

УДК 621.785.5

**ПОВЫШЕНИЕ СТОЙКОСТИ СВЕРЛ ИЗ БЫСТРОРЕЖУЩЕЙ СТАЛИ
НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ НИТРОЦЕМЕНТАЦИЕЙ**

*канд. техн. наук, доц. А.М. ДОЛГИХ
(Полоцкий государственный университет)*

Исследованы некоторые характеристики и эксплуатационная стойкость диффузионных защитных слоев, полученных методом низкотемпературной нитроцементации быстрорежущих сталей. Проведен замер таких важных для характеристики процесса резания при сверлении параметров, как величина крутящего момента и осевой составляющей силы резания при сверлении, величины износа по задней поверхности и ленточке. Для определения эксплуатационной стойкости нитроцементованных покрытий, полученных в продуктах пиролиза карбамида, испытания были проведены в соответствии с гостированной методикой и применением метода математического планирования эксперимента. Представленные материалы имеют практическое применение, предложенные составы и технология нанесения защитных покрытий методом химико-термической обработки могут быть рекомендованы в качестве процессов, значительно улучшающих эксплуатационные показатели стойкости и надежности работы спиральных сверл.

Одним из проблемных металлорежущих инструментов, работающих в наиболее сложных условиях, являются спиральные сверла [1; 2].

Низкотемпературная нитроцементация в продуктах пиролиза карбамида известна как процесс, стабильно повышающий эксплуатационные показатели работы металлорежущего инструмента, в том числе и спиральных сверл, изготовленных из быстрорежущей стали Р6М5. Низкотемпературная нитроцементация является одним из признанных методов химико-термической обработки (термодиффузионной обработки), которая радикальным образом изменяет состав и физико-химические свойства поверхностных слоев упрочняемых режущих инструментов, что позволяет значительно повысить их эксплуатационные свойства, в том числе и стойкость.

Необходимость проведения исследований, изучения закономерностей формирования состава и свойств полученных диффузионных слоев и внедрения в промышленность одного из наиболее перспективных процессов химико-термической обработки (газовой нитроцементации) очевидна.

Материалы и методика эксперимента. Технология и оборудование для проведения процесса газовой нитроцементации (карбонитрации) просты и могут быть реализованы в любом термическом подразделении на стандартном оборудовании. Металлорежущий инструмент после стандартного цикла механической и термической обработок промывают от масла и загрязнений. Затем помещают в рабочую зону печи, нагревают до температуры проведения процесса и выдерживают в течение определенного времени в зависимости от вида инструмента, насыщаемой стали и требуемой толщины упрочненного слоя. Для металлорежущих спиральных сверл продолжительность процесса карбонитрации предварительно рассчитывалась как 1 мин на 1 мм диаметра или толщины инструмента, но не более 25...30 мин. По завершении процесса производят охлаждение на спокойном воздухе или в окислирующем расплаве (в специальной ванне окислирования) с последующей промывкой от солей и сушкой, что обеспечивает также внешний товарный вид инструмента с коррозионно-стойкой (воронёной) маслянисто-черной поверхностью.

Структура карбонитрированной быстрорежущей стали обеспечивает высокий уровень эксплуатационных свойств инструмента, что приближает его по стойкости к твердосплавным материалам. После выдержки в течение 15 мин на поверхности быстрорежущей стали Р6М5 наблюдается появление тонкого нетравящегося слоя карбонитридов с кристаллической решеткой типа нитрида (Me_{2-3}N) с гексагональной структурой.

По мере удаления от поверхности твердость этой зоны упрочнения плавно убывает от максимальных значений, отвечающих зоне, состоящей из карбонитридов, до твердости закаленной и отпущенной сердцевины инструмента.

Важным качеством карбонитрированной быстрорежущей стали Р6М5 является ее способность сохранять высокие значения твердости поверхностного слоя при последующих после карбонитрации нагревах вплоть до интервала температур 650...670 °С. Обычно такая обработка проводится при 560...580 °С, т.е. при температуре, которая немного ниже минимальной температуры существования γ -фазы в системе Fe – N. Нитроцементация существенно повышает предел выносливости, причем в большей степени, чем цементация. В связи с этим сжимающие напряжения создаются в цианированном слое лишь на некотором расстоянии от поверхности, что приводит к снижению предела выносливости стали.

После проведения процессов нитроцементации визуально оценивали качество поверхности образцов. Анализ микроструктуры и измерение толщины слоя проводили на металлографических микроскопах при 100...1000-кратных увеличениях на поперечных и косых шлифах по стандартной методике. Микротвердость поверхностного слоя замеряли на приборе ПМТ-5 по методике, изложенной в ГОСТ 9450 при нагрузках на индентор, составляющих соответственно 0,49 и 0,98 Н.

Шероховатость поверхности образцов до и после проведения процесса нитроцементации оценивали на профилографе-профилометре модели 201 завода «Калибр» согласно ГОСТ 2789.

Режимы резания для проведения сравнительных стойкостных испытаний рассчитывали по стандартной методике [6; 7].

Сверло диаметром 6,9 мм, изготовленное из быстрорежущей стали Р6М5, ГОСТ 19265-73.

Обрабатываемый материал – среднеуглеродистая сталь 40Х.

Подача была выбрана из таблицы [7] исходя из критерия прочности сверла: $S = 0,15...0,2$ (мм/об).

Поправочный коэффициент на недостаточную жесткость системы СПИЗ (станок – приспособление – инструмент – заготовка) составляет при средней жесткости $K_s + 0,75S = 0,2 \cdot 0,75 = 0,15$ (мм/об) [7].

Скорость резания при сверлении определяется по формуле [7]:

$$v = \frac{C_v \cdot D \cdot q_v}{T_{mv} \cdot S_{yv}} \cdot K_v,$$

где D – диаметр сверла (6,9 мм); T – принятый период стойкости спирального сверла (25 мин); S – подача (0,15 мм/об); K_v – общий поправочный коэффициент на скорость резания, учитывающий фактические условия резания.

В последнее время процесс низкотемпературной газовой нитроцементации получил признание как один из эффективных способов повышения эксплуатационной стойкости металлорежущего инструмента, изготовленного из быстрорежущей стали. С точки зрения стабильности результатов насыщения и простоты реализации процесса в лабораторных и производственных условиях выбрана низкотемпературная газовая нитроцементация в продуктах разложения карбамида. Интервал температур проведения нитроцементации составляет 520...540 °С, продолжительность – 20...40 мин. При этом на поверхности спиральных сверл, изготовленных из быстрорежущей стали марки Р6М5, формируется слой толщиной 2...3 мкм, состоящий в основном из карбонитридов и имеющий твердость по Виккерсу 1200 единиц.

Исследования проводили на сверлах спиральных с цилиндрическим хвостовиком по ГОСТ 10902-77 диаметром 6,9 мм, изготовленных из стали Р6М5 ГОСТ 19265. В качестве критериев износа приняты величины износов по задней поверхности и ленточке. Обрабатываемый материал – среднеуглеродистая сталь 40Х ГОСТ 4345. Расчет режимов резания произведен по стандартной методике и дает следующие значения: подача – 0,15 мм/об; скорость резания – 21,7 м/мин.

Для замера величин крутящего момента и осевой составляющей силы резания при сверлении использовали комплекс, состоящий из универсально-динамометрической головки УДМ-600, тензометрического усилителя ТА-5, стабилизатора напряжения и блока измерительных приборов.

При проведении экспериментов с целью оптимизации эксплуатационных свойств спиральных сверл применяли метод математического планирования эксперимента. Принято три уровня. При этом в таблице в кодированном виде верхний уровень обозначается как +1, нижний уровень –1, основной – 0.

В качестве независимых переменных были приняты: скорость резания X_3 (м/мин); величина подачи X_2 (мм/об) и время проведения процесса нитроцементации X_1 (мин). В качестве выходных параметров регистрировались: значения величин износа по задней поверхности (V_3) и ленточке (V_4), момент крутящий (Y_1), осевая составляющая силы резания (Y_2).

Основная часть. Реализованные матрицы планирования эксперимента для сверл из быстрорежущей стали с покрытием и без покрытия представлены соответственно в таблицах 1 и 2.

Общий вид уравнения, описывающего зависимость параметра (обозначенного P) от исследуемых факторов (T, S, V):

$$\begin{aligned} Lg(P) = & K_1 + K_2 Lg(T) + K_3 Lg(S) + K_4 Lg(V) + K_5 Lg(T) Lg(S) + \\ & + K_6 Lg(S) Lg(V) + K_7 Lg(T) Lg(V) + K_8 Lg(T) Lg(S) Lg(V). \end{aligned}$$

Зафиксированы значительные изменения в величинах коэффициентов при однородных членах полученной математической модели, в ряде случаев изменение знака показывает, что характеристики процесса резания инструментом с нанесенным нитроцементованным слоем и инструментом без покрытия различны.

После получения результатов эксперимента, реализованных на всех уровнях, и расчета коэффициентов уравнения регрессии (табл. 3, 4) проводят оптимизацию процесса нитроцементации с целью повышения стойкости сверл относительно основного уровня методом крутого восхождения по градиенту

построенной модели. При этом методе движение к области оптимума совершается по кратчайшему пути. Наиболее короткий путь к вершине поверхности отклика – движение в направлении градиента функции отклика. Изменяя уровни факторов пропорционально значениям коэффициентов регрессии, осуществляют движение в направлении градиента функции отклика по самому крутому пути.

Таблица 1

Матрица планирования эксперимента 2^3 для сверл, изготовленных из быстрорежущей стали Р6М5 без покрытия

№	X_1 T , мин	X_2 S , мм/об	X_3 V , м/мин	Y_1 $M_{кр}$, Н·м	Y_2 P_o , Н	Y_3 I_z , мкм	Y_4 I_{λ} , мкм
1	40	0,2	1000	3,76	2255	290	70
2	20	0,2	1000	4,31	2076	230	130
3	40	0,1	1000	4,87	1217	205	91
4	20	0,1	1000	5,31	2148	170	64
5	40	0,2	500	4,54	2255	270	95
6	20	0,2	500	4,76	1432	270	99
7	40	0,1	500	5,31	816	230	50
8	20	0,1	500	5,7	966	201	71
Основной уровень							
9	30	0,14	710	3,54	1403	117	73
10	30	0,14	710	3,32	930	171	80,4
11	30	0,14	710	3,42	1381	175	82

Таблица 2

Матрица планирования эксперимента 2^3 для сверл, изготовленных из быстрорежущей стали Р6М5 с нанесенным покрытием (нитроцементацией)

№	X_1 T , мин	X_2 S , мм/об	X_3 V , м/мин	Y_1 $M_{кр}$, Н, м	Y_2 P_o , Н	Y_3 I_z , мкм	Y_4 I_{λ} , мкм
1	40	0,2	1000	4,87	916	142	33
2	20	0,2	1000	5,75	1074	104	50
3	40	0,1	1000	5,09	673	95	40
4	20	0,1	1000	4,42	1031	100	37
5	40	0,2	500	3,76	723	166	65
6	20	0,2	500	4,2	744	115	69
7	40	0,1	500	5,53	429	99	33
8	20	0,1	500	3,54	615	117	42
Основной уровень							
9	30	0,14	710	2,65	658	87	42
10	30	0,14	710	2,54	501	99	41
11	30	0,14	710	2,54	558	95	39

Таблица 3

Коэффициенты полинома второй степени для сверл, изготовленных из быстрорежущей стали Р6М5 без покрытия

Коэффициенты	$M_{кр}$	P_o	I_z	I_{λ}
K_1	-67,59	-111,59	12,13	-49,03
K_2	70,27	116,7	-8,83	46,9
K_3	-99,02	-105,69	8,68	-60,88
K_4	25,82	37,24	-3,31	18,67
K_5	98,97	111,78	-8,35	56,5
K_6	36,52	34,17	-2,82	22,18
K_7	-26,02	-38,13	3,10	-17,01
K_8	-36,61	-36,22	2,85	-20,38

Для того чтобы найти соответствие между показателями регистрирующего прибора и реальным значением величины силы, проводят тарирование. Для этого на динамометр воздействуют силой, величина которой заранее известна, и фиксируют показания регистрирующего устройства.

Повторив такой прием при нескольких значениях нагружающей силы, строят тарировочный график, по которому в дальнейшем можно будет проводить обратный пересчет.

Таблица 4

Коэффициенты полинома второй степени для сверл, изготовленных из быстрорежущей стали Р6М5, с покрытием (нитроцементацией)

Коэффициенты	$M_{кр}$	P_o	I_3	I_4
K_1	11,9	-3,88	-8,72	-27,67
K_2	-8,83	4,62	8,18	25,39
K_3	16,56	-3,36	-13,66	-35,61
K_4	-2,52	1,74	2,87	10,87
K_5	-13,44	4,28	9,92	29,87
K_6	-4,75	0,58	3,82	13,04
K_7	2,52	-1,31	-2,17	-9,21
K_8	3,99	-1,00	-2,72	-10,74

Заключение. Низкотемпературная нитроцементация сверл из быстрорежущей стали Р6М5 положительно сказывается на параметрах процесса резания – величины крутящего момента и осевой составляющей силы резания при сверлении уменьшаются соответственно в 1,4 и 1,5 раза, что позволяет значительно снизить энергетические затраты на процесс сверления, уменьшить эффективную мощность электродвигателя сверлильного станка. Эксплуатационная стойкость нитроцементованного инструмента по сравнению со стандартным неупрочненным инструментом повышается в 1,7...1,9 раза, что позволяет сделать вывод об экономической целесообразности применения процесса нитроцементации сверл, изготовленных из быстрорежущей стали Р6М5. Проведенные производственные испытания спиральных сверл и метчиков для нарезания метрической резьбы с нитроцементованными покрытиями показали повышение его эксплуатационной стойкости в 2,2 раза.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ворошнин, Л.Г. Теория и технология химико-термической обработки: учеб. пособие / Л.Г. Ворошнин. – Минск: Новое знание, 2010. – 304 с.
2. Металловедение. Термическая и химико-термическая обработка сплавов: сб. науч. тр. / под ред. Б.Н. Арзамасова. – М.: Изд-во МГТУ, 2003. – 246 с.
3. Многокомпонентные диффузионные покрытия / Л.С. Ляхович [и др.]. – Минск: Наука и техника, 1974. – 288 с.
4. Стуканов, В.А. Металловедение: учеб. пособие / В.А. Стуканов. – М.: Форум: ИНФРА-М, 2008. – 368 с.
5. Справочник технолога-машиностроителя: в 2-х т. / под ред. А.М. Дальского [и др.]. – М.: Машиностроение, 2003. – Т. 1. – 912 с.
6. Справочник технолога-машиностроителя: в 2-х т. / под ред. А.М. Дальского [и др.]. – М.: Машиностроение, 2003. – Т. 2. – 944 с.
7. Обработка металлов резанием. Справочник технолога / под общ. ред. А.А. Панова. – М.: Машиностроение, 2003. – 784 с.
8. Марочник сталей и сплавов / под ред. А.С. Зубченко. – М.: Машиностроение, 2003. – 784 с.

Поступила 12.06.2012

INCREASING RESISTANCE OF HIGH-SPEED DRILLS BY LOW-TEMPERATURE CARBON NITRIDE COATING

A. DOLGIKH

Some of the characteristics and operational stability of the protective diffusion layers obtained by low-temperature carbon nitride coating of high speed steels were investigated. A measurement of such important characteristics of the cutting process parameters such as torque and the axial component of cutting forces, wear, respectively, front and back surfaces was done. To determine the operational stability of nitride hardening coatings obtained in the pyrolysis products of urea, the tests were conducted in accordance with the methodology and standardized using methods of mathematical experiment planning. Material presented in this paper has practical application, the proposed composition and technology of applying protective coatings by chemical-heat treatment can be recommended as a process, significantly improving operational performance stability and reliability of twist drills.