

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕОРИИ КОРРЕЛЯЦИИ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ЗАВИСИМОСТЕЙ НАРАБОТКИ СВЕРЛ ОТ УСЛОВИЙ ОБРАБОТКИ СВЕРЛЕНИЕМ

Н.А. Рагрин

Показана возможность применения теории корреляции для получения зависимостей наработки от условий обработки сверлением на основании результатов лабораторных и производственных испытаний металлорежущего инструмента. Получена обобщенная математическая зависимость средней наработки до функционального отказа быстрорежущих спиральных сверл от параметров режима резания и твердости материала обрабатываемых заготовок, учитывающая случайный характер процессов изнашивания сверл.

Ключевые слова: сверло, стойкость, наработка, износ, корреляция, подача, диаметр, твердость.

Введение

Более 60 % деталей машин и механизмов имеют отверстия различных видов, точно-сти, шероховатости и т.п. В технологическом процессе изготовления отверстий резанием первым видом обработки всегда выступает сверление, за которым при необходимости следуют другие виды обработки (зенкерование, раз-вертывание, растачивание и т.д.). Сверление – единственный способ получения отверстий резанием, поэтому сверла являются одним из наиболее часто применяемых режущих ин-струментов. На промышленных предприя-тиях спиральные сверла составляют от 11,3 до 22,8 % от суммарного количества используе-мого инструмента. В общем объеме производства режущего инструмента наибольший удельный вес занимают спиральные сверла (около 30 %). Поэтому задача обеспечения максимальной стойкости сверл является достаточно актуальной.

Постановка задачи

На рисунках 1 и 2 приведены зависимости, полученные в результате лабораторных испы-таний спиральных сверл [1]. Исследовались спиральные сверла диаметром $d = 10,2$ мм по

ГОСТ 10903-77 [2], изготовленные из быстро-режущей стали Р6М5. Сверлились сквозные отверстия глубиной $3d$ в стали 45 твердостью НВ 190 при скоростях резания $V = 6; 9; 12; 16; 21; 26; 30$ м/мин и подаче $S_0 = 0,23$ мм/об. Сверла эксплуатировались до полной потери режущих свойств – функционального отказа по причине постепенного накопления по-вреждений в виде износа (кривые 1 на рис. 1 и рис. 2). Кривые 2 на рис. 1 и рис. 2 показы-вают зависимости стойкости и наработки от скорости резания при достижении критерия износа, рекомендуемого методикой [3]. Для сверл диаметром 10,2 мм критерием износа яв-ляется износ задней поверхности, равный 0,45 мм.

Эти кривые – зависимости стойкости и нара-ботки до функционального отказа от скорости резания – имеют явно выраженные максимумы в диапазоне скоростей резания 12...16 м/мин. Данный диапазон скоростей резания широко применяется в автоматизированном массовом производстве, как видно из результатов анали-за статистических материалов, представлен-ных на рис. 3 [4].

Анализ 135 операций многоинструменталь-ной обработки отверстий быстрорежущими

спиральными сверлами диаметром от 5 до 45 мм в заготовках из углеродистых конструкционных сталей на автоматических линиях, агрегатных станках и станках-автоматах показал, что в основном используются скорости резания 12...16 м/мин.

Применение скоростей резания в области максимума стойкостной зависимости обусловлено тем, что в автоматизированном массовом производстве время обработки сверлением не лимитирует производительность оборудования. Максимальное увеличение периода стойкости между заточками позволяет производить замену сверл во время пересмен и избегать поломки по причине износа и брака деталей, так как в условиях автоматизированного массового производства рабочий не имеет возможности контролировать состояние каждого инструмента. В работе [5] на основании анализа способов эксплуатации и восстановления сверл показано, что наиболее экономичным является способ эксплуатации, при котором период стойкости между заточками максимален при обеспечении безотказной работы сверл.

Максимальная стойкость сверл, как показывает рис. 1, наблюдается в диапазоне скоростей 12...16 м/мин. Однако практически все функциональные зависимости стойкости инструмента от скорости резания, на которые опираются существующие нормативы и справочники по обработке сверлением, получены посредством аппроксимации нисходящей части графика зависимости стойкости, т. е. для скоростей, превышающих диапазон значений 12...16 м/мин [6]. Для примера можно привести данные справочника технолога-машиностроителя [7], согласно которым нормативный период стойкости сверл диаметром 10 мм составляет 25 мин, а расчет-

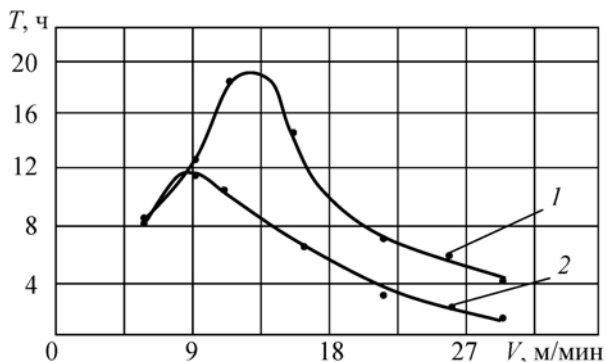


Рис. 1. Зависимости стойкости T спиральных сверл от скорости резания V :

1 — до функционального отказа; 2 — до достижения критерия равного износа [3]

ная скорость резания равна 27 м/мин. Зависимости, позволяющие определить максимальную стойкость сверл с учетом влияния условий обработки сверлением и случайного характера процессов изнашивания инструментов, до настоящего времени не получены.

Стойкость и наработка до функционального отказа сверл в диапазоне скоростей резания 12...16 м/мин значительные и достигают 18 ч и 102 м, соответственно. Поэтому определение функциональных зависимостей стойкости или наработки от условий обработки сверлением, таких как подача, диаметр сверла, твердость материала заготовок, посредством постановки однофакторных экспериментов — задача весьма трудоемкая и материалоемкая.

Применение общепринятого способа постановки экспериментов с использованием критерия износа искажает реальный характер влияния скорости резания на работоспособность спиральных сверл (характер кривых 2 на рис. 1 и рис. 2 отличается от характера кривых 1, особенно в диапазоне скоростей резания

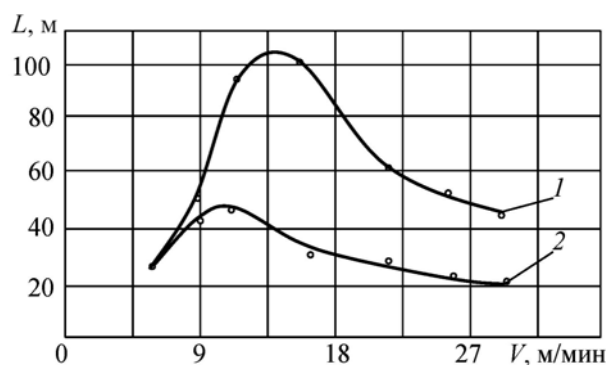


Рис. 2. Зависимости наработки (суммарной глубины просверленных отверстий) L от скорости резания V : 1 — до функционального отказа; 2 — до достижения критерия износа [3]

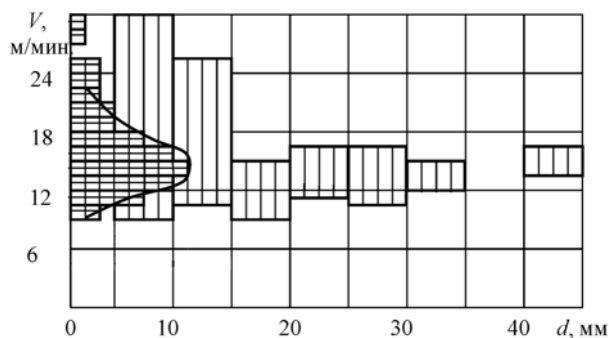


Рис. 3. Частота использования скоростей резания V в автоматизированном массовом производстве для сверл различных диаметров d

12...16 м/мин; максимумы этих кривых не совпадают).

Известны способы планирования многофакторных экспериментов, однако для их применения предварительно необходимо определить область варьирования факторами. В то же время все результаты лабораторных исследований, включая показанные на рис. 1 и рис. 2, имеют один существенный недостаток – не учитывают случайный характер процессов изнашивания сверл.

В автоматизированном массовом производстве при обработке заготовок на автоматических линиях с использованием большого количества разнообразных инструментов, в том числе спиральных сверл различных диаметров, останавливать линию для замены каждого инструмента по истечении нормативного периода стойкости экономически нецелесообразно. В этих условиях удобно производить замену инструмента во время пересмен. Увеличение стойкости сверл посредством снижения скорости резания позволяет устанавливать период стойкости равным или кратным суммарному времени сверления отверстий в заготовках, изготавливаемых за одну смену. Это время рассчитывается исходя из суммарной глубины конкретных отверстий, просверленных за одну смену. Поэтому представляется более целесообразным период эксплуатации сверл между заточками оценивать не стойкостью T , а наработкой L , равной суммарной глубине просверленных отверстий.

Вышесказанное определило цель данной работы: установление зависимостей наработки сверл от условий обработки сверлением (параметров режима резания, твердости материала обрабатываемых заготовок) для диапазона скоростей резания 12...16 м/мин с учетом случайного характера процессов изнашивания сверл.

Методика построения зависимостей наработки сверл от условий обработки сверлением

В виду того что в лабораторных условиях практически невозможно учесть случайный характер процесса изнашивания сверл, задача получения зависимостей их наработки от условий обработки сверлением решалась с применением теории корреляции к результатам производственных испытаний.

При испытании сверл в производственных условиях определялись переменные величины,

значения которых имеют случайный характер. В результате возникала необходимость получения статистических зависимостей между двумя или более случайными переменными [8]. Поэтому при обработке данных производственных испытаний последовательно решались следующие задачи:

- посредством корреляционного анализа определялись наличие и теснота связей между наработками, величинами износа сверл и условиями их эксплуатации;
- с помощью регрессионного анализа при наличии достаточно тесной связи находились уравнения регрессии нескольких видов, определялась теснота связи с экспериментальными данными и погрешность расчетов каждого из них.

При проведении регрессионного анализа расчет параметров уравнений регрессии проводился по методу наименьших квадратов для малого числа испытаний. Оценка тесноты связи уравнений регрессии с экспериментальными данными осуществлялась посредством выборочного коэффициента корреляции r с использованием найденных значений коэффициентов регрессии a и b [8].

При определении наличия и тесноты связи между двумя случайными переменными использовался коэффициент линейной корреляции Пирсона. Для возможности его применения предварительно необходимо убедиться, что распределение сравниваемых случайных переменных нормальное, т. е. подчиняется закону нормального распределения Гаусса [9]. Поэтому, прежде всего, был проведен статистический анализ данных производственных испытаний сверл.

Производственные испытания и статистический анализ полученных данных

Результаты производственных испытаний и их статистический анализ представлены в работе [10]. Испытывались партии сверл по 25 шт. каждого диаметра, изготовленных по ГОСТ 10903-77 из стали Р6М5. Перед испытаниями сверла тщательно контролировались на соответствие требованиям ГОСТа. Сверлились сквозные отверстия в деталях из углеродистых конструкционных сталей на автоматических линиях, агрегатных станках и станках-автоматах. Испытания сверл проводились до функционального отказа, о чем свидетельствовали признаки потери работоспособ-

ности: «шелчки», налипы обрабатываемого материала на ленточках, заусенцы значительных размеров на выходной стороне отверстия [11]. Периодически производилось измерение износа задних поверхностей лезвий сверл, ленточек и перемычки.

В результате испытаний строились семейства кривых износа, обработка которых методами математической статистики позволила определить законы распределения значений наработки до функционального отказа и износа конструктивных элементов сверл, параметры этих распределений и статистические оценки промежуточного состояния инструментов, например, распределение наработки при принятом равном износе или распределение износа при равной наработке инструментов. Проверка соответствия распределений значений наработки и износа всех испытанных партий сверл закону Гаусса по ГОСТ 8.207-76 [12] для выборок малого объема ($15 < n < 50$) показала, что во всех без исключения случаях данное распределение хорошо согласуется с нормальным. Условия испытаний, значения средней наработки до функционального отказа и среднего износа конструктивных элементов при функциональном отказе сверл представлены в табл. 1.

Как видно из этой таблицы, в основном все сверла работали со скоростями резания, близкими к скоростям максимума на графике зависимости $L(V)$ (рис. 2, кривая 1).

Корреляционный анализ данных производственных испытаний

Проведенный корреляционный анализ данных производственных испытаний позволил определить значимые связи средней наработки до функционального отказа с условиями обработки (табл. 2 и рис. 4).

Из табл. 2 и рис. 4 следует, что средняя наработка до функционального отказа связана с подачей, диаметром сверла и твердостью материала обрабатываемых заготовок. Подача обрабатываемых заготовок и твердость материала имеют тесную связь с интенсивностью износа

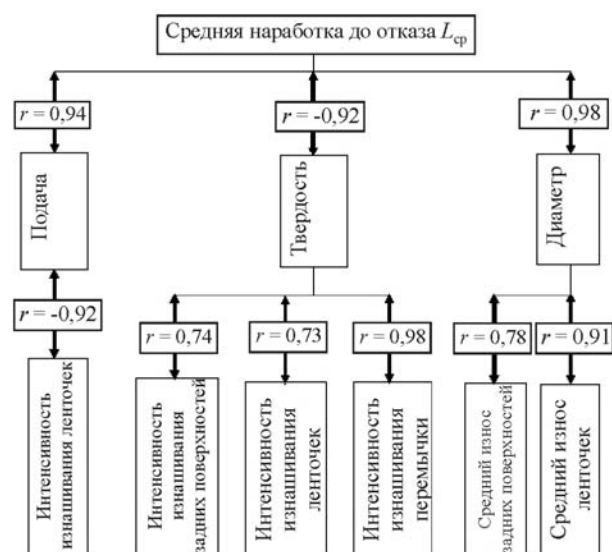


Рис. 4. Значимые связи значений средней наработки до отказа и износа конструктивных элементов спиральных сверл с условиями обработки

Таблица 1

Условия и результаты производственных испытаний

Диаметр сверла d , мм	9,8	10,5	11,5	12,0	13,8	17,5	21,0	35,0
Скорость резания V , м/мин	13,8	12,6	12,6	12,0	12,6	13,8	13,2	11,4
Подача S , мм/об.	0,22	0,14	0,18	0,14	0,22	0,20	0,23	0,23
Твердость материала заготовок HB	200	300	200	180	200	190	300	300
Глубина сверления l , мм	25,2	28,5	13,0	14,0	11,0	24,0	17,0	36,0
Средняя наработка до отказа $L_{ср}$, м	47,7	6,0	32,8	22,9	39,2	36,0	6,0	4,0
Коэффициент вариации v_L наработки до отказа	0,33	0,15	0,16	0,23	0,22	0,14	0,30	0,30
Средний износ задних поверхностей, мм	0,83	0,64	0,71	0,73	0,60	1,36	1,00	2,30
Средний износ ленточек, мм	14,4	9,7	10,1	9,4	10,5	18,9	21,0	36,0
Средний износ перемычки, мм	1,27	0,75	1,20	0,47	0,79	1,03	0,93	0,62

Таблица 2

**Значимые связи средней наработки до отказа и износа
конструктивных элементов спиральных сверл с условиями обработки**

Значимые связи	Коэффициент корреляции r	Критические значения коэффициента корреляции r	Уровень значимости коэффициента корреляции r
- средних наработок до отказа и подач	0,94	0,805...0,991	0,01
- средних наработок до отказа и твердости материала заготовок	-0,92	0,621...0,928	0,001
- средних наработок до отказа и диаметров сверл	0,98	0,805...0,991	0,001
- подач и интенсивности изнашивания ленточек	-0,92	0,805...0,991	0,01
- твердости материала заготовок и интенсивности изнашивания задних поверхностей	0,74	0,621...0,928	0,5
- твердости материала заготовок и интенсивности изнашивания ленточек	0,73	0,621...0,928	0,5
- твердости материала заготовок и интенсивности изнашивания перемычек	0,98	0,621...0,928	0,001
- диаметров сверл и средних износов задних поверхностей	0,78	0,621...0,928	0,2
- диаметров сверл и средних износов ленточек	0,91	0,621...0,928	0,01

Таблица 3

Значения параметров обработки сверлением, соответствующие максимальной наработке сверл

Диаметр сверла d , мм	9,8	10,2	11,5	12,0	13,8	17,5	21,0	35,0
Фактическая подача, мм/об.	0,22	0,14	0,18	0,14	0,22	0,20	0,23	0,23
Подача, соответствующая максимальной наработке, мм/об.	0,22	0,19	0,25	0,26	0,29	0,34	0,31	0,46

конструктивных элементов сверл, значимая связь с величиной их износа не наблюдается. В то же время диаметр имеет значимую связь только с величиной износа задних поверхностей и ленточек сверл. Это подтверждает общепринятое положение о критерии износа, который зависит только от диаметра сверла и не зависит от прочих условий обработки [13].

Коэффициент корреляции значений подачи и средней наработки до функционального отказа имеет положительное значение, что указывает на прямо пропорциональную зависимость между ними, т. е. при увеличении подачи наработка до отказа возрастает. Как показали лабораторные исследования [14], в диапазоне скоростей резания, соответствующих максимальной наработке до функционального отказа (см. рис. 2), подача также имеет максимум.

Снижение наработки сверл при уменьшении подачи происходит за счет увеличения

интенсивности изнашивания ленточек, что подтверждается корреляционным анализом. Коэффициент корреляции подачи с интенсивностью изнашивания ленточек имеет отрицательное значение (см. рис. 4), что указывает на обратно пропорциональную зависимость между ними, т. е. при уменьшении подачи интенсивность изнашивания ленточек возрастает. В таблице 3 показаны значения фактической подачи и подачи, соответствующей максимальной наработке [14]. Видно, что за исключением одного диаметра ($d = 9,8$ мм) у всех испытанных партий сверл фактическая подача S явно занижена. В соответствии с данными табл. 1, сверла диаметром 9,8 мм имели максимальную среднюю наработку $L_{\text{ср}}$ до функционального отказа, тогда как минимальную наработку до функционального отказа при твердости обрабатываемого материала, не превышающей НВ 200, имели сверла диаметром 12 мм, работав-



Рис. 5. Связь коэффициентов вариации v_L наработок до отказа с условиями обработки

шие с наименьшей подачей.

Значимая связь диаметра d сверла со средней наработкой L_{cp} до функционального отказа отсутствует. В результате корреляционного анализа установлена значимая связь наработки до функционального отказа с отношением подачи к диаметру S/d сверла, что позволило учесть влияние диаметра на среднюю наработку до функционального отказа при построении обобщенной математической зависимости.

Проверка тесноты связи коэффициентов вариации v_L (см. табл. 1) наработок до функционального отказа всех испытанных партий сверл с условиями обработки (рис. 5) показала отрицательный результат. То есть коэффициент вариации, являющийся относительной мерой рассеивания наработок до отказа, не зависит от условий обработки.

Регрессионный анализ данных производственных испытаний сверл

Аналізу подлежали три вида уравнений регрессии: линейная зависимость $\bar{y} = a + bx$; степенная $\bar{y} = ax^b$ и экспоненциальная $\bar{y} = ae^{bx}$ (a, b – коэффициенты регрессии; x – переменная величина), как наиболее часто применяемые в стойкостных исследованиях. Определены следующие уравнения регрессии:

– линейные

$$\begin{aligned} L_{cp} &= 253,75S - 13; \\ L_{cp} &= 87,56 - 0,27HB; \\ L_{cp} &= 9,35 + 1721,42(S/d). \end{aligned} \quad (1)$$

– степенные

$$\begin{aligned} L_{cp} &= 344S^{1,38}; \\ L_{cp} &= 730,8659^3 HB^{-3,12}; \\ L_{cp} &= 1668(S/d)^{0,92}. \end{aligned} \quad (2)$$

– экспоненциальные

$$\begin{aligned} L_{cp} &= 7,76e^{7,8S}; \\ L_{cp} &= 998,25 e^{-0,0172HB}; \\ L_{cp} &= 17,2e^{45,9(S/d)}. \end{aligned} \quad (3)$$

На рисунках 6–8 даны графики 1, 2 и 3 представленных зависимостей (1), (2) и (3).

Анализ графиков на рис. 6 показывает, что все три вида зависимостей средней наработки до функционального отказа от подачи группируются тесно, что говорит о примерно равной возможности их использования. Разница в погрешности расчетов будет невелика. Характер зависимостей средней наработки до функционального отказа от твердости (см. рис. 7) допускает предположение о предпочтительном использовании экспоненциальной функции. В то же время характер зависимостей средней наработки до функционального отказа от отношения S/d (см. рис. 8) для окончательного вывода требует более детального анализа.

В работе [8] представлен метод оценки тесноты связи уравнений регрессии с экспериментальными данными с помощью выборочного коэффициента корреляции. В таблице 4 даны

Таблица 4

Коэффициент корреляции r и средняя погрешность расчетов

Зависимость	$L_{cp} = f(S)$	$L_{cp} = f(HB)$	$L_{cp} = f(S/d)$
	Коэффициент корреляции r / Средняя погрешность, %		
$\bar{y} = a + bx$	$\frac{0,94}{5,3}$	$\frac{-0,87}{37,4}$	$\frac{0,81}{13,2}$
$\bar{y} = ax^b$	$\frac{0,96}{5,0}$	$\frac{-0,80}{25,0}$	$\frac{0,91}{13,4}$
$\bar{y} = ae^{bx}$	$\frac{0,96}{5,0}$	$\frac{-0,94}{24,2}$	$\frac{0,84}{13,0}$

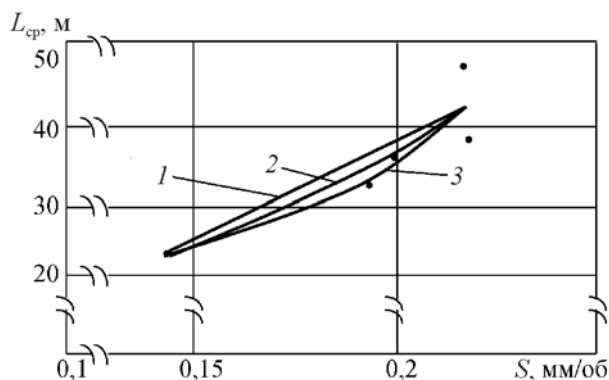


Рис. 6. Зависимости средней наработки $L_{ср}$ до функционального отказа от подачи S

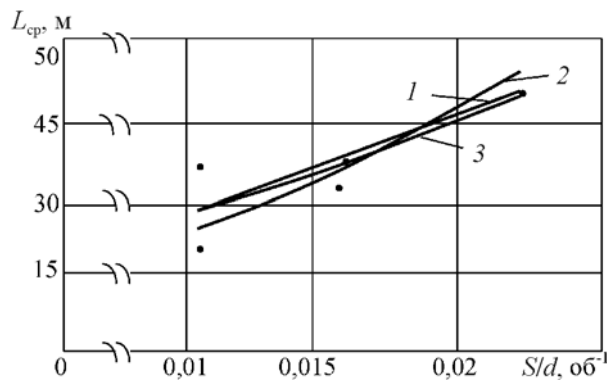


Рис. 8. Зависимости средней наработки $L_{ср}$ до функционального отказа от отношения S/d

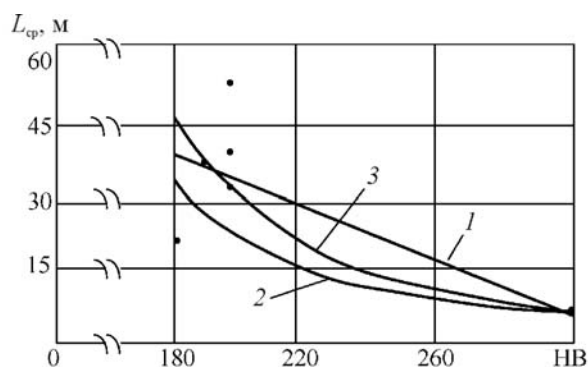


Рис. 7. Зависимости средней наработки $L_{ср}$ до функционального отказа от твердости НВ

значения коэффициента корреляции, рассчитанные предложенным методом, и значения средней погрешности расчетов по каждой из полученных зависимостей.

Анализ данных, представленных в табл. 4, показывает, что все коэффициенты корреляции значимы, но более предпочтительными для построения обобщенной математической зависимости являются экспоненциальные зависимости (3).

Таблица 5

Фактическая и рассчитанная по формуле (4) наработка до отказа

V , м/мин	$L_{факт}$, м	$L_{расч}$, м	Погрешность, %
9	62,7	70,3	13,7
12	92,5	95,3	2,9
16	101,0	94,7	6,7

Таблица 6

Фактические и рассчитанные по формуле (5) значения средней наработки до отказа

S , мм/об	V , м/мин	d , мм	НВ	$L_{ср факт}$, м	$L_{ср расч}$, м	Погрешность, %
0,22	13,8	9,8	200	47,7	53,15	11,4
0,14	12,6	10,5	300	6,0	3,36	44,0
0,18	12,6	11,5	200	32,8	28,03	14,55
0,14	12,0	12,0	180	22,9	23,58	3,0
0,22	12,6	13,8	200	39,2	38,80	1,0
0,20	13,8	17,5	190	36,0	31,56	12,33
0,23	13,2	21,0	300	6,0	6,05	0,8
0,23	11,4	35,0	300	4,0	4,63	15,7
						Ср. = 12,85

Построение обобщенной математической зависимости

Для учета влияния скорости резания на наработку в обобщенной математической зависимости предварительно используется аппроксимация зависимости наработки до функционального отказа от скорости резания, представленная на рис. 2 кривой 1, в виде [15]

$$y = y_0(x^a e^{-x^b})^n,$$

в которой показатели степени находятся следующим образом:

$$a = \frac{e}{\ln x_0}; b = \frac{1}{\ln x_0},$$

где x_0 и y_0 – координаты точки максимума.

Для определения показателя степени n находятся значения

$$n_i = \frac{\ln\left(\frac{y_i}{y_0}\right)}{\ln x_i},$$

где x_i ; y_i – координаты всех точек, кроме точки $(x_0; y_0)$, а затем найденные значения n_i усредняются.

Посредством аппроксимации зависимости (см. рис. 2, кривая 1) в диапазоне скоростей резания $V = 9...16$ м/мин получено уравнение

$$L = 107(V^{1,03} e^{-V^{0,38}})^{10,1}. \quad (4)$$

В таблице 5 представлены фактические значения наработки до функционального отказа $L_{\text{факт}}$ и рассчитанные по формуле (4) $L_{\text{расч}}$. Средняя погрешность составила 7,8 %.

С использованием зависимости (4) и полученных ранее статистических зависимостей (3) была установлена обобщенная математическая зависимость для расчета средней наработки до функционального отказа:

$$L_{\text{ср}} = 115(V^{1,03} e^{-V^{0,38}})^{10,1} e^{45,9(S/d)} e^{7,8S} e^{-0,0172 \text{HB}}. \quad (5)$$

В таблице 6 приведены фактические и расчетные значения средней наработки до функционального отказа, полученные по формуле (5).

Выводы

В результате проведенных исследований сделаны следующие выводы.

1. Проверка соответствия распределений наработки и износа всех испытанных партий сверл закону Гаусса по ГОСТ 8.207-76 для выборок малого объема ($15 < n < 50$) показала, что во всех случаях распределения наработки

и износа сверл хорошо согласуются с нормальным распределением.

2. Корреляционный анализ данных производственных испытаний позволил определить, что средняя наработка до функционального отказа имеет значимую связь с подачей, диаметром и твердостью материала обрабатываемых заготовок. Подача и твердость материала имеют значимую связь с интенсивностью изнашивания конструктивных элементов сверл, значимая связь с величиной их износа не наблюдается. В то же время диаметр имеет значимую связь только с величиной износа задних поверхностей и ленточек сверл.

3. Коэффициенты корреляции подачи и средней наработки до функционального отказа имеют положительные значения, что указывает на прямо пропорциональную зависимость между ними, т. е. при увеличении подачи средняя наработка до функционального отказа сверл возрастает. Коэффициенты корреляции подачи и интенсивностей изнашивания ленточек имеют отрицательные значения, что указывает на обратно пропорциональную зависимость между ними, т. е. при увеличении подачи интенсивность изнашивания ленточек уменьшается, с чем связано возрастание средней наработки до функционального отказа сверл.

4. Применение теории корреляции к результатам производственных испытаний спиральных сверл позволило получить три вида частных статистических зависимостей средней наработки до функционального отказа от условий обработки. Посредством корреляционного анализа определены экспоненциальные зависимости, как более предпочтительные для построения обобщенной математической зависимости, средней наработки до функционального отказа от параметров режима резания и твердости материала обрабатываемых заготовок.

5. Посредством аппроксимации результатов лабораторных исследований получена зависимость наработки до функционального отказа от скорости резания в диапазоне 12...16 м/мин, позволяющая рассчитать наработку до функционального отказа сверл с высокой достоверностью.

6. По результатам лабораторных и производственных испытаний получена обобщенная математическая зависимость средней наработки до функционального отказа быстрорежущих спиральных сверл от параметров режима реза-

ния и твердости материала обрабатываемых заготовок, учитывающая случайный характер процессов изнашивания сверл.

7. Анализ значимых связей коэффициентов вариации наработок до отказа всех испытанных партий сверл с условиями обработки показал отрицательный результат, т. е. теснота группирования значений наработки до функционального отказа сверл не зависит от условий обработки сверлением. Это значит, что полученная обобщенная математическая зависимость может быть применима для других типов производства.

Заключение

С помощью обобщенной математической зависимости с достаточной степенью точности можно определить среднюю наработку до функционального отказа быстрорежущих спиральных сверл при обработке заготовок из углеродистых конструкционных сталей в автоматизированном массовом производстве. Данная зависимость является базовой и может применяться для других типов производств и других обрабатываемых материалов при небольших затратах на экспериментальные исследования по определению поправочных коэффициентов.

Список литературы

1. Рагрин Н.А. Физическая модель стойкостной зависимости // Технология машиностроения. 2012. № 11. С. 11–17.
2. ГОСТ 10903-77. Сверла спиральные с коническим хвостовиком. Основные размеры. – М.: Изд-во стандартов, 2003.
3. Методика экспериментальных исследований по определению исходных данных для разработки общемашиностроительных нормативов режимов резания по основным видам обработки. – М.: НИИМАШ, 1982. – 159 с.
4. Рагрин Н.А., Древаль А.Е. Обеспечение надежности быстрорежущих спиральных сверл в автоматизированном производстве. – Фрунзе: Киргиз НИИНТИ. 1988. – 44 с.
5. Рагрин Н.А. Способы эксплуатации и восстановления работоспособности быстрорежущих спиральных сверл // Машиностроитель. 2011. № 10. С. 35–37.
6. Грановский Г.И., Грановский В.Г. Резание металлов. – М.: Высшая школа, 1985. – 304 с.
7. Справочник технолога-машиностроителя. Т. 2. / Под ред. А.М. Дальского, А.Г. Суслова, А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова. – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 2001. – 944 с.
8. Пустыльник Е.И. Статистические методы анализа и обработки наблюдений. – М., 1968. – 288 с.
9. Лукомский Я.И. Теория корреляции и ее применение к анализу производства. – М., 1961. – 375 с.
10. Рагрин Н.А. Обеспечение безотказности быстрорежущих спиральных сверл в условиях автоматизированного производства // Машиностроитель. 2012. № 7. С. 37–39.
11. Рагрин Н.А. Признаки потери работоспособности быстрорежущих спиральных сверл в условиях автоматизированного производства // Материалы III Международной научно-практической конференции «Техника и технология: новые перспективы развития». М., 2011. С. 55–58.
12. ГОСТ 8.207-76. Прямые измерения с многократными наблюдениями. Методы обработки результатов наблюдений. – М.: Изд-во стандартов, 1976.
13. Общемашиностроительные нормативы по износу, стойкости и расходу спиральных сверл. – М.: НИИМАШ, 1980. – 47 с.
14. Рагрин Н.А. Оптимальные подачи спиральных сверл в условиях автоматизированного производства // Материалы VI Международной научно-практической конференции «Техника и технология: новые перспективы развития». М., 2012. С. 81–84.
15. Малышев В.П. Вероятностно-детерминированное планирование эксперимента. – Алма-Ата: Наука, 1981. – 116 с.

Материал поступил в редакцию 02.02.13.

РАГРИН
Николай Алексеевич

E-mail: n_ragrin@mail.ru
Тел. +7 (0312) 51-73-39

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология машиностроения» Кыргызского государственного технического университета им. И. Раззакова. Сфера научных интересов – повышение стойкости быстрорежущих спиральных сверл и качества обработки сверлением. Автор монографии, 38 научных статей и трех изобретений.