

УДК 621.951.45.

Н. А. РАГРИН, д-р техн. наук, Д. О. ПАЩЕНКО, магистрант
Кыргызский ГТУ им. И. Раззакова, г. Бишкек
E-mail: n_ragrin@mail.ru

Определение стойкости спиральных сверл при высоком качестве просверленных отверстий

Представлены методы определения стойкости спиральных сверл на скоростях резания, обеспечивающих высокое качество просверленных отверстий, используя результаты ранее проведенных исследований, что позволило исключить материальные и физические затраты на проведение дополнительных экспериментов.

Methods for determining the resistance of twist drills at cutting speeds of high quality drilled holes are presented, using the results of previous studies, which eliminated the material and physical costs of conducting additional experiments.

Ключевые слова: сверло, отверстие, аппроксимация, размер, качество, диаметр, скорость

Key words: drill, hole, approximation, size, quality, diameter, speed

Статистика показывает, что около 20 % станочного парка машиностроительной и других отраслей промышленности составляют сверлильные станки, без учета выполнения операции сверления на станках типа токарных, револьверных, агрегатных и др. 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. На промышленных предприятиях быстрорежущие спиральные сверла составляют от 11,3 до 22,8 % от общего количества используемого инструмента. В общем объеме производства режущего инструмента наибольший удельный вес (около 30 %) занимают быстрорежущие спиральные сверла. Технологический процесс обработки отверстий высокого качества небольших диаметров (до 20 мм), содержит не-

сколько переходов зенкерования и развертывания после сверления и достаточно трудоемко. При этом немаловажным фактором является стоимость металлорежущих инструментов, которая возросла более чем в сто раз, по сравнению с советским периодом. Авторами работы [1] разработаны и обоснованы параметры режима резания, на которых качество просверленных отверстий достаточно высокое, чтобы снизить общую трудоемкость изготовления точных отверстий. Однако для того, чтобы оценить величину снижения трудоемкости необходимо знать величину стойкости сверл на заданных параметрах режима резания, т.е. провести стойкостные исследования, которые сами по себе связаны с большой трудоемкостью и материалоемкостью. Данная работа посвящена решению актуальной проблемы: определение стойкости спиральных сверл на скоростях резания высокого качества

просверленных отверстий, используя результаты ранее проведенных исследований, с целью снижения материальных и физических затрат на проведение дополнительных экспериментов.

На рис. 1 представлена зависимость разбивки отверстий, обработанных сверлением, от скорости резания при подаче 0,23 мм/об, математическое выражение которой имеет вид (1) [1].

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

В табл. 1 приведены фактические значения разбивки отверстий, представленные в работе [1] и рассчитанные по зависимости (1).

Как видно в табл. 1 величины фактических и расчетных разбивок отверстий вполне соизмеримы. Условия проведения экспериментов при получении зависимости, представленной на рис. 1 аналогичны условиям проведения экспериментов, результаты которых представлены в работе [1]. В обоих случаях: сверлились отверстия глубиной 3d в заготовках из стали 45, 190HB быстрорежущими спиральными сверлами, диаметрами 10,2 и 11,0 мм, по ГОСТ 10903—77 из стали Р6М5 класса точности А1 на высокоточном оборудовании, заготовки предварительно фрезеровались и шлифовались с шести сторон, осевое и радиальное биения режущих кромок сверл, установленных в шпинделе станка, измерялись часовым микрометром с ценой деления 0,01 мм, закрепленном на магнитном штативе. Этим микрометром, установленным на стойке нутромера, измерялся диаметр отверстий. Задние поверхности сверл затачивались по двухплоскостной заточке, с последующей доводкой алмазным инструментом. На основании вы-

Таблица 1

V, м/мин \ S, мм/об	0,25	0,23
	ΔФакт.	ΔРасч.
3,45	0,02	0,021
4,32	0,03	0,027

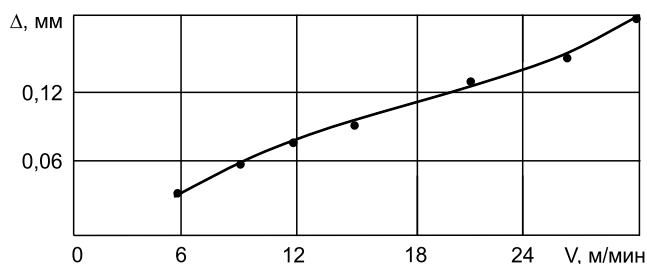


Рис. 1. Зависимость разбивки отверстия Δ от скорости резания V при сверлении

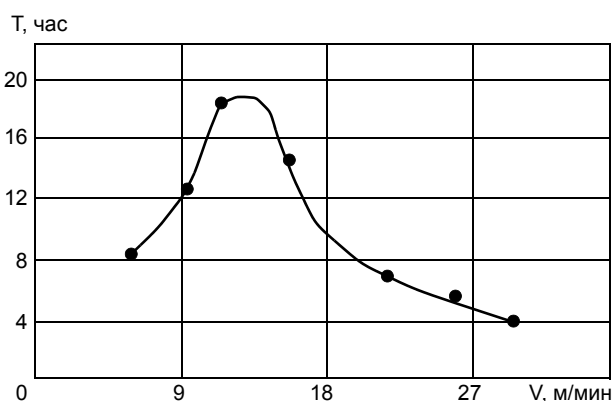


Рис. 2. Зависимость стойкости до функционального отказа быстрорежущих спиральных сверл от скорости резания

шеизложенного представляется возможным использовать результаты данных и аналогичных исследований для разработки нормативов стойкости быстрорежущих спиральных сверл для скоростей резания высокого качества просверленных отверстий.

Зависимость стойкости до функционального отказа сверл от скорости резания (рис. 2) получена при аналогичных экспериментальных условиях [2].

В работе [2] приведены результаты аппроксимации правой ветви графика рис. 2, которые показывают, что различные участки этой кривой аппроксимированы различными видами математических зависимостей, верхняя часть кривой с большей точностью аппроксимируется степенной зависимостью, а нижняя — экспоненциальной. Поэтому при аппроксимации правой ветви графика рис. 2 проведен сравнительный анализ по степени точности трех видов математических выражений: прямой, сте-

Таблица 2

№	V, м/мин	T _{факт}	T _{расч} (2)	Погр. %	T _{расч} (3)	Погр. %	T _{расч} (4)	Погр. %
1	6	8,4	8,4	0	8,4	0	8,3988	0,014
2	9	12	13,2	10	13,11	9,2	12,29	2,41
3	12	18	18	0	17,97	0,15	17,99	0,028
				Ср. 3,33		Ср. 3,11		Ср. 0,82

пенной и экспоненциальной зависимостей (2), (3) и (4) соответственно.

$$T = -1,2 + 1,6V; \quad (2)$$

$$T = 1,1799V^{1,096}; \quad (3)$$

$$T = 3,92e^{V^{0,127}}. \quad (4)$$

В табл. 2 приведены фактические и рассчитанные по зависимостям (2)—(4) значения стойкости и погрешности расчетов.

Сравнительный анализ показал, что наименьшая погрешность расчетов получена при аппроксимации левой ветви графики (рис. 2) экспоненциальной зависимостью (4), которую можно использовать для расчета стойкости до функционального отказа сверл на скоростях резания, представленных в табл. 1. Рассчитанная по зависимости (4) стойкость представлена в табл. 3.

В табл. 3 видно, что стойкость до функционального отказа сверл на скоростях резания высокой точности отверстий достаточно высокая. В табл. 3 приведены наработка L , в виде суммарной глубины просверленных отверстий, которая на скорости резания 3,45 м/мин соответствует 277 просверленным отверстиям глубиной $3d$, а на скорости резания 4,32 м/мин — 386 просверленным отверстиям. Однако этот анализ не дает ответа на вопрос качественных показателей всех просверленных отверстий за соответствующий период стойкости.

Таблица 3

V, м/мин	T, ч	L, м
3,45	6,1	9,15
4,32	6,8	12,75

На этот вопрос может дать ответ график зависимости износа уголков сверл от скорости резания [3], полученный в результате анализа исследований, представленных в работе [2], рис. 3.

В работе [4] определено, что для аппроксимации кривых графиков подобных зависимостей применимы математические выражения (5) и (6), степень точности при аппроксимации которыми зависит от характера кривой.

$$\Delta d = aV^b e^{-CV}, \quad (5)$$

$$\Delta d = \Delta d_m \left(V^a e^{-V^b} \right)^n, \quad (6)$$

где Δd_m — максимальное значение Δd на кривой рис. 3, a — константа, a, b, C, n — показатели степени.

Константа и показатели степени зависимости (5) находятся посредством решения системы логарифмических уравнений с координатами Δd_i и V_i произвольно выбранных точек на аппроксимируемой кривой. В результате решения этих уравнений получены формулы для расчета показателей степени в виде:

$$b = \frac{(V_2 - V_1)(\ln \Delta d_3 - \ln \Delta d_1) + (V_1 - V_3)(\ln \Delta d_2 - \ln \Delta d_1)}{(\ln V_2 - \ln V_1)(V_1 - V_3) - (V_2 - V_1)(\ln V_3 - \ln V_1)},$$

$$C = \frac{b(\ln V_2 - \ln V_1) - (\ln \Delta d_2 - \ln \Delta d_1)}{(V_2 - V_1)}.$$

Константа находится посредством решения логарифмического уравнения

$$\ln a = \ln \Delta d_1 - b \ln V_1 + CV_1.$$

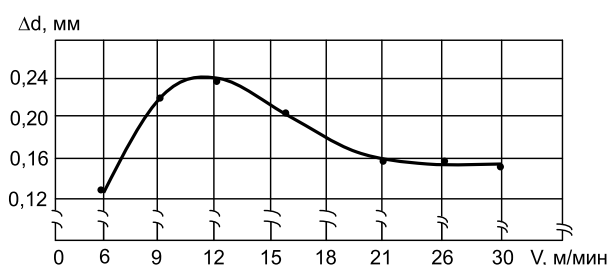


Рис. 3. Зависимость износа уголков сверл Δd от скорости резания

В результате аппроксимации кривой, представленной на рис. 3 в диапазоне скоростей резания $V = 9\text{—}16$ м/мин зависимостью (5) получено следующее математическое выражение

$$\Delta d = 0,002257V^{3,1312}e^{-0,2595V}. \quad (7)$$

В табл. 4 представлены фактические и рассчитанные по зависимости (7) значения стойкости и погрешности расчетов.

В табл. 4 видно, что зависимость (3) дает высокую точность расчетов, средняя погрешность которых составляет 1,18 %.

Показатели степени зависимости (6) находятся следующим образом

$$b = \frac{1}{\ln V_M}, \quad \alpha = \frac{e}{\ln V_M},$$

где V_M — скорость резания максимума графика зависимости рис. 3.

Для определения показателя степени n находятся значения

$$n_i = \frac{\ln \frac{\Delta d_i}{\Delta d_M}}{\ln \left(V_i^a e^{-V_i^b} \right)},$$

для всех точек кроме Δd_M и V_M , а затем найденные значения усредняются.

После определения показателя степени n значение Δd_M уточняется. Для этого рассчитываются значения Δd_{Mi} по формуле:

$$\Delta d_{\max} = \frac{\Delta d_i}{\left(V_i^b e^{V_i^c} \right)^n},$$

а затем найденные значения Δd_{Mi} усредняются.

В работе [5] представлены способы определения скорости резания максимума горбообразных зависимостей, а в работе [6] приведена их классификация. Применение представленных в указанных работах способов позволило определить скорость резания максимума V_M графика зависимости, представленного на рис. 3 которая равна 11,1 м/мин. На этой скорости резания величина износа уголков Δd_M равна 0,24 мм.

Практически значения износа уголков на скорости V_M и на скорости 12 м/мин совпадают (рис. 3), что не позволяет получить значение степени n на этой скорости, т.к. логарифм единицы равен нулю, поэтому аппроксимировать график, представленный на рис. 3, зависимостью (6) не представляется возможным.

В табл. 5 показаны значения разбивки отверстий и износа уголков сверл на скоростях резания высокого качества просверленных отверстий.

В табл. 5 видно, что износ уголков при откате сверл значительно превысил фактическую разбивку отверстий Δ . В работе [7] показана

Таблица 4

№	V , м/мин	$\Delta d_{\text{факт}}$	$\Delta d_{\text{расч (7)}}$	Погр. %
1	6	0,13	0,1299	0,077
2	9	0,22	0,2124	3,45
3	12	0,24	0,24003	0,0125
Ср. 1,18				

Таблица 5

V , м/мин	Δ , мм	Δd , мм
3,45	0,02	0,045
4,32	0,03	0,072

Таблица 6

V , м/мин	6	9	12
b	0,0057	0,00482	0,002646
r	0,9975	0,997	0,999

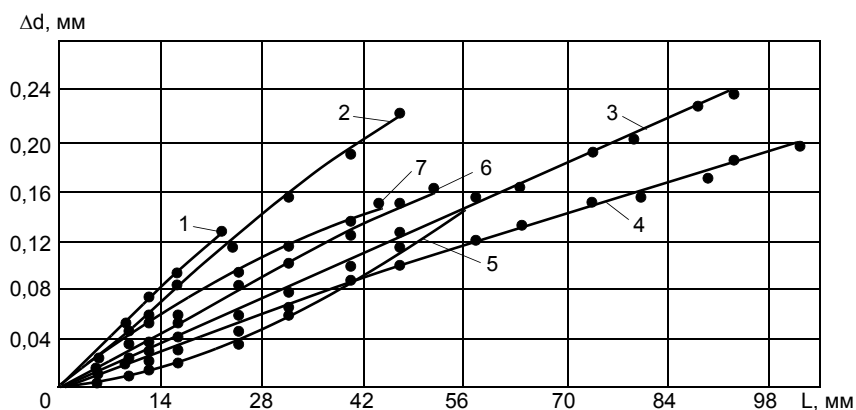


Рис. 4. Зависимости износа уголков от наработки, где 1 — $V = 6$ м/мин, 2 — $V = 9$ м/мин, 3 — $V = 12$ м/мин, 4 — $V = 16$ м/мин, 5 — $V = 21$ м/мин, 6 — $V = 26$ м/мин, 7 — $V = 30$ м/мин

но, что при сверлении со скоростями резания $V = 16$ м/мин и ниже после определенной наработки разбивка отверстий становится отрицательной, то есть диаметр просверленного отверстия становится меньшим первоначального диаметра сверла. В нашем случае износ уголков не должен превышать фактическую разбивку просверленных отверстий.

На рис. 4 представлены зависимости износа уголков сверл диаметром 10,2 мм от наработки [8].

Аппроксимация зависимостей (рис. 4) на скоростях резания 6, 9, 12 м/мин методом наименьших квадратов показала высокое их соответствие уравнению прямой $\Delta d = bV$.

В табл. 6 показаны результаты аппроксимации указанных зависимостей.

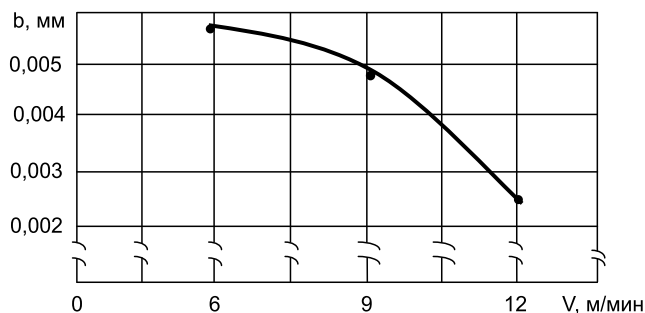


Рис. 5. Зависимость интенсивности изнашивания уголков от скорости резания

В табл. 6 видно, что коэффициенты корреляции r для всех указанных скоростей резания близки к единице. b — коэффициент регрессии (угол наклона кривой износа к оси абсцисс) представляет собой интенсивность износа уголков на соответствующей скорости резания. График зависимости интенсивности износа уголков сверл от скорости резания представлен на рис. 5.

Аппроксимация графика, представленного на рис. 5 уравнениями прямой (8), степенной зависимости (9) и экспоненциальной зависимостью (10) не показало достаточной степени адекватности математических зависимостей с графической (табл. 7).

$$b = 0,008754 - 0,000509V; \quad (8)$$

$$b = 0,04118V^{-1,1046}; \quad (9)$$

$$b = 0,012286e^{-0,12795V}. \quad (10)$$

В табл. 7 представлены фактические и рассчитанные по зависимостям (8)–(10) величины интенсивности износа уголков и погрешности расчетов.

Аппроксимация графика, представленного на рис. 5 уравнением (5), зависимость (11) показала высокую степень адекватности фактических и рассчитанных по зависимости (11) значений интенсивности износа уголков (табл. 8).

$$b = e^{-8,425693} V^{3,66493} e^{-0,55133V}. \quad (11)$$

Таблица 7

№	V, м/мин	b _{факт}	b _{расч} (8)	Погр. %	b _{расч} (9)	Погр. %	b _{расч} (10)	Погр. %
1	6	0,0057	0,0057	0	0,00569	0,15	0,0057	0
2	9	0,00482	0,0042	13,4	0,00369	23,4	0,00388	19
3	12	0,002646	0,002646	0	0,0026467	0,007	0,002646	0
				Ср. 4,46		Ср. 7,85		Ср. 6,3

В табл. 8 представлены фактические и рассчитанные по зависимости (11) величины интенсивности износа уголков и погрешности расчетов.

Зависимость (11) позволяет с большой точностью рассчитать наработку и стойкость сверл для величин износа уголков равных величинам разбивки отверстий (табл. 1) по зависимости $L = \Delta/b$ (табл. 9).

В табл. 9 представлены наработки и стойкости сверл на скоростях резания высокого качества просверленных отверстий.

ВЫВОДЫ

1. Определено, что при эксплуатации сверл до функционального отказа на скоростях резания высокого качества просверленных отверстий износ уголков значительно превышает фактическую разбивку отверстий.

Таблица 8

№	V, м/мин	b _{факт}	b _{расч} (13)	Погр. %
1	6	0,0057	0,0057	0
2	9	0,00482	0,004822996	0,06
3	12	0,002646	0,00264616	0,006
				Ср. 0,022

Таблица 9

V, м/мин	Δ	L, м	T, ч
3,45	0,02	6,535	4,35
4,32	0,03	6,946	3,7

2. Определена наработка и стойкость спиральных сверл на скоростях резания высокого качества просверленных отверстий.

3. Для определения наработки и стойкости использовались результаты ранее проведенных исследований, что позволило исключить материальные и физические затраты на проведение дополнительных экспериментов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рагрин Н. А., Айнабекова А. А., Озгонбеков А. О. Разработка путей и методов повышения качества отверстий при сверлении // Технология машиностроения. 2018. № 6. С. 10—15.
2. Рагрин Н. А. Методология построения моделей надежности инструментов для типа производства // Технология машиностроения. 2017. № 1. С. 50—56.
3. Рагрин Н. А. Разработка и обоснование критериальной модели для типа производства с применением спиральных сверл // Технология машиностроения. 2016. № 4. С. 57—63.
4. Рагрин Н. А. Математическая модель стойкостной зависимости при сверлении // Технология машиностроения. 2014. № 1. С. 49—54.
5. Рагрин Н. А. Анализ способов определения скорости резания при максимальной стойкости спиральных сверл // Технология машиностроения. 2014. № 7. С. 20—24.
6. Рагрин Н. А. Классификация способов определения скоростей резания при максимумах стойкости и наработки спиральных сверл // Технология машиностроения. 2015. № 2. С. 11—14.
7. Рагрин Н. А. Критерий технологического износа быстрорежущих спиральных сверл // Известия КГТУ им. И. Раззакова. 2010. № 21. С. 43—45.
8. Самсонов В. А., Рагрин Н. А., Стародубов И. И. Особенности износа ленточек и уголков быстрорежущих спиральных сверл // Известия КГТУ им. И. Раззакова. 2013. № 29. С. 160—163.