

УДК 621.951.45  
DOI: 10.36979/1694-500X-2022-22-8-127-134

## РАЗРАБОТКА И ОБОСНОВАНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ОБРАБОТКИ ОТВЕРСТИЙ СПИРАЛЬНЫМИ СВЕРЛАМИ

*Н.А. Рагрин, А.А. Айнабекова, Б.Б. Доргоев*

**Аннотация.** Технологический процесс обработки отверстий высокой точности и относительно малого диаметра, помимо сверления, содержит несколько переходов: рассверливание, черновое и чистовое зенкерование, нормальное, точное и тонкое развертывание. Трудоемкость обработки таких отверстий довольно высокая. Одним из путей существенного снижения трудоемкости является повышение качества отверстий, обработанных спиральными сверлами. Обосновано снижение трудоемкости обработки отверстий высокой точности за счет повышения качества отверстий, обработанных сверлением. Экспериментально определены скорости резания, на которых нарост на режущих кромках сверл отсутствует; проведен анализ погрешностей заточки стандартных быстрорежущих спиральных сверл; определены режимы и условия процесса обработки, позволяющие повысить качество отверстий, просверленных быстрорежущими спиральными сверлами; определены показатели качества, разработаны математические зависимости для их расчета.

**Ключевые слова:** сверло; отверстие; шероховатость; качество; скорость резания; подача.

---

## СПИРАЛЬ ТҮРҮНДӨ БУРГУЛАР МЕНЕН ТЕШИКТЕРДИ ИШТЕТҮҮНҮН САПАТЫН ЖОГОРУЛАТУУНУН МЫЙЗАМЧЕНЕМДҮҮЛҮКТӨРҮН ИШТЕП ЧЫГУУ ЖАНА НЕГИЗДӨӨ

*Н.А. Рагрин, А.А. Айнабекова, Б.Б. Доргоев*

**Аннотация.** Бургулоодон тышкары, жогорку тактыктагы жана салыштырмалуу кичинекей диаметрдеги тешиктерди иштетүү процесси бир нече өткөөлдөрдү өзүнө камтыйт: диаметрин чоңойтуу, зенекер менен таза эмес жана таза иштетүү, кадимки, так жана кылдат жайгаштыруу. Мындай тешиктерди иштетүү көп эмгекти талап кылат. Эмгекти олуттуу кыскартуу ыкмаларынын бири — спираль түрүндө бургулар менен иштетилген тешиктердин сапатын жакшыртуу. Бургулоо жолу менен иштетилүүчү тешиктердин сапатын жогорулатуунун эсебинен жогорку тактыктагы көзөнөктөрдү иштетүүгө кеткен эмгектин төмөндөшү негизделди. Бургулоонун кесүүчү четтеринде өсүш жок болгон кесүү ылдамдыгы эксперименталдык түрдө аныкталды; стандарттуу жогорку ылдамдыктагы спираль бургуларды курчутуудагы каталарга талдоо жүргүзүлдү; жогорку ылдамдыктагы спираль бургулар менен бургуланган тешиктердин сапатын жогорулатууга мүмкүндүк берүүчү иштетүү процессинин режимдери жана шарттары аныкталды; сапаттык көрсөткүчтөрү аныкталды, аларды эсептөө үчүн математикалык көз карандылыктар иштелип чыкты.

**Түйүндүү сөздөр:** бургу; тешик; жылма эместик; сапаты; кесүү ылдамдыгы; берүү.

---

## DEVELOPMENT AND JUSTIFICATION OF REGULARITIES OF INCREASING THE QUALITY OF HOLING WITH TWIST DRILLS

*N.A. Ragrin, A.A. Ainabekova, B.B. Dorgoev*

**Abstract.** The technological process of machining holes of high accuracy and relatively small diameter, in addition to drilling, contains several transitions: reaming, roughing and finishing countersinking, normal, precise and thin reaming. The complexity of processing such holes is quite high. One way to significantly reduce labor intensity is to improve the quality of holes processed with twist drills. The presented work solves an urgent problem: reducing the complexity of processing high-precision holes by improving the quality of holes machined by drilling. In work: experimentally

determined cutting speeds at which there is no built-up on the cutting edges of drills; an analysis of the sharpening errors of standard high-speed twist drills was carried out; the modes and conditions of the processing process are experimentally determined, which make it possible to improve the quality of holes drilled with high-speed twist drills, quality indicators are determined, and mathematical dependencies for their calculation are developed.

*Keywords:* drill; hole; roughness; quality; cutting speed; feed.

Проведен анализ показателей качества отверстий диаметром от 10 до 20 мм технологической оснастки: штампов, пресс-форм, лит-форм, применяемых на предприятиях г. Бишкек (таблица 1), позволяющий сделать вывод об их высокой точности.

Таблица 1 – Показатели качества отверстий технологической оснастки

Диаметр, мм	Квалитет допуска	Шероховатость Ra, мкм	Назначение отверстия
10–13	7	0,8	Под знаки
14–16	9–7	0,8	Под выталкиватели
16–20	7	0,8	Под направляющие втулки

Технологический процесс обработки отверстий высокой точности и относительно малого диаметра, помимо сверления, содержит несколько переходов: рассверливание, черновое и чистовое зенкование, нормальное, точное и тонкое развертывание. В связи с этим, и с учетом многократно возросшей стоимости осевых инструментов, трудоемкость обработки таких отверстий довольно высока, что отрицательно сказывается на стоимости оснастки и изготавливаемых на ней изделий. Одним из путей существенного снижения трудоемкости является повышение качества отверстий, обработанных спиральными сверлами. Поэтому представленная работа решает актуальную проблему: снижение трудоемкости обработки отверстий высокой точности за счет повышения качества отверстий, обработанных сверлением.

На основании анализа литературных источников и в соответствии с целью исследований разработаны задачи исследований:

1. Экспериментально определить скорости резания, на которых нарост на режущих кромках сверл отсутствует.
2. Провести анализ погрешностей заточки стандартных быстрорежущих спиральных сверл с целью определения возможности их использования для повышения качества просверленных отверстий.
3. Экспериментально определить режимы и условия процесса обработки отверстий быстрорежущими спиральными сверлами, позволяющие повысить качество просверленных отверстий с целью снижения общей трудоемкости обработки отверстий высокой точности, определить показатели качества просверленных отверстий, разработать математические зависимости для их расчета.

Известно, что быстрорежущие спиральные сверла работают на скоростях резания активного образования нароста [1] (рисунок 1). Отделившиеся частицы нароста царапают обработанную поверхность отверстий и привариваются к ней, чем значительно ухудшают ее шероховатость.

Общепринятый технологический метод улучшения шероховатости обработанной поверхности предусматривает увеличение скорости резания выше предела активного образования нароста. Увеличение скорости резания стандартными быстрорежущими спиральными сверлами сопровождается значительным увеличением разбивки обработанных отверстий (рисунок 2), что отрицательно сказывается на качественных показателях обработанной поверхности отверстий и не позволяет применить общепринятый технологический метод.

Анализ литературных источников позволил сделать вывод об отсутствии у исследователей единого мнения о наличии нароста при работе на низких скоростях резания. Результаты исследований характера образования нароста на режущих кромках быстрорежущих спиральных сверл отсутствуют.

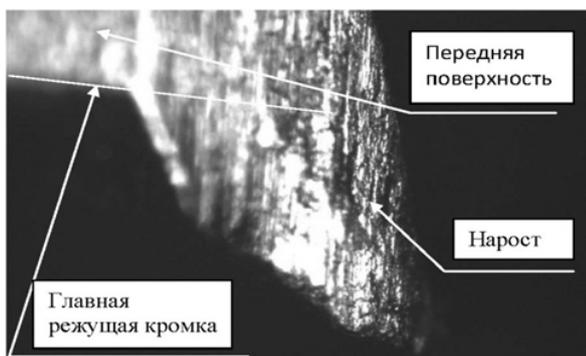


Рисунок 1 – Нарост на уголке сверла

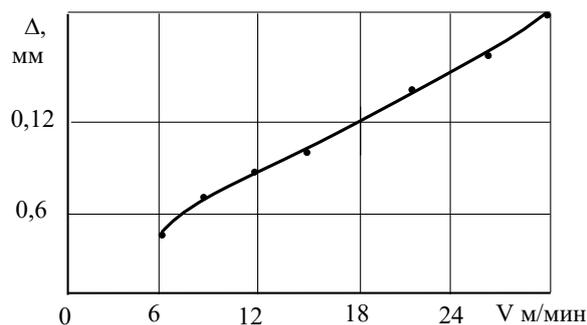


Рисунок 2 – Зависимость разбивки отверстия от скорости резания



Рисунок 3 – Экспериментальный стенд



Рисунок 4 – Оптическое приспособление

Это послужило основанием для проведения настоящих исследований. Точили заготовки из стали 45 уголком спирального сверла, закрепленным в резцедержателе токарного станка (рисунок 3). Измерение величины нароста осуществляли на станке с применением оптического приспособления (рисунок 4).

Получена зависимость высоты нароста от скорости резания (рисунок 5), на которой на скоростях резания, меньших 6 м/мин, нарост отсутствует. Анализ результатов исследований и априорной информации (рисунок 6) позволил сделать вывод, что на этих скоростях резания температура резания примерно равна 200 °С.

Анализ априорной информации показал, что при температуре меньшей 200 °С пластичность стали растет, а предел прочности падает (рисунок 7), что подтверждено исследованиями сотрудников кафедры Технологии машиностроения КГТУ [2] (рисунок 8).

Измеряли твердость заготовок из стали 45 с различной температурой. Исследования позволили определить температуру в пределах 200 °С, при которой снижение твердости имеет место [1].

Как было показано выше (рисунок 2), на разбивку обрабатываемых отверстий существенно влияет скорость резания. Такое влияние является следствием конструктивных особенностей спиральных сверл, у которых один зуб имеет отличия от другого в пределах величины допусков их конструктивных элементов и геометрических параметров, что приводит к эксцентricности рабочей части сверла и увеличению ее колебаний с увеличением частоты вращения.

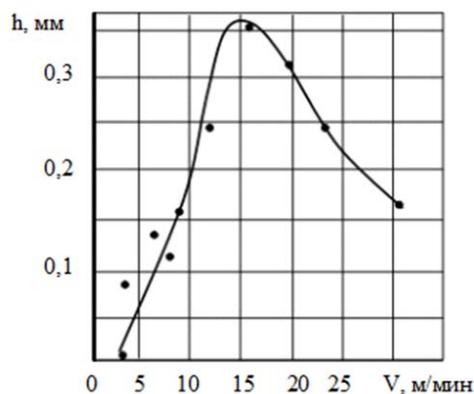


Рисунок 5 – Зависимость высоты нароста на уголках сверла от скорости резания

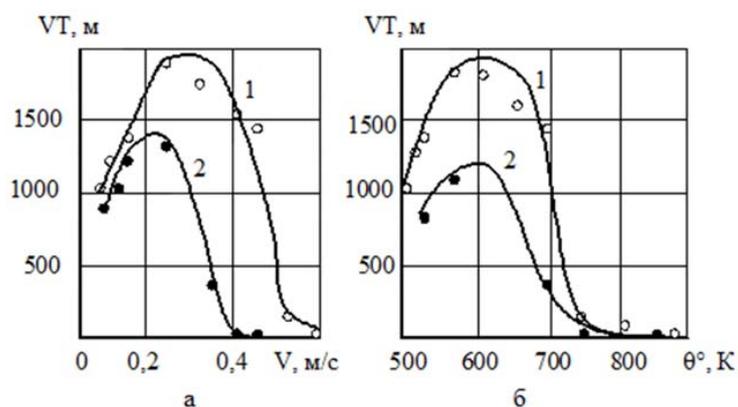


Рисунок 6 – Зависимость пути резания от скорости резания (а) и температуры резания (б):  
1 – толщина среза  $\alpha = 0,1$  мм; 2 –  $\alpha = 0,3$  мм

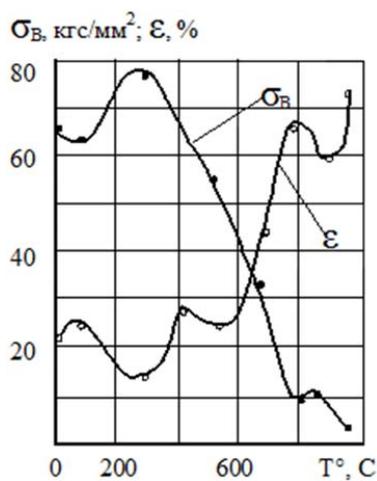


Рисунок 7 – Влияние температуры на прочность стали:  
 $\epsilon$  – пластичность;  $\sigma_B$  – предел прочности

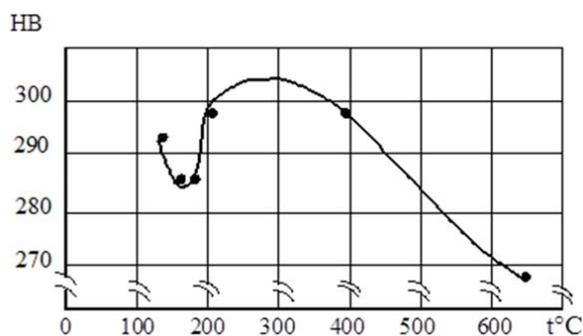


Рисунок 8 – Зависимость твердости (НВ) заготовки из стали 45 от температуры

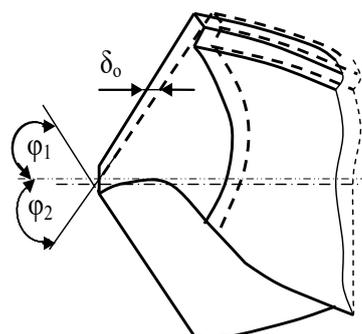


Рисунок 9 – Смещение поперечной кромки и неравенство углов в плане

Проведен анализ погрешностей заточки рабочей части стандартных спиральных сверл в пределах допусков на геометрические параметры (рисунок 9).

Основное влияние на качество обработанных отверстий оказывают погрешности, вызванные неравенством углов в плане и смещением поперечной кромки. Эти погрешности приводят к наличию осевого биения режущих кромок, допуск которого регламентирован для сверл различного класса точности в пределах от 0,11 до 0,3 мм (таблица 2) и проверяется посередине режущих кромок сверла. Это значит, что для сверл диаметром от 10 до 20 мм максимального класса точности А1 осевое биение на уголке сверла может быть равным 0,22 мм. В этом случае при рекомендуемой осевой подаче 0,23 мм/об сверло будет работать практически одним зубом.

Таблица 2 – Допуск осевого биения  $\delta_0$ . ГОСТ 2034–80

Диаметр сверла	Допуск осевого биения для сверл классов точности		
	А1	В1	В
10–20 мм	0,11	0,2	0,3

Это отрицательно скажется не только на качестве просверленных отверстий, но и на стойкости сверл, которая значительно зависит от величины подачи (рисунок 10).

Проведенный анализ позволяет сделать вывод о невозможности использования стандартных сверл для повышения качества просверленных отверстий без специальной заточки режущей части.

Для проведения дальнейших исследований была выбрана двухплоскостная заточка рабочей части сверл (рисунок 11), позволяющая устранить указанные недостатки стандартной заточки. Определены параметры режима резания сверл.

Для проведения исследований использовали прецизионный вертикально фрезерный станок модели 675П. Для контроля осевого биения режущих кромок сверл, установленных в шпинделе станка, использовали микрометр часового типа, установленный на магнитном штативе. Контроль диаметра просверленных отверстий осуществляли нутромером, шероховатость поверхности – прибором для измерения шероховатости поверхности MarSurf M 400 (рисунок 12).

Использовали сверла класса точности В с осевым биением 0,3 мм, класса точности В1 с осевым биением 0,2 мм и класса точности А1 с осевым биением 0,08 мм. Сверла классов точности В и В1 имели стандартную коническую заточку режущей части. Сверла класса точности А1 затачивались по двухплоскостной заточке на прецизионном универсальном заточном станке мод. 3Д641Е с доводкой алмазным инструментом. Поверхности отверстий, просверленных сверлами с стандартной и двухплоскостной заточкой существенно различаются даже при оценке невооруженным глазом [3] (рисунок 13).

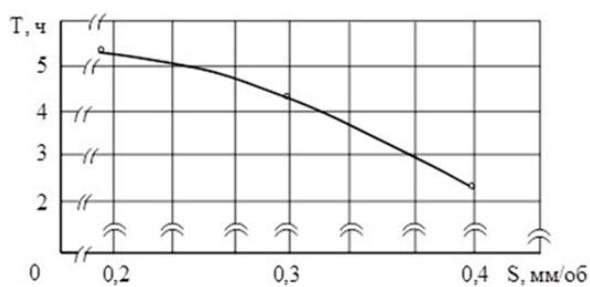


Рисунок 10 – Зависимость стойкости сверл диаметром от подачи

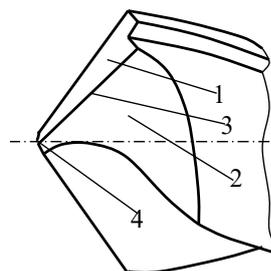


Рисунок 11 – Двухплоскостная заточка режущей части



Рисунок 12 – Прибор для измерений шероховатости поверхности MarSurf M 400



1



2

Рисунок 13 – Качество обработанных поверхностей:  
1 – сверлом с конической заточкой; 2 – сверлом с двухплоскостной заточкой

Исследование влияния режимов и условий процесса обработки отверстий на показатели качества обработанной поверхности отверстий показало, что скорость резания и подача не оказывают существенного влияния на шероховатость поверхности отверстий (таблица 3) и качество допуска (таблица 4). Основное влияние на показатели качества поверхности отверстий оказывает осевое биение режущих кромок.

Таблица 3 – Шероховатость поверхности отверстий

V, м/мин	δ <sub>о</sub> , мм	S, мм/об					
		0,25	0,20	0,16	0,13	0,1	0,078
		Ra, мкм					
5,53	0,3	12,5	6,6	12,0	12,3	12,1	6,7
4,32		6,3	12,5	12,0	6,8	12,7	
5,53	0,2	6,3	3,0	6,1	3,3	6,2	3,2
4,32		3,0	6,1	3,2	6,0	6,3	
5,53	0,08	0,87	0,15	0,44	0,94	0,86	0,62
4,32		0,26	0,63	0,23	0,11	0,68	

Таблица 4 – Качество допуска

V, м/мин	δ <sub>о</sub> , мм	S, мм/об					
		0,25	0,20	0,16	0,13	0,1	0,078
		Квалитет допуска					
5,53	0,3	13	13	13	13	13	
4,32		13	13	13	13	14	13
5,53	0,2	10	10	10	9	9	9
4,32		10	9	8	9	8	
5,53	0,08	9	8	7	0	0	0
4,32		8	8	0	0	0	

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

$$\Delta = 1,54\delta o^{1,45}. \tag{2}$$

Степень влияния осевого биения режущих кромок на шероховатость поверхности отверстий и на качество допуска примерно одинаковая. Это подтверждается результатами аппроксимации графиков зависимостей шероховатости (рисунок 14) и качества допуска (рисунок 15) от осевого биения режущих кромок сверл. Полученные математические выражения (1) и (2) имеют примерно равные величины степеней при осевом биении режущих кромок.

Степень влияния осевого биения режущих кромок на шероховатость поверхности отверстий больше чем на качество допуска. Это подтверждается результатами аппроксимации графиков зависимостей шероховатости и качества допуска от осевого биения режущих кромок сверл. Первое математическое выражение имеет значительно большую величину степени при осевом биении режущих кромок по сравнению со вторым математически выражением.

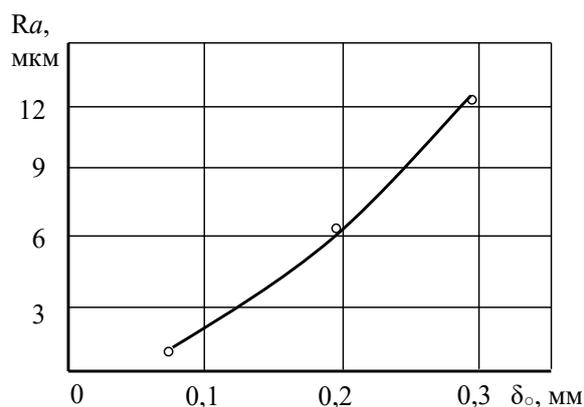


Рисунок 14 – Зависимость шероховатости поверхности обработанных отверстий от осевого биения режущих кромок на скорости резания  $V = 4,32$

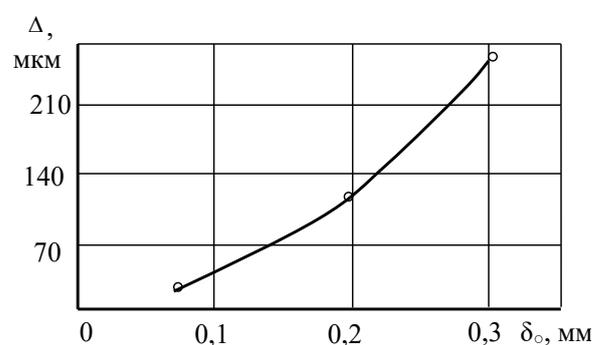


Рисунок 15 – Зависимость качества точности от осевого биения режущих кромок на скорости резания  $V = 4,32$  м/мин, подаче 0,25 мм/об

**Выводы.** Экспериментально определено отсутствие нароста на режущих кромках спиральных сверл на скоростях резания, меньших 6 м/мин. Анализ погрешностей заточки стандартных быстрорежущих спиральных сверл позволяет сделать вывод о невозможности их использования для повышения качества просверленных отверстий без специальной заточки режущей части.

Сверление стандартными сверлами класса точности А1 с двухплоскостной заточкой режущей части на скоростях резания 5,54 и 4,32 м/мин на прецизионном оборудовании позволяет получить просверленные отверстия с шероховатостью поверхности  $Ra$  0,8 мкм 8 качества точности, что значительно снижает трудоемкость обработки отверстий высокой точности за счет исключения чернового и чистового зенкерования и нормального развертывания. Разработаны математические зависимости для расчета показателей качества просверленных отверстий.

Поступила: 19.04.22; рецензирована: 03.05.22; принята: 06.05.22.

#### Литература

1. Рагрин Н.А. Научные основы повышения качества поверхности, обработанной быстрорежущими спиральными сверлами / Н.А. Рагрин, А.А. Айнабекова, У.М. Дыйканбаева // Технология машиностроения. М., 2017. № 5. С. 13–16.
2. Рагрин Н.А. Закономерности повышения качества поверхности отверстий, обработанных сверлением / Н.А. Рагрин, А.А. Айнабекова // Вестник КPCУ. 2017. Том 17. № 1. С. 92–94.
3. Рагрин Н.А. Разработка путей и методов повышения качества отверстий при сверлении / Н.А. Рагрин, А.А. Айнабекова, А.О. Озгонбеков // Технология машиностроения. М., 2018. № 6. С. 10–15.