена зависимость разбивки отверстий от скорости резания при обработке быстрорежущими спиральными сверлами диаметром 11 мм [2]. Под разбивкой понимается разность между диаметром отверстия и рабочим диаметром сверла.

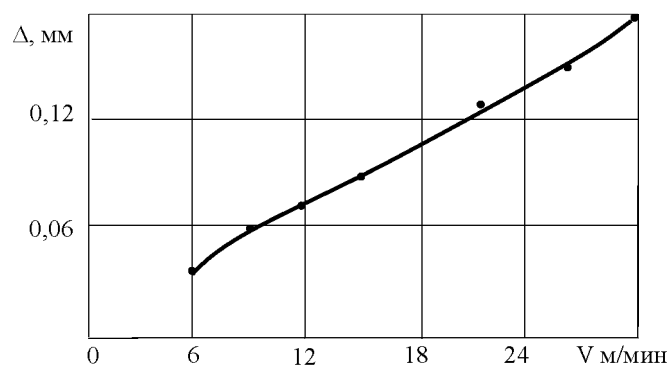


Рис. 1. Зависимость разбивки отверстий от скорости резания

Математическое выражение зависимости (рисунок 1) имеет вид

$$\Delta = 0,0063 \cdot V^{0,99}, \quad (1)$$

где Δ – разбивка отверстия, V – скорость резания.

Известно, что спиральными сверлами из быстрорежущей стали нельзя работать с высокими скоростями резания по причине сравнительно невысокой теплостойкости (650 °С) [1].

Повысить скорость резания можно использованием твердосплавных пластин для режущих лезвий сверл. Однако увеличение скорости резания, например всего лишь до 100 м/мин приведет к увеличению разбивки отверстий до 0,6 мм (1), что практически недопустимо (13 квалитет допуска размера для сверл указанного диаметра составляет 270 мкм [3]). Поэтому для спиральных сверл общепринятый технологический способ повышения качества обработанной поверхности увеличением скорости резания неприемлем.

В работе [2] на основании анализа скоростей резания при протягивании сделано предположение, что при сверлении на скоростях резания 3 - 6 м/мин можно ожидать повышения качества обработанной поверхности.

Методы повышения качества отверстий при сверлении

В работе [4] на основании экспериментальных исследований обоснован путь повышения качества отверстий, обработанных сверлением, применением скоростей резания меньших 6 м/мин. На скорости резания 6 м/мин рассчитанная по формуле (1) разбивка составляет 0,037 мм, что менее 9 квалитета допуска размера отверстий диаметром от 10 до 18 мм который составляет 43 мкм [3]. Для получения этого квалитета допуска для отверстий указанного диаметра рекомендуется чистовое зенкерование после черного [3].

Помимо скорости резания на качество обработанных сверлением отверстий большое влияние оказывает толщина стружки – подача, от величины которой зависит сила давления стружки на передние поверхности режущих лезвий и высота нароста. От силы резания зависит качество поверхностного слоя отверстий – величина и знак остаточных напряжений, а также величина наклепа, нарост существенно и отрицательно влияет на качество обработанной поверхности [1].

На качество обработанных сверлением отверстий большое влияние оказывает погрешности заточки спиральных сверл, а именно осевое и радиальное биение режущих кромок, а также способ заточки задних поверхностей [5]. В работе [5] отмечено, что значительно уменьшить погрешности заточки можно применением двухплоскостной заточки сверл, которая применялась при проведении лабораторных исследований.

Испытывались быстрорежущие спиральные сверла диаметром 11,0 мм по ГОСТ [6] класс точности А1. Сверлились сквозные отверстия глубиной $3d$ в заготовках из стали 45 190НВ. Чтобы обеспечить действенный контроль перпендикулярности оси отверстий относительно технологических баз, заготовки фрезеровались и шлифовались с шести сторон.

Осевое биение режущих кромок сверл, установленных в шпинделе станка, измерялось микрометром часового с ценой деления 0,01 мм, закрепленном на магнитном штативе. Таким же микрометром, закрепленным в стойке нутромера, измерялась разбивка отверстий. Разбивка отверстий контролировалась на трех уровнях: на входе в отверстие, посередине отверстия и на выходе из отверстия, учитывалось максимальное отклонение от рабочего диаметра сверла на каждом уровне. Шероховатость поверхности отверстий определялась сравнением с образцами шероховатости. Измерения величины отклонения от перпендикулярности оси отверстий относительно технологических баз проводились с помощью у цифрового штангенциркуля с дискретностью 0,01мм. Измерялось расстояния от технологических баз до стенок отверстий в двух взаимно перпендикулярных плоскостях с двух сторон. Параметры режима резания, которые использовались при проведении лабораторных исследований, представлены в таблице 2.

Таблица 2

n, об/мин	63	80	100	125	160
V, м/мин	2,18	2,76	3,45	4,32	5,53
S, мм/об	0,2;0,25	0,16;0,2;0,25	0,13;0,16; 0,2;0,25	0,1;0,13; 0,16;0,2; 0,25	0,078;0,1;0,13; 0,16;0,20;0,25

Чтобы обеспечить такие скорости резания испытания проводились на широкоуниверсальном фрезерном станке повышенной точности модели 675П. При установке в шпиндель станка контролировались осевое и радиальное биения режущих кромок.

Первоначально были проведены испытания спиральных сверл с конической заточкой задних поверхностей по ГОСТ [7] класс точности В, у которых допуски осевого и радиального биения режущих кромок были в пределах допусков, установленных ГОСТ [8]. Для класса точности В ГОСТом [8] для сверл диаметром св. 10 мм установлен допуск радиального биения режущих кромок 0,16 мм, и осевого – 0,3 мм.

После установки в шпиндель станка радиальное и осевое биения режущих кромок составили 0,3 мм. В таблице 3 представлены максимальные величины разбивки отверстий при сверлении сверлами с конической заточкой.

Таблица 3

S, мм/об	0,078	0,1	0,13	0,16	0,20	0,25
V, м/мин						
2,18					0,26	0,26
2,76				0,23	0,25	0,27
3,45			0,25	0,27	0,30	0,27
4,32		0,34	0,34	0,32	0,27	0,27
5,53	0,34	0,30	0,29	0,30	0,27	0,27

В таблице 3 видно, что при низком качестве изготовления и заточки сверл скорость резания практически не оказывает влияния на разбивку отверстий. На скоростях резания 4,32 и 5,53 м/мин наблюдается некоторое уменьшение разбивки отверстий с увеличением подачи. Причиной этого может быть большое осевое биение режущих кромок, при котором на малых подачах сверло практически работает одним зубом и момент резания приложен на один зуб сверла. С увеличением подачи в работу вступает второй зуб, и работа сверла несколько стабилизируется. На рисунке 2 показан характер зависимости разбивки отверстий от подачи при работе на скорости резания 5,53 м/мин.

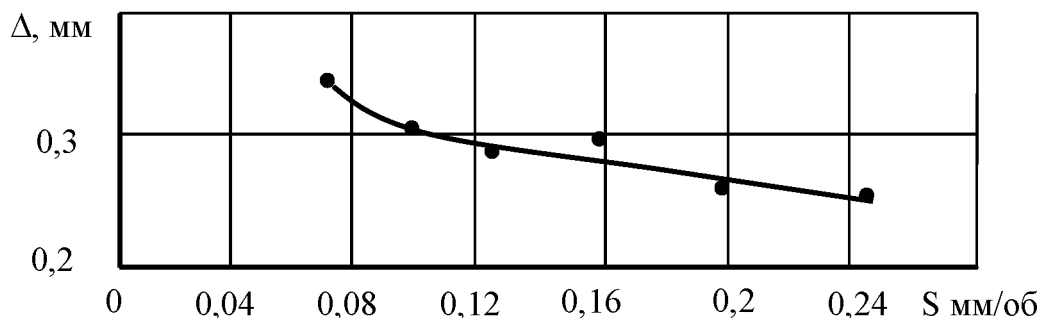


Рис. 2. Зависимость разбивки отверстия от подачи при сверлении сверлами с конической заточкой на скорости резания 5,53 м/мин

При работе сверлами с низким качеством изготовления и заточки точность отверстий не превышает 13 квалитет допуска размера отверстия.

ГОСТом [8] для сверл класса точности А1 диаметром св. 10 мм установлен допуск радиального биения режущих кромок 0,12 мм, и осевого – 0,06 мм. После установки в

шпиндель станка радиальное и осевое биения режущих кромок сверл с двухплоскостной заточкой класса точности А1 составило 0,08 мм. В таблице 4 приведены величины максимальной разбивки отверстий при работе сверлами диаметром 11 мм высокого качества изготовления и заточки.

Таблица 4

S, мм/об \ V, м/мин	0,078	0,1	0,13	0,16	0,20	0,25
2,18					-0,01	-0,01
2,76				-0,01	-0,01	0,01
3,45			-0,01	0	0	0,02
4,32		0	0	0	0,02	0,03
5,53	0	0	0	0,02	0,04	0,05

В таблице 4 видно, что при сверлении сверлами с высоким качеством изготовления и заточки разбивка отверстий значительно меньше, представленной в таблице 3 и лишь при работе на скорости 5,53 м/мин с подачей 0,25 мм/об превысила 9 квалитет допуска размера [3]. Характер изменения разбивки с увеличением скорости резания тоже изменился. С увеличением скорости резания разбивка отверстий значительно увеличивается (рисунок 3).

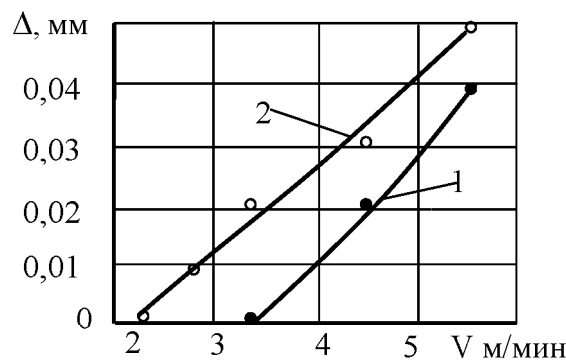


Рис. 3. Зависимость разбивки отверстий от скорости резания при сверлении сверлами с двухплоскостной заточкой: 1 – подача 0,2 мм/об, 2 – 0,25 мм/об

При этом на скорости резания 4,32 м/мин качество отверстий находится в пределах 8 квалитета допуска размера. Подача также оказывает существенное влияние на разбивку отверстий, однако в отличие от результатов испытаний сверл низкого качества изготовления и заточки с увеличением подачи диаметр отверстий не уменьшается, а увеличивается (рисунок 4).

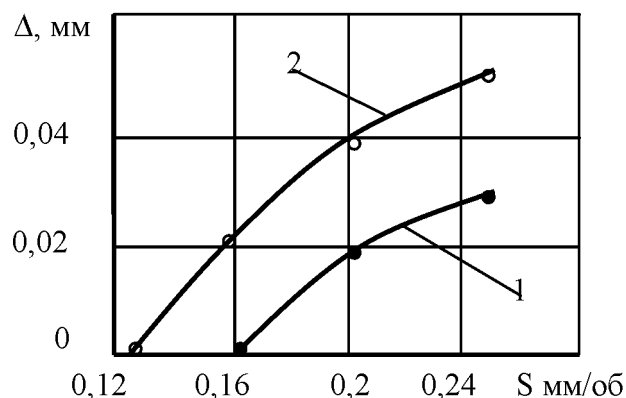


Рис. 4. Зависимость разбивки отверстий от подачи при сверлении сверлами с двухплоскостной заточкой: 1 – скорость резания 4,32 м/мин, 2 – 5,53 м/мин

В таблице 4 видно, что при работе на определенных скоростях резания диаметр отверстия практически равен рабочему диаметру сверла, а при работе на низких скоростях резания (2,18 - 3,45 м/мин) при определенных подачах диаметры просверленных отверстий меньше на 0,01 мм рабочего диаметра сверл. Причиной уменьшения диаметра может быть упругое последствие обрабатываемого материала после вывода сверла из отверстия.

Диаметр просверленного отверстия меньший рабочего диаметра сверла, нежелательное явление для технологии обработки отверстий, поэтому рациональными скоростями резания являются 5,53 м/мин при подачах 0,2 мм/об и меньших, и 4,32 м/мин при подачах 0,25 мм/об и меньших. На этих скоростях резания и подачах разбивка отверстий не превышает 8-9 качества допуска размера [3] (таблица 4).

В результате аппроксимации кривой 1 рисунка 4 методом, представленным в работе [9], получено уравнение

$$\Delta = 3,299 \cdot 10^{-4} V^{2,8}. \quad (2)$$

В таблице 5 представлены расчетные и фактические значения разбивки отверстий и погрешность расчетов.

Таблица 5

V	Δ расч.	Δ факт.	% погр.
4,32	0,0198	0,02	1,0
5,53	0,0396	0,04	1,0

В результате аппроксимации кривой 1 рисунка 3.11 получено уравнение

$$\Delta = 0,391 S^{1,8475}. \quad (3)$$

В таблице 6 представлены расчетные и фактические значения разбивки отверстий и погрешность расчетов.

Таблица 6

	Δ расч.	Δ факт.	% погр.
0,2	0,01999	0,02	0,05
0,25	0,03019	0,03	0,63

В результате несложной математической операции [10] получена математическая зависимость

$$\Delta = 0,0065 V^{2,8} S^{1,8475}. \quad (4)$$

В таблице 7 представлены расчетные по зависимости (4) и фактические значения разбивки отверстий и погрешность расчетов.

Таблица 7

V	S	Δ расч.	Δ факт.	% погр.
4,32	0,2	0,01999	0,02	0,05
4,32	0,25	0,03019	0,03	0,63
5,53	0,2	0,0399	0,04	0,25

Высокое совпадение расчетных и фактических данных позволяет с помощью зависимости (4) прогнозировать качество отверстий при варьировании параметрами режима резания, например на скорости резания 4 м/мин при подаче 0,2 мм/об рассчитанные значения разбивки составят 0,016 мм, что соответствует 7 качеству допуска размера отверстий обработанных точным развертыванием [3].

Разработка математической модели, обеспечения показателей качества отверстий, обработанных сверлением

Проведены испытания спиральных сверл с конической заточкой задних поверхностей по ГОСТ [6] классов точности В, В1 у которых допуск осевого биения режущих кромок, установленных ГОСТ [8], должен быть не более 0,3, 0,23 мм соответственно, и сверла с

двухплоскостной заточкой задних поверхностей класса точности А1, у которых допуск осевого биение режущих кромок, установленных ГОСТ [8], не должен превышать 0,06 мм.

После установки в шпиндель станка осевое биение режущих кромок δ составило: у сверл класса точности В - 0,3 мм, В1 – 0,2 мм, А1 – 0,08 мм.

В таблице 8 представлена максимальная разбивка отверстий на трех уровнях при различных осевых биениях режущих кромок сверл на скоростях резания 5,53 м/мин и 4,32 м/мин. По результатам экспериментальных исследований, представленных в работе [11], показано, что на этих скоростях резания при работе сверлами класса точности А1 с двухплоскостной заточкой задних поверхностей параметры качества просверленных отверстий соответствуют требованиям к качеству отверстий после точного развертывания. Вместе с тем эти скорости резания позволяют работать с наибольшей производительностью в сравнении с параметрами режима резания, выбранными для лабораторных исследований (таблица 2).

Таблица 8

V, м/мин	δ , мм	S, мм/об					
		0,078	0,1	0,13	0,16	0,20	0,25
		Δ , мм					
4,32	0,3		0,34	0,32	0,32	0,20	0,27
			0,21	0,22	0,22	0,27	0,24
			0,23	0,21	0,24	0,27	0,21
5,53		0,34	0,30	0,29	0,30	0,22	0,22
		0,24	0,27	0,29	0,24	0,22	0,27
		0,27	0,26	0,29	0,23	0,27	0,21
4,32	0,2		0,06	0,08	0,09	0,12	0,12
			0,02	0,03	0,02	0,04	0,06
			0,05	0,05	0,04	0,04	0,08
5,53		0,05	0,06	0,07	0,09	0,12	0,15
		0,04	0,05	0,05	0,07	0,06	0,06
		0,04	0,04	0,04	0,07	0,05	0,05
4,32	0,08		0	0	0	0	0,01
			0	0	0	0,02	0,02
			0	0	0	0,02	0,03
5,53		0	0	0	0	0,01	0,03
		0	0	0	0,01	0,03	0,05
		0	0	0	0,02	0,04	0,05

В таблице 8 видно, что при осевом биении равном 0,3 мм скорость резания практически не оказывает влияния на разбивку отверстий. Это может быть следствием того, что при работе практически на всех подачах вся нагрузка приходится на один зуб сверла. При работе на подачах 0,2 мм/об и 0,25 мм/об наблюдается незначительное уменьшение разбивки отверстий причиной которого может быть некоторая компенсация влияния радиального биения осевым биением за счет увеличения осевой силы и момента резания при увеличении толщины срезаемого слоя. При осевом биении 0,2 мм/об влияние скорости резания и подачи на разбивку отверстий имеет место, с увеличением скорости резания и подачи разбивка увеличивается. При этом наблюдается характерное изменение величины разбивки вдоль оси сверла. При работе практически на всех подачах на верхнем уровне отверстия разбивка больше и уменьшается к среднему уровню. Причиной этого может быть колебательные движения вершины сверла при врезании в отверстие, которые впоследствии

уменьшаются, компенсируясь осевым биением режущих кромок. Причиной увеличения разбивки на выходе из отверстия на скорости 4 м/мин может быть уменьшение влияния осевого биения режущих кромок.

При работе сверлами класса точности А1 с двухплоскостной заточкой задних поверхностей на подачах 0,078-0,13 разбивка равна нулю. С увеличением подачи и скорости резания разбивка увеличивается, но изменение разбивки вдоль оси сверла имеет другой характер, разбивка увеличивается от верхнего к нижнему уровню. Причиной этого может быть, что при двухплоскостной заточке поперечное лезвие является ломанной линией с вершиной на оси сверла, поэтому оно выполняет роль центровки без погрешностей установки, исключая колебания режущей части сверла при врезании в отверстие. Влияние осевого биения на разбивку отверстия в полной мере сказывается при врезании сверла на всю длину режущих кромок, т.е. на глубине отверстия равной 10 мм.

На рисунке 5 показан характер зависимости разбивки отверстий от осевого биения режущих кромок при работе на скоростях резания 5,53 м/мин и 4,32 м/мин.

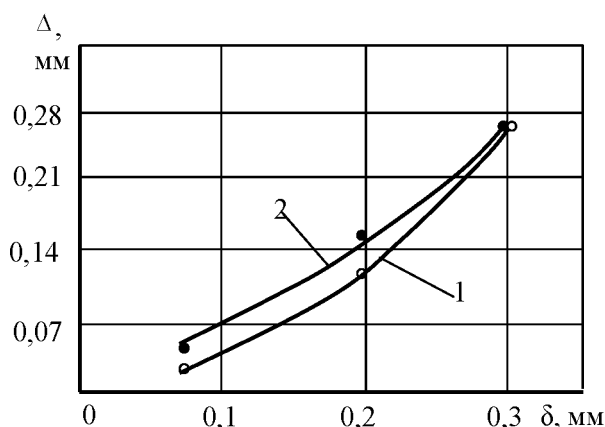


Рис. 5. Зависимость разбивки отверстия от осевого биения режущих кромок на скоростях резания 1 - V = 4,32 м/мин, 2 - V = 5,53 м/мин и подаче S = 0,2 мм/об

Аппроксимация кривой 1 (рисунок 5) позволила получить уравнение

$$\Delta = 2,89\delta^{1,97} \tag{5}$$

Аппроксимация кривой 2 (рисунок 5) позволила получить уравнение

$$\Delta = 1,54\delta^{1,45} \tag{6}$$

В таблице 9 показано соответствие рассчитанных по зависимостям (5) и (6) данными с фактическими результатами исследований.

Таблица 9

Зависимость (1)				Зависимость (2)			
№	Δ факт.	Δ расч.	%	№	Δ факт.	Δ расч.	%
1	0,02	0,0199	0,5	1	0,04	0,0395	1,25
2	0,12	0,121	0,83	2	0,15	0,149	0,66
3	0,27	0,269	0,37	3	0,27	0,269	0,37

В таблице 9 видно высокое соответствие рассчитанных по зависимостям (5) и (6) значений разбивки отверстий с фактическими экспериментальными данными. Погрешность расчетов не превышает 1,25%.

Выше на основании лабораторных исследований разработана зависимость (4) для расчета разбивки отверстий в зависимости от параметров режима резания

$$\Delta = 0,0065V^{2,8} S^{1,8475} \tag{4}$$

В результате несложных математических операций с зависимостями (4) (5) и (6) получены зависимости для расчета разбивки обрабатываемых отверстий, учитывающие параметры режима резания и осевое биение режущих кромок

$$\Delta = 0,937\delta^{1,97} V^{2,8} S^{1,8475} \tag{7}$$

$$\Delta = 0,2525\delta^{1,45} V^{2,8} S^{1,8475} \tag{8}$$

Зависимость (7) для скорости резания 4,32 м/мин и подачи 0,2 мм/об, зависимость (8) для скорости резания 5,53 м/мин и подачи 0,2 мм/об.

В таблице 10 представлены фактические и рассчитанные по формулам (7) и (8) значения разбивки отверстий и погрешности расчетов.

Таблица 10

Зависимость (4)					Зависимость (5)				
№	δ, мм	Δ факт.	Δ расч.	%	№	δ, мм	Δ факт.	Δ расч.	%
1	0,08	0,02	0,0198	1,0	1	0,08	0,04	0,0398	1,5
2	0,2	0,12	0,121	0,83	2	0,2	0,15	0,1503	0,22
3	0,3	0,27	0,269	0,37	3	0,3	0,27	0,2706	0,23

В таблице 10 видно высокое соответствие рассчитанных по зависимостям (7) и (8) значений разбивки отверстий с фактическими экспериментальными данными. Погрешность расчетов не превышает 1, 5%.

В таблице 11 представлены значения шероховатости поверхности отверстий при различных: осевых биениях режущих кромок, скоростях резания и подачах.

Таблица 11

V, м/мин	δ, мм	S, мм/об					
		0,078	0,1	0,13	0,16	0,20	0,25
4,32	0,3	Ra, мм					
			6,3	6,3	12,5	12,5	12,5
5,53	0,2	6,3	6,3	12,5	12,5	12,5	12,5
4,32		3,2	3,2	6,3	6,3	6,3	
5,53	0,08	3,2	3,2	3,2	6,3	6,3	6,3
4,32		1,25	1,25	1,25	1,60	1,60	
5,53		1,25	1,25	1,25	1,25	1,60	1,60

Как видно в таблице 11 шероховатость поверхности отверстий зависит от параметров режима резания, увеличивается с увеличением скорости резания и подачи, при этом существенное влияние на шероховатость поверхности отверстий оказывает осевое биение режущих кромок. На рисунке 6 представлен характер зависимости шероховатости поверхности отверстий от осевого биения режущих кромок при работе на скоростях резания V = 5,53 м/мин и V = 4,32 м/мин и на подачах S = 0,25 мм/об и S = 0,2 мм/об.

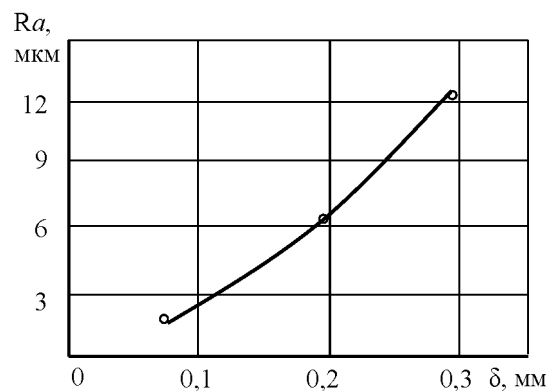


Рис. 6. Зависимость шероховатости поверхности обработанных отверстий от осевого биения режущих кромок

Аппроксимация кривой графика представленного на рисунке 6 позволила получить зависимость

$$Ra = 81,3\delta^{1,57} \tag{9}$$

В таблице 12 приведены фактические и рассчитанные по зависимости (9) значения шероховатости поверхностей обработанных отверстий и погрешность расчетов.

Таблица 12

№	δ , мм	Ra факт., мм	Ra расч., мм	% погр.
1	0,08	1,6	1,54	3,75
2	0,2	6,3	6,5	3,17
3	0,3	12,5	12,28	1,76

Как видно в таблице 12 соответствие фактических и рассчитанных по зависимости (9) значений шероховатости высокое, погрешность расчетов не превышает 3,75%.

В результате несложных математических операций с зависимостями (4) и (9) получены зависимости для расчета шероховатости поверхности обрабатываемых отверстий, учитывающие параметры режима резания и осевое биение режущих кромок

$$Ra = 26,65\delta^{1,57}V^{2,8} S^{1,8475} \tag{10}$$

$$Ra = 13,35\delta^{1,57}V^{2,8} S^{1,8475} \tag{11}$$

Зависимость (10) для скорости резания 4,32 м/мин, зависимость (11) для скорости резания 5,53 м/мин, при подаче 0,2 мм/об. В таблице 13 приведены фактические и рассчитанные по зависимостям (10) и (11) значения шероховатости поверхностей обработанных отверстий и погрешность расчетов.

Таблица 13

№	δ , мм	Ra факт., мм	Ra расч., мм	% погр.
1	0,08	1,6	1,555	2,8
2	0,2	6,3	6,5	3,17
3	0,3	12,5	12,38	0,97

Как видно в таблице 13 соответствие фактических и рассчитанных по зависимостям (10) и (11) значений шероховатости высокое, погрешность расчетов не превышает 3,17%.

В таблице 14 представлены значения перпендикулярности оси отверстий относительно технологических баз.

Таблица 14

V, м/мин	δ , мм	S, мм/об					
		0,078	0,1	0,13	0,16	0,20	0,25
		\perp , мм					
4,32	0,3		0,17	0,18	0,2	0,26	0,42
5,53		0,11	0,17	0,2	0,26	0,28	0,51
4,32	0,2		0,07	0,1	0,14	0,12	0,18
5,53		0,07	0,12	0,11	0,13	0,16	0,18
4,32	0,08		0,01	0,01	0,01	0,02	0,03
5,53		0,01	0,01	0,02	0,02	0,03	0,05

Как видно в таблице 14 осевое биение режущих кромок оказывает существенное влияние на перпендикулярность оси отверстий. В принятом диапазоне изменения осевого биения перпендикулярность оси отверстий изменяется на порядок, например на скорости резания 5,53 м/мин – от 0,51мм до 0,05 мм. При всех значениях осевого биения режущих кромок на перпендикулярность оси отверстий оказывают существенное и однозначное влияние скорость резания и подача. С увеличением скорости резания и подачи значения перпендикулярности оси отверстий увеличиваются. При этом, как видно в таблице 14, при осевом биении режущих кромок сверл 0,08 мм, на скоростях резания 5,53 м/мин и 4,32 м/мин и подачах 0,2 и 0,25 значения перпендикулярности оси отверстий соответствуют требованиям, предъявляемым к деталям технологической оснастки, представленным в таблице 2. На рисунке 7 показан характер изменения перпендикулярности отверстий при изменении осевого биения режущих кромок сверл на скоростях резания 4,2 м/мин и 5,53 м/мин и подаче 0,2 мм/об.

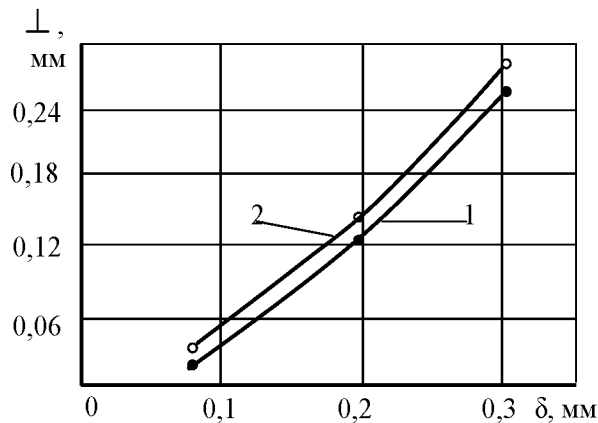


Рис. 7. Влияние осевого биения режущих кромок сверл на перпендикулярность оси отверстий, где 1 – скорость резания 4,32 м/мин, 2 – 5,53 м/мин.

Аппроксимация кривой 1 рисунка 7 позволила получить зависимость

$$\perp = 2,688\delta^{1,934} \tag{12}$$

Аппроксимация кривой 2 рисунка 7 позволила получить зависимость

$$\perp = 2,125\delta^{1,684} \tag{13}$$

В таблице 15 представлены фактические и рассчитанные по зависимостям (12) и (13) значения перпендикулярности оси отверстий и погрешности расчетов.

Таблица 15

Зависимость (3.12)				Зависимость (3.13)			
№	⊥ факт.	⊥ расч.	%	№	⊥ факт.	⊥ расч.	%
1	0,02	0,0203	1,5	1	0,03	0,03004	0,12
2	0,12	0,1195	0,42	2	0,14	0,1405	0,38
3	0,26	0,2619	0,73	3	0,28	0,278	0,65

В таблице 15 видно высокое соответствие фактических и рассчитанных по зависимостям (12) и (13) данных, погрешность расчетов не превышает 1,5%. В результате несложных математических операций с зависимостями (4) (12) и (13) получены математические зависимости для расчета перпендикулярности оси обрабатываемых отверстий, учитывающие параметры режима резания и осевое биение режущих кромок

$$\perp = 0,868\delta^{1,934} V^{2,8} S^{1,8475} \tag{14}$$

$$\perp = 0,344\delta^{1,684} V^{2,8} S^{1,8475} \tag{15}$$

Зависимость (14) учитывает параметры режима резания $V = 4,32$ м/мин, $S = 0,2$ мм/об, $S = 0,25$ мм/об. Зависимость (15) - $V = 5,53$ м/мин, $S = 0,2$ мм/об.

В таблице 16 представлены фактические и рассчитанные по формулам (14) и (15) значения перпендикулярности оси отверстий и погрешности расчетов.

Таблица 16

V = 4,32 м/мин, S = 0,2 мм/об				V = 4,32 м/мин, S = 0,25 мм/об				V = 5,53 м/мин, S = 0,2 мм/об			
№	⊥ факт.	⊥ расч.	%	№	⊥ факт.	⊥ расч.	%	№	⊥ факт.	⊥ расч.	%
1	0,02	0,0202	0,94	1	0,03	0,0304	0,12	1	0,03	0,03004	0,12
2	0,12	0,1188	1,0	2	0,18	0,179	0,1	2	0,14	0,1405	0,38
3	0,26	0,2602	0,08	3	0,4	0,393	1,75	3	0,28	0,278	0,65

В таблице (16) видно высокое соответствие фактических и рассчитанных по зависимостям (14) и (15) данных, погрешность расчетов не превышает 1,75%.

Представленные выше результаты исследований позволили разработать математическую модель учитывающую показатели качества отверстий, представленные в таблице 1.

$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta = 0,937\delta^{1,97} V^{2,8} S^{1,8475} \quad (7) \\ \Delta = 0,2525\delta^{1,45} V^{2,8} S^{1,8475} \quad (8) \\ Ra = 26,65\delta^{1,57} V^{2,8} S^{1,8475} \quad (10) \\ Ra = 13,35\delta^{1,57} V^{2,8} S^{1,8475} \quad (11) \\ \perp = 0,868\delta^{1,934} V^{2,8} S^{1,8475} \quad (14) \\ \perp = 0,344\delta^{1,684} V^{2,8} S^{1,8475} \quad (15) \end{array} \right.$$

В таблице 17 представлены нормативы параметров режима резания полученные с помощью разработанной математической модели на которых параметры качества обработанных сверлением отверстий соответствуют 9 – 7 качеству допуска размера отверстий при шероховатости поверхности Ra от 1,08 до 1,55 мкм.

Таблица 17

Квалитет допуска размера	δ , мм	V, м/мин	S, мм/об	Δ , мм	Ra, мкм	⊥, мм
9	0,08	5,53	0,2	0,04	1,55	0,03
	0,12	4,6	0,2	0,043	1,75	0,035
	0,15	3,65	0,2	0,043	2,6	0,04
8	0,08	4,8	0,2	0,027	1,05	0,02
	0,12	3,62	0,2	0,027	1,79	0,027
	0,15	3,095	0,2	0,027	1,64	0,027
7	0,08	4,15	0,2	0,018	1,39	0,018
	0,12	3,13	0,2	0,018	1,19	0,018
	0,15	2,67	0,2	0,018	1,08	0,018

В таблице 12 видно, что на всех режимах резания квалитет точности размера отверстий и шероховатость поверхности соответствует точному развертыванию [3]. Допуск перпендикулярности оси отверстий при 7 квалитете допуска размера соответствует требованиям к качеству отверстий технологической оснастки (таблица 1). При необходимости получения меньшего значения шероховатости поверхности, например Ra = 0,8 мкм (таблица 1), необходимо выполнить тонкое развертывание.

Выводы

1. Определены закономерности влияния параметров режима резания и осевого биения режущих кромок сверл на параметры качества просверленных отверстий.
2. Разработаны математическая модель, и нормативные таблицы параметров качества отверстий, обработанных сверлением, учитывающие осевое биение режущих кромок, и параметры режима резания на которых параметры качества отверстий диаметром свыше 10 до 18 мм, обработанных сверлением, соответствуют 9 – 7 качеству точности размеров при шероховатости поверхности Ra от 1,08 до 1,55 мкм, и перпендикулярности оси отверстий относительно технологических баз от 0,018 до 0,04.

Литература

1. Рагрин Н.А. Обработка материалов и инструменты / Н.А. Рагрин: Учебник – Бишкек: Текник, 2012. – 156 с.
2. Рагрин Н.А., Пути повышения качества обработки сверлением / Н.А. Рагрин, А.А. Айнабекова. – Бишкек: Известия КГТУ им. И. Раззакова, 2012. - № 27. - С.42-43.
3. Справочник технолога-машиностроителя. Т. 2. / Под ред. А.М. Дальского, А.Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова, А.Г. Сулова. - 5-е издание исправленное. – М.: Машиностроение, 2003. – 912 с., ил.
4. Рагрин Н. А., Научные основы повышения качества поверхности обработанной быстрорежущими спиральными сверлами / Н.А. Рагрин, А.А. Айнабекова, У.М. Дыйканбаева. – М.: Технология машиностроения, 2017. - № 5. - С. 13-16.
5. Рагрин Н.А. Определение закономерностей влияния погрешностей заточки спиральных сверл на их стойкость / Н.А. Рагрин, В.А. Самсонов, А.А. Айнабекова. – М.,: Технология машиностроения, 2015. - № 7. - С. 27-31.
6. ГОСТ 10903-77 Сверла спиральные с коническим хвостовиком. Основные размеры.
7. ГОСТ 4010-77 Сверла спиральные с цилиндрическим хвостовиком. Короткая серия. Основные размеры.
8. ГОСТ 2034-80 Сверла спиральные. Технические условия.
9. Рагрин Н.А. Разработка стойкостной модели обеспечения безотказности быстрорежущих спиральных сверл для типа производства / Н.А. Рагрин. – М.: Научная мысль, 2017. № 1. – С. 4-14.
10. Рагрин Н.А. Разработка критериальных зависимостей быстрорежущих спиральных сверл / Н.А. Рагрин. – М.: Научная мысль, 2016. № 1. - С. 39-50.
11. Рагрин Н.А., Разработка путей и методов повышения качества отверстий при сверлении / Н.А. Рагрин, А.А. Айнабекова, А.О. Озгонбеков. – М.: Технология машиностроения, 2018. - № 6. - С. 10-15.