

УДК 621.951.45
DOI: 10.36979/1694-500X-2022-22-4-79-85

ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ОТВЕРСТИЙ, ОБРАБОТАННЫХ СВЕРЛЕНИЕМ

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

Аннотация. Известно, что более 60 % деталей изделий, используемых в производственной и бытовой сфере, имеют отверстия. Большое количество отверстий высокой точности используется в подвижных соединениях, в которых особое значение имеет износостойкость отверстий, существенно влияющая на эксплуатационную надежность изделий. Разработаны эмпирические математические зависимости степени упрочнения поверхностного слоя просверленных отверстий от параметров режима резания. Определен метод оценки степени упрочнения поверхностного слоя просверленных отверстий. Разработана эмпирическая модель, позволяющая рассчитать степень упрочнения поверхностного слоя отверстий в зависимости от параметров режима резания.

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

БУРГУЛОО ЖОЛУ МЕНЕН ИШТЕТИЛГЕН ТЕШИКТЕРДИН БЕТТИК КАТМАРЫНЫН САПАТЫН КАМСЫЗ КЫЛУУ

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

Аннотация. Өнөр жай жана турмуш-тиричилик тармактарында колдонулган буюмдардын 60%дан ашыгынын тешиктери бар экендиги белгилүү. Кыймылдуу бириктирүүлөрдө көп сандаган жогорку тактыктагы тешиктер колдонулат, аларда тешиктердин эскирүүгө туруктуулугу өзгөчө мааниге ээ, мунун өзү алар колдонулган буюмдардын эксплуатациялык ишенимдүүлүгүнө олуттуу таасирин тийгизет. Бургуланган тешиктердин беттик катмарынын катуулануу даражасынын кесүү режиминин параметрлерине эмпирикалык математикалык көз карандылыктары иштелип чыккан. Бургуланган тешиктердин үстүнкү катмарынын катуулануу даражасын баалоо ыкмасы аныкталган. Кесүү режиминин параметрлерине жараша тешиктердин беттик катмарынын катуулануу даражасын эсептөөгө мүмкүндүк берүүчү эмпирикалык модель иштелип чыккан.

Түйүндүү сөздөр: бургулоо; тешик; кесүү ылдамдыгы; берүү; беттик катмар; катуулугу; катуулануу.

ENSURING THE QUALITY OF THE SURFACE LAYER OF DRILLING HOLES

N.A. Ragrin, U.M. Dyukanbaeva, D.M. Kurganova

Abstract. It is known that more than 60% of the parts of products used in the industrial and domestic spheres have holes. A large number of high-precision holes are used in movable joints, in which the wear resistance of the holes is of paramount importance, which significantly affects the operational reliability of the products in which they are used. Therefore, the problem of increasing the wear resistance of movable joints by hardening the surface layer of drilled holes is relevant. The following tasks were solved in the work: empirical mathematical dependences of the degree of hardening of the surface layer of drilled holes on the parameters of the cutting mode were developed, a method for estimating the degree of hardening of the surface layer of drilled holes was determined, an empirical model was developed that allows calculating the degree of hardening of the surface layer of holes depending on the parameters of the cutting mode.

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

Введение. Известно, что более 60 % деталей производственной и бытовой техники имеют отверстия. Большое количество высокоточных отверстий предназначено для подвижных соединений, например, с толкателями, направляющими колонками и т. п., технологической оснасткой: штампов, прессформ, литформ. Здесь большое значение имеет износостойкость отверстий подвижных соединений, существенно влияющая на эксплуатационную надежность изделий, в которых они используются. В результате исследований, представленных в работе [1], обоснована возможность повышения качества отверстий, полученных сверлением. Однако проблема повышения износостойкости подвижных соединений осталась открытой. Настоящие исследования посвящены решению актуальной проблемы повышения надежности изделий за счет повышения износостойкости подвижных соединений упрочнением поверхностного слоя просверленных отверстий.

В технической литературе отсутствуют результаты исследований влияния параметров режима резания на степень упрочнения поверхностного слоя просверленных отверстий. В работе [2] показано, что скорость резания и подача существенно влияют на глубину дефектного поверхностного слоя отверстий, обработанных сверлением, что позволяет предположить наличие зависимости степени упрочнения поверхностного слоя отверстий от параметров режима резания.

Справочником [3] регламентируется оценивать степень упрочнения поверхностного слоя деталей степенью наклепа, определяемой из отношения разности максимальной поверхностной микротвердости после обработки и исходной микротвердости обрабатываемого материала к исходной микротвердости обрабатываемого материала, помноженной на 100 %.

Известно, что микротвёрдость – это твёрдость отдельных участков микроструктуры материала, отдельных фаз и структурных составляющих, твёрдость внутри отдельных зёрен (для конструкционных дозвтектоидных сталей – это зерна феррита и перлита). Поэтому использовать результаты измерения микротвердости для оценки влияния качества поверхностного слоя просверленных отверстий на износостойкость подвижных соединений, представляется нецелесообразным.

Для решения этих проблем были разработаны задачи исследований:

- разработать эмпирические математические зависимости степени упрочнения поверхностного слоя просверленных отверстий от параметров режима резания;
- определить метод оценки степени упрочнения поверхностного слоя просверленных отверстий;
- разработать эмпирическую модель, позволяющую рассчитать степень упрочнения поверхностного слоя отверстий в зависимости от параметров режима резания.

Методы исследований. Для решения поставленных задач и в соответствии с целью исследований, были проведены испытания быстрорежущих спиральных сверл диаметром 11,0 мм по ГОСТ [4] 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. Сверлили сквозные отверстия глубиной 3d в заготовках из стали 45 180НВ. Осевое биение режущих кромок сверл, установленных в шпинделе станка, измеряли микрометром часового типа с ценой деления 0,01 мм, закрепленном на магнитном штативе, не превышало 0,08 мм.

В работе [5] показано существенное влияние твердости обрабатываемого материала на стойкость быстрорежущих спиральных сверл. Поэтому в настоящих исследованиях степень упрочнения поверхностного слоя просверленных отверстий определяли измерением твердости поверхности отверстий по методу Роквелла в единицах HRC (рисунок 1).

Для обеспечения возможности применения индентора с алмазным наконечником для измерения твердости обработанной поверхности, просверленные заготовки фрезеровали в плоскостях, параллельных продольным осям каждого ряда отверстий. Степень наклепа определяли по формуле [6]:

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

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



Рисунок 1 – Измерение твердости обработанной сверлением поверхности

Результаты исследований. В таблице 1 представлены результаты измерения твердости обработанной поверхности отверстий.

Таблица 1 – Влияние скорости резания и подачи на твердость обработанной поверхности отверстий

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				

Характер влияния параметров режима резания на твердость обработанной поверхности отверстий представлен на рисунках 1 и 2.

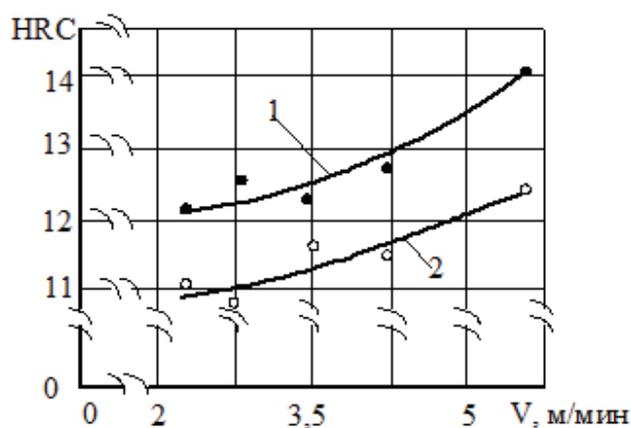


Рисунок 1 – Зависимость твердости обработанной поверхности отверстий от скорости резания:
1 – S = 0,25 мм/об; 2 – S = 0,2 мм/об

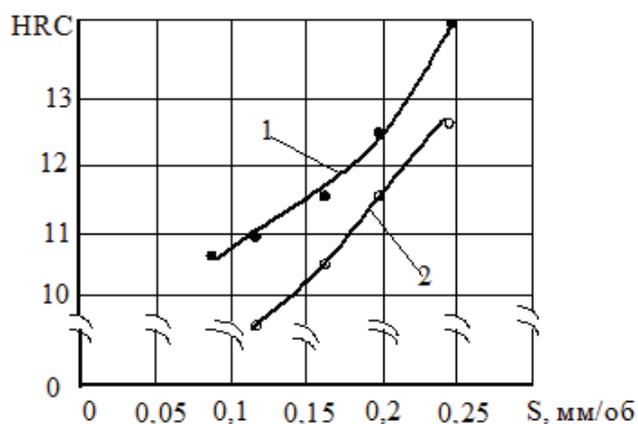


Рисунок 2 – Зависимость твердости обработанной поверхности отверстий от подачи:
1 – $V = 5,53$ м/мин; 2 – $V = 4,32$ м/мин

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

В таблице 2 представлены результаты определения степени наклепа обработанного поверхностного слоя при варьировании скоростью резания и подачей.

Таблица 2 – Влияние скорости резания и подачи на степень наклепа обработанного поверхностного слоя

V, м/мин	S, мм/об					
	0,25	0,20	0,16	0,13	0,1	0,078
	ΔH, %					
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				

Данные таблицы 2 показывают, что при увеличении скорости резания и подачи, степень наклепа обработанного поверхностного слоя возрастает. Характер этого влияния показан на рисунках 3 и 4.

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

Известно, что результатом любых исследований является построение математической модели с достаточной степенью адекватности отражающей влияние переменных факторов на объект исследований. В работе применены методы сравнительного анализа математических выражений эмпирических графических зависимостей с целью определения тех из них, которые с наибольшей адекватностью отражают влияние переменных факторов на объект исследований. Кривые графиков зависимостей, отражающих влияние параметров режима резания на степень наклепа поверхностного слоя отверстий, являются статистическими зависимостями, полученными усреднением нескольких измерений в каждой точке, поэтому аппроксимацию этих зависимостей проводили методом наименьших квадратов.

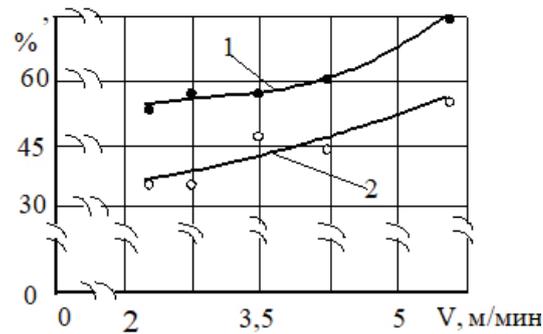


Рисунок 3 – Зависимость степени наклепа обработанного поверхностного слоя от скорости резания:
1 – $S = 0,25$ мм/об; 2 – $S = 0,2$ мм/об

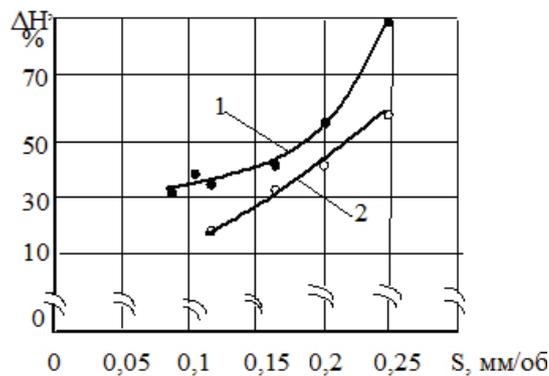


Рисунок 4 – Зависимость степени наклепа обработанного поверхностного слоя от подачи:
1 – $V = 5,53$ м/мин; 2 – $V = 4,32$ м/мин

В результате регрессионного анализа определяли коэффициенты регрессии трех статистических зависимостей: прямой, степенной и экспоненциальной. Затем рассчитывали коэффициент корреляции каждой из них, и методом сравнительного анализа определяли зависимости, наиболее адекватные результатам исследований.

В таблице 3 приведены статистические зависимости и коэффициенты корреляции r кривых, представленных на рисунках 1 и 3.

Сравнительный анализ результатов аппроксимации кривых, представленных на рисунках 1 и 3, показал, что коэффициенты корреляции сравниваемых математических зависимостей отдельных кривых в большей степени значимы у зависимостей степени наклепа от скорости резания, что позволяет выбрать эти зависимости для оценки степени упрочнения поверхностного слоя просверленных отверстий.

В таблице 4 приведены статистические зависимости и коэффициенты корреляции r , представленные на рисунках 2 и 4.

Сравнительный анализ результатов аппроксимации кривых, представленных на рисунках 2 и 4, показал, что коэффициенты корреляции сравниваемых математических зависимостей отдельных кривых в большей степени значимы у зависимостей степени наклепа от подачи, что позволяет выбрать эти зависимости для оценки степени упрочнения поверхностного слоя просверленных отверстий. При этом коэффициенты корреляции математических зависимостей степени наклепа от параметров режима резания близки по величине, что не дает возможности определить наиболее адекватные из них. Поэтому был проведен сравнительный анализ средних погрешностей расчетов, который позволил получить требуемый результат.

Таблица 3 – Результаты аппроксимации кривых зависимостей (рис. 1 и 3)

S, мм/об	Зависимость	r	Зависимость	r
0,25	HRC=7,31+1,54V	0,89	$\Delta H = 37,61+6,13V$	0,88
0,25	HRC=7,88V ^{2,064}	0,85	$\Delta H = 39,5V^{0,33}$	0,84
0,25	HRC=8,45e ^{0,11V}	0,89	$\Delta H = 41,8e^{0,096V}$	0,89
0,2	HRC=9,74+1,11V	0,48	$\Delta H = 22,85+5,73V$	0,9
0,2	HRC=9,15V ^{0,317}	0,58	$\Delta H = 24,72V^{0,448}$	0,88
0,2	HRC=10,17e ^{0,079V}	0,52	$\Delta H = 27,137e^{0,127V}$	0,9

Таблица 4 – Результаты аппроксимации кривых зависимостей (рис. 2 и 4)

V, м/мин	Зависимость	r	Зависимость	r
5,53	HRC=12,5+22,49S	0,74	$\Delta H = 16,51+225,46 S$	0,94
5,53	HRC=3,06S ^{0,22}	0,71	$\Delta H = 155,67S^{0,62}$	0,9
5,53	HRC=10,8e ^{1,57S}	0,74	$\Delta H = 23,8e^{4,368S}$	0,95
4,32	HRC=34,78–89,2S	0,87	$\Delta H = 328,64S-21,65$	0,9
4,32	HRC=4,72S ^{-0,76}	0,9	$\Delta H = 650,74S^{1,68}$	0,9
4,32	HRC=41,04e ^{-4,55S}	0,9	$\Delta H = 6,87e^{8,96S}$	0,9

Таблица 5 – Адекватность зависимостей степени наклепа от скорости резания результатам исследований

№	S, мм/об	Зависимость	Ср. Δ, %
6.1	0,25	$\Delta H = 37,61+6,13V$	6,12
6.2	0,25	$\Delta H = 39,5V^{0,33}$	6,61
6.3	0,25	$\Delta H = 41,8e^{0,096V}$	5,54
6.4	0,2	$\Delta H = 22,85+5,73V$	7,19
6.5	0,2	$\Delta H = 24,72V^{0,448}$	7,798
6.6	0,2	$\Delta H = 27,137e^{0,127V}$	6,73

Таблица 6 – Адекватность зависимостей степени наклепа от подачи результатам исследований

№	V, м/мин	Зависимость	Ср. Δ, %
7.1	5,53	$\Delta H = 16,51+225,46 S$	12,26
7.2	5,53	$\Delta H = 155,67S^{0,62}$	11,3
7.3	5,53	$\Delta H = 23,8e^{4,368S}$	8,04
7.4	4,32	$\Delta H = 328,64S-21,65$	11,28
7.5	4,32	$\Delta H = 650,74S^{1,68}$	9,36
7.6	4,32	$\Delta H = 6,87e^{8,96S}$	9,26

Данные таблиц 5 и 6 показывают, что наиболее адекватными являются экспоненциальные зависимости, имеющие следующий вид:

$$\Delta H = 41,8 e^{0,096V} , \tag{6.3}$$

$$\Delta H = 27,137e^{0,127V} , \tag{6.6}$$

$$\Delta H = 23,8e^{4,368S} , \tag{7.3}$$

$$\Delta H = 6,87e^{8,96S} . \tag{7.6}$$

Таблица 7 – Проверка адекватности модели (1)–(4) экспериментальным данным

№	ΔНфакт.	ΔНрасч.	Δ, %	№	ΔНфакт.	ΔНрасч.	Δ, %
(1)	75,4	75,49	0,12	(3)	60,0	60,13	0,21
(2)	56,25	56,2	0,1	(4)	43,75	43,7	0,11

Представленные математические зависимости использованы для разработки эмпирической модели упрочнения поверхностного слоя отверстий сверлением:

$$\Delta H = 14,88e^{0,096V} e^{4,368S}, \quad (1)$$

$$\Delta H = 13,8e^{0,096V} e^{4,368S}, \quad (2)$$

$$\Delta H = 3,76e^{0,127V} e^{8,96S}, \quad (3)$$

$$\Delta H = 5,5e^{0,127V} e^{8,96S}. \quad (4)$$

Сравнение рассчитанных по модели (1)–(4) значений степени наклепа с фактическими результатами, полученными в результате экспериментальных исследований (таблица 7), показало, что погрешность расчётов во всех случаях не превышает 0,21 %, что подтверждает высокую адекватность расчетных и фактических значений.

Выводы. Разработаны математические зависимости, отражающие влияние параметров режима резания на твердость и степень наклепа поверхности просверленных отверстий, сравнительный анализ адекватности которых результатам исследований позволил установить, что для оценки степени упрочнения поверхностного слоя отверстий следует использовать зависимости степени наклепа от параметров режима резания.

Разработана эмпирическая модель, позволяющая рассчитать степень упрочнения поверхностного слоя отверстий в зависимости от параметров режима резания. Рассчитанная по модели степень упрочнения примерно в той же степени повышает износостойкость подвижного соединения, а значит и надежность изделия.

Поступила: 01.03.22; рецензирована: 10.03.22; принята: 14.03.22.

Литература

1. 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.
2. Рагрин Н.А. Разработка и обоснование путей повышения качества поверхностного слоя отверстий, обработанных сверлением / Н.А. Рагрин, У.М. Дыйканбаева // Технология машиностроения. М., 2020. № 7. С. 55–60.
3. 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.
4. ГОСТ 2034–80 Сверла спиральные. Технические условия.
5. Рагрин Н.А. Влияние условий обработки на физическую модель износостойкости инструмента при сверлении / Н.А. Рагрин // Технология машиностроения. М., 2013. № 12. С. 15–24.
6. Рагрин Н.А. Повышение качества поверхностного слоя отверстий / Н.А. Рагрин, У.М. Дыйканбаева, А.А. Айнабекова, Д.М. Курганова // Вестник КРСУ. 2021. Т. 21. № 12. С. 112–118.