

УДК 621.951.45

## ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ОТВЕРСТИЙ

*Н.А. Рагрин, У.М. Дыйканбаева, А.А. Айнабекова, Д.М. Курганова*

Представлены результаты лабораторных исследований, направленных на повышение качества поверхностного слоя отверстий, обработанных сверлением за счет уменьшения глубины дефектного слоя и величины степени наклепа в результате варьирования параметрами режима резания. Определено, что параметры режима резания прямо пропорционально влияют на степень наклепа обработанной поверхности, при этом в большей степени влияет подача. При увеличении скорости резания и подачи степень наклепа обработанной поверхности возрастает до 75 %, что негативно сказывается на стойкости режущего инструмента. Скорость резания обратно пропорционально влияет на глубину дефектного слоя отверстий, подача – прямо пропорционально.

*Ключевые слова:* сверло; отверстие; наклеп; поверхностный слой; скорость резания; подача.

---

## ТЕШИКТЕРДИН ҮСТҮҢКҮ КАТМАРЫНЫН САПАТЫН ЖОГОРУЛАТУУ

*Н.А. Рагрин, У.М. Дыйканбаева, А.А. Айнабекова, Д.М. Курганова*

Бул макалада кесүү режиминин параметрлерин өзгөртүүнүн натыйжасында бузулган катмардын тереңдигин жана мык менен бекитүү даражасынын чоңдугун азайтуунун эсебинен бургулоо жолу менен иштетилген тешиктердин үстүнкү катмарынын сапатын жогорулатууга багытталган лабораториялык изилдөөлөрдүн натыйжалары келтирилген. Кесүү режиминин параметрлери иштетилүүчү беттин бекитүү даражасына түздөн-түз пропорционалдуу таасир эте тургандыгы аныкталды, мында берүү көбүрөөк таасир этет. Кесүү жана берүү ылдамдыгынын жогорулашы менен иштетилген бетти бекитүү даражасы 75%ке чейин жогорулайт, бул кесүүчү аспаптын туруктуулугуна терс таасирин тийгизет. Кесүү ылдамдыгы тешиктердин бузулган катмарынын тереңдигине тескери пропорционалдуу, берүү түз пропорционалдуу.

*Түйүндүү сөздөр:* бургулоо; тешик; мык менен бекитүү; үстүнкү катмар; кесүү ылдамдыгы; берүү.

---

## INCREASING THE QUALITY OF THE SURFACE LAYER OF THE HOLES

*N.A. Ragrin, U.M. Dyikanbaeva, A.A. Ainabekova, D.M. Kurganova*

The paper presents the results of laboratory studies aimed at improving the quality of the surface layer of holes processed by drilling by reducing the depth of the defective layer and the magnitude of the degree of work hardening as a result of varying the parameters of the cutting mode. It has been determined that the parameters of the cutting mode have a direct proportional effect on the degree of work hardening of the machined surface, with the feed being influenced to a greater extent. With an increase in cutting speed and feed, the degree of work hardening of the machined surface increases to 75%, which will negatively affect the durability of the cutting tool. Cutting speed is inversely proportional to the depth of the defective layer of holes, feed is directly proportional.

*Keywords:* drill; hole; work hardening; surface layer; cutting speed; feed.

**Введение.** Сверление – единственный способ получения отверстий резанием, поэтому сверла являются одним из наиболее часто применяемых режущих инструментов. В общем объеме производства режущего инструмента наибольший удельный вес (около 30 %) занимают быстрорежущие спиральные сверла. На промышленных предприятиях быстрорежущие спиральные сверла составляют от 11,3 до 22,8 % от общего количества используемого инструмента.

Сверление всегда является первым технологическим переходом при обработке отверстий резанием, за которым следуют: рассверливание, черновое и чистовое зенкерование, нормальное, точное и тонкое развертывание, в зависимости 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 целью настоящих исследований является решения актуальной проблемы повышения качества отверстий, обработанных сверлением.

**Анализ проблемы.** Известно, что качество отверстий характеризуется такими показателями, как шероховатость поверхности, квалитет допуска, глубина дефектного поверхностного слоя, допустимые величины которых регламентированы справочником, в зависимости от вида обработки отверстий [1].

В работе [2] проведен анализ качества отверстий деталей технологической оснастки, применяемой на предприятиях г. Бишкек. Это – верхние и нижние, держатели матриц и пуансонов и т. п. Каждая из них имеет до десяти высокоточных отверстий диаметром от 10 до 20 мм седьмого квалитета с допустимой глубиной дефектного поверхностного слоя от 5 до 25 мкм. В работах [3, 4] на основании экспериментальных исследований обоснован путь повышения качества отверстий, обработанных сверлением, применением скоростей резания меньших 6 м/мин. 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. От силы резания зависит качество поверхностного слоя отверстий. В работе [5] показано существенное влияние осевого биения режущих кромок спиральных сверл на их стойкость. В работе [6] представлен характер влияния осевого биения режущих кромок спиральных сверл, в пределах установленных ГОСТом, на показатели качества просверленных отверстий. Показано, что для повышения качества отверстий, обработанных сверлением, необходимо повышать качество заточки режущей части сверл, уменьшать осевое биение режущих кромок. Обосновано, что применение двухплоскостной заточки задних поверхностей с последующей доводкой алмазным инструментом позволяет значительно снизить осевое биение режущих кромок.

В работе [6] показана возможность значительного улучшения качества отверстий, обработанных спиральными сверлами, при сверлении отверстий на скоростях резания 4,32–5,53 м/мин быстрорежущими спиральными сверлами с двухплоскостной заточкой задних поверхностей, у которых осевое биение режущих кромок, установленных в шпинделе станка, составляло 0,06 мм.

Одним из определяющих показателей качества отверстий является глубина дефектного поверхностного слоя, которая регламентирована справочником [1] и в деталях технологической оснастки [2] не превышает 25 мкм, что соответствует нормальному развертыванию [1].

Вместе с тем, справочник [1] рекомендует оценивать величину упрочнения поверхностного слоя обработанной поверхности степенью наклепа. Степень наклепа определяется из отношения разности максимальной поверхностной микротвердости после обработки и исходной микротвердости к исходной микротвердости обрабатываемого материала, помноженной на 100 % [1]. При этом, степень наклепа справочником [1] не регламентируется и в технической литературе отсутствуют результаты исследований, направленных на определение характера и степени влияния параметров режима резания на глубину и степень наклепа дефектного поверхностного слоя при обработке резанием. На основании представленного выше анализа существующего положения дел, и в соответствии с целью исследований, разработаны следующие задачи исследований:

- определить условия обработки отверстий, при которых влияние параметров режима резания на глубину дефектного поверхностного слоя и степень наклепа поверхности отверстий, обработанных сверлением, имеет место;
- определить характер влияния параметров режима резания на глубину дефектного поверхностного слоя и степень наклепа поверхности отверстий, обработанных сверлением.

Таблица 1 – Параметры режима резания

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

**Методы исследований.** В соответствии с целью исследований были проведены испытания быстрорежущих спиральных сверл диаметром 11,0 мм по ГОСТ [7] класса точности А1. Задние поверхности данных сверл затачивали по двухплоскостной заточке с доводкой алмазным инструментом на прецизионном оборудовании, после чего допуск осевого биения режущих кромок не превышал 0,06 мм. Сверлились сквозные отверстия глубиной 3d в заготовках из стали 45 180НВ. Для обеспечения перпендикулярности оси отверстий относительно технологических баз, обрабатываемые заготовки фрезеровались и шлифовались с шести сторон.

Осевое биение режущих кромок сверл, установленных в шпинделе станка, измеряли микрометром часового с ценой деления 0,01 мм, закрепленном на магнитном штативе, и не превышало 0,08 мм. Таким же микрометром измеряли разбивку отверстий.

Для сравнения были проведены испытания спиральных сверл с конической заточкой задних поверхностей по ГОСТ [7] классов точности В, у которых допуск осевого биения режущих кромок должен быть не более 0,3 мм. После установки в шпиндель станка осевое биение режущих кромок этих сверл составило 0,3 мм.

Параметры режима резания, которые использовали при проведении лабораторных исследований, представлены в таблице 1.

Чтобы обеспечить такие скорости резания и подачи (таблица 1), испытания проводили на широкоуниверсальном фрезерном станке повышенной точности модели 675П.

Для установления микроструктуры металла поверхностного слоя отверстий, поверхности заготовок были подвергнуты доводке и полировке с последующим травлением. Микроструктуру поверхностного слоя отверстий изучали на световом микроскопе Axio Imager A1m/M1m при 200 кратном увеличении.

Известно, что микротвёрдость – это твёрдость отдельных участков микроструктуры материала, отдельных фаз и структурных составляющих, твёрдость внутри отдельных зёрен (для конструкционных доэвтектоидных сталей – это зерна феррита и перлита). Поэтому использовать результаты измерения микротвёрдости для оценки влияния качества поверхностного слоя просверленных отверстий на стойкость металлорежущих инструментов представляется нецелесообразным. В работе [8] показано существенное влияние твердости обрабатываемого материала на стойкость быстрорежущих спиральных сверл. Поэтому в представленной работе проводили исследования влияния параметров режима резания на твердость обработанной поверхности в единицах HRC. Степень наклепа определяли по формуле (1).

$$\Delta H = \frac{HRC_{\text{оп}} - HRC_{\text{исх}}}{HRC_{\text{исх}}} 100 \%, \quad (1)$$

где  $HRC_{\text{оп}}$  – твердость обработанной поверхности;  $HRC_{\text{исх}}$  – исходная твердость материала.

**Результаты исследований.** На рисунке 1 приведена фотография микроструктуры металла поверхностного слоя отверстия.



Рисунок 1 – Фотография микроструктуры металла поверхностного слоя отверстия:  
 $\delta$  – глубина дефектного поверхностного слоя отверстий

Результаты анализа микроструктуры металла поверхностного слоя отверстий представлены в таблицах 2 и 3: в таблице 2 – коническая заточка задних поверхностей сверла, в таблице 3 – двухплоскостная заточка.

Данные таблицы 2 показывают, что при работе сверлами с конической заточкой задних поверхностей, не наблюдается влияния скорости резания и подачи на глубину дефектного поверхностного слоя отверстий.

При работе сверлами с двухплоскостной заточкой задних поверхностей, у которых осевое биение режущих кромок, установленных в шпинделе станка, составило 0,08 мм, имеет место характерное влияние скорости резания и подачи на глубину дефектного поверхностного слоя отверстий (таблица 3). Наблюдается уменьшение глубины дефектного поверхностного слоя отверстий с увеличением скорости резания (рисунок 2) и увеличение глубины дефектного поверхностного слоя отверстий с увеличением подачи (рисунок 3).

В таблицах 4 и 5 представлены результаты измерения твердости обработанной поверхности при работе сверлами с конической заточкой задних поверхностей (таблица 4), и сверлами с двухплоскостной заточкой задних поверхностей (таблица 5).

Данные таблиц показывают, что при большом осевом биении режущих кромок (таблица 4), параметры режима резания не влияют на твердость обработанной поверхности. При обработке сверл с двухплоскостной заточкой задних поверхностей, влияние параметров режима резания имеет место (таблица 5). Характер этого влияния представлен на рисунках 4 и 5.

На представленных рисунках видно, что параметры режима резания прямо пропорционально влияют на твердость обработанной поверхности, при этом влияние подачи происходит в большей степени.

В таблице 6 представлены результаты определения степени наклепа обработанной поверхности при варьировании скоростью резания и подачи.

Данные таблицы 6 показывают, что при увеличении скорости резания и подачи, степень наклепа обработанной поверхности возрастает до 75 %, что негативно сказывается на стойкости режущего инструмента.

Характер этого влияния представлен на рисунках 6 и 7.

На представленных рисунках видно, что параметры режима резания прямо пропорционально влияют на степень наклепа обработанной поверхности, при этом влияние подачи происходит в большей степени.

**Выводы.** Экспериментально определено, что влияние параметров режима резания на глубину дефектного поверхностного слоя и степень наклепа поверхности отверстий, обработанных сверлением, имеет место при сверлении сверлами с двухплоскостной заточкой режущих лезвий, осевое биение которых при установке в шпинделе станка не превышает 0,08 мм.

Скорость резания обратно пропорционально влияет на глубину дефектного поверхностного слоя отверстий, подача – прямо пропорционально.

Таблица 2 – Глубина дефектного поверхностного слоя отверстий, просверленных сверлами с конической заточкой задних поверхностей

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

Таблица 3 – Глубина дефектного поверхностного слоя отверстий, просверленных сверлами с двухплоскостной заточкой задних поверхностей

V, м/мин	S, мм/об					
	0,25	0,20	0,16	0,13	0,1	0,078
5,53	19,00	18,93	18,66	18,00	15,00	13,33
4,32	21,00	16,66	19,00	18,60	15,30	
3,45	22,60	21,00	21,30	16,00		
2,76	22,30	23,0	22,30			
2,18	0,25	0,25				

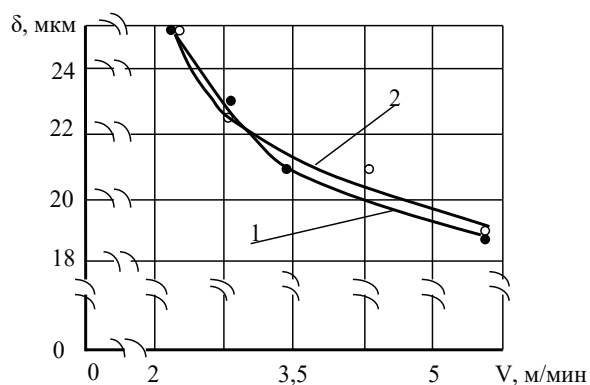


Рисунок 2 – Зависимость глубины дефектного поверхностного слоя от скорости резания при сверлении сверлами с двухплоскостной заточкой: 1 – подача 0,2 мм/об; 2 – 0,25 мм/об

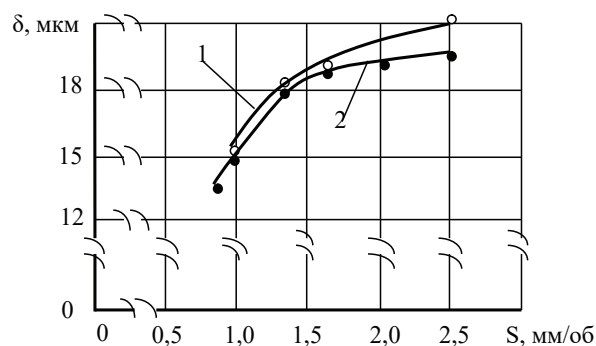


Рисунок 3 – Зависимость глубины дефектного поверхностного слоя от подачи при сверлении сверлами с двухплоскостной заточкой: 1 – V = 4,32 м/мин; 2 – V = 5,53 м/мин

Таблица 4 – Твердость обработанной поверхности сверлом с конической заточкой задних поверхностей

V, м/мин	S, мм/об					
	0,25	0,20	0,16	0,13	0,1	0,078
5,53	16,6	13,4	16	12	12,5	12,66
4,32	12,83	19,16	17,33	20,33	29,3	
3,45	13	12,7	11,43	14,83		
2,76	10,6	12,3	12			
2,18	11,66	11,5				

Таблица 5 – Твердость обработанной поверхности сверлом с двухплоскостной заточкой задних поверхностей

V, м/мин	S, мм/об					
	0,25	0,20	0,16	0,13	0,1	0,078
5,53	14,03	12,5	11,56	11	11,4	10,67
4,32	12,8	11,5	10,7	9,53	8,33	
3,45	12,3	11,7	11,06	9,43		
2,76	12,66	10,8	9,67			
2,18	12,2	11				

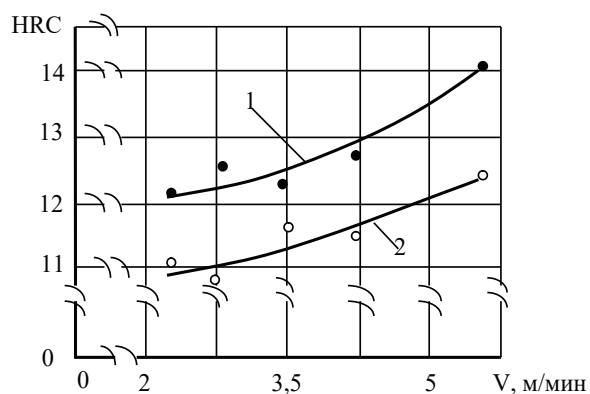


Рисунок 4 – Зависимость твердости обработанной поверхности от скорости резания:  
1 – S = 0,25 мм/об; 2 – S = 0,2 мм/об

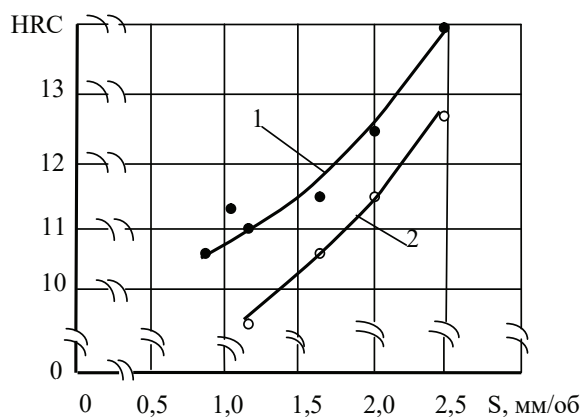


Рисунок 5 – Зависимость твердости обработанной поверхности от подачи:  
1 – V = 5,53 м/мин; 2 – V = 4,32 м/мин

Таблица 6 – Влияние скорости резания и подачи на степень наклепа обработанной поверхности сверлом с двухплоскостной заточкой задних поверхностей

V, м/мин	S, мм/об					
	0,25	0,20	0,16	0,13	0,1	0,078
5,53	75,4	56,25	44,5	37,5	42,5	33,37
4,32	60,0	43,75	33,75	19,1	4,12	
3,45	53,75	46,25	38,25	17,87		
2,76	58,25	35,0	20,87			
2,18	52,5	37,5				

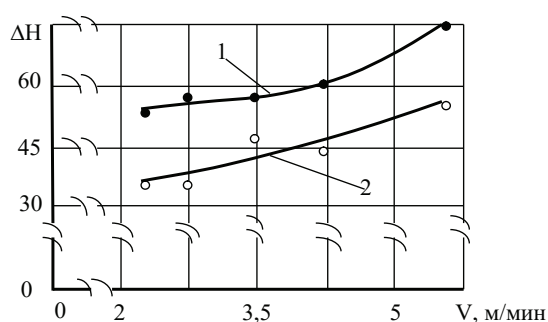


Рисунок 6 – Зависимость степени наклепа обработанной поверхности от скорости резания:  
1 – S = 0,25 мм/об; 2 – S = 0,2 мм/об

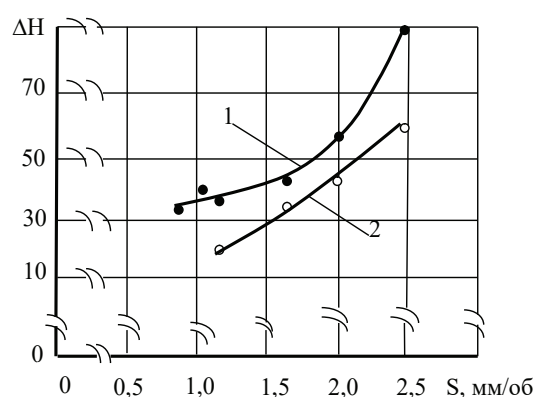


Рисунок 7 – Зависимость степени наклепа обработанной поверхности от подачи: 1 – V = 5,53 м/мин; 2 – V = 4,32 м/мин

Доказано, что параметры режима резания прямо пропорционально влияют на степень наклепа обработанной поверхности, при этом в большей степени влияет подача. При этом при увеличении скорости резания и подачи степень наклепа обработанной поверхности возрастает до 75 %, что негативно сказывается на стойкости режущего инструмента.

#### Литература

1. Справочник технолога-машиностроителя. Т. 1 / под ред.: А.М. Дальского, А.Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова, А.Г. Сулова. 5-е изд., испр. М.: Машиностроение, 2003. 910 с.
2. 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.
3. Рагрин Н.А. Закономерности повышения качества поверхности обработанной сверлением / Н.А. Рагрин, В.А Самсонов, А.А. Айнабекова // Вестник КРСУ. 2017. Том 17. № 1. С. 92–94.
4. 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.
5. Рагрин Н.А. Определение закономерностей влияния погрешностей заточки спиральных сверл на их стойкость / Н.А. Рагрин, В.А Самсонов, А.А. Айнабекова // Технология машиностроения. М., 2015. № 7. С. 27–31.
6. Рагрин Н.А. Разработка закономерностей влияния погрешностей заточки спиральных сверл на качество просверленных отверстий / Н.А. Рагрин, А.А. Айнабекова // Технология машиностроения. М., 2018. № 8. С. 40–47.
7. ГОСТ 2034–80 Сверла спиральные. Технические условия.
8. Рагрин Н.А. Влияние условий обработки на физическую модель износостойкости инструмента при сверлении / Н.А. Рагрин // Технология Машиностроения. М., 2013. № 12. С. 15–24.