

2. **Лыгденов, Б.Д.** Повышение износостойкости углеродистой феррито-перлитной стали / Б.Д. Лыгденов, И.Б. Обунеев, А.М. Гурьев // Ползуновский альманах. – 2003. – № 3-4. – С. 105–107.

3. **Иванов, А.С.** Бороцементация низкоуглеродистых мартенситных сталей / А.С. Иванов, О.Н. Карманова, М.Б. Гужева // Вестн. ПГТУ. – 1999. – № 2. – С. 3–8.

4. **Иванов, А.С.** Исследование двухслойных боридоцементованных покрытий на низкоуглеродистых мартенситных сталях / А.С. Иванов, А.П. Быкова // Физика металлов и металловедение. – 2005. – Т. 100, № 1. – С. 57–64.

5. **Иванов, А.С.** Карборирование мартенситных сталей / А.С. Иванов, А.П. Быкова // Вестн. ПГТУ. – 2004. – № 8. – С. 191–197.

6. **Глазов, В.М.** Микротвердость металлов / В.М. Глазов, В.Н. Вигдорович. – М.: Металлургия, 1969. – 247 с.

7. **Кухарева, Н.Г.** Боридные покрытия на предварительно цементованной стали 20 / Н.Г. Кухарева, В.Ф. Протасевич, С.Н. Петрович // Вестник БНТУ. – 2010. – № 2. – С. 24–27.

8. **Азаркевич, А.А.** Об оптимальном содержании бора в стали / А.А. Азаркевич, Л.В. Коваленко, В.М. Краснопольский // МиТОМ. – 1995. – № 1. – С. 24–26.

УДК [666.3:539.4]:519.2

**Е.С. ГОЛУБЦОВА, д-р техн. наук (БНТУ),
Н.Б. КАЛЕДИНА (БГТУ)**

ВЛИЯНИЕ ДИСКРЕТНЫХ И СПЛОШНЫХ ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ ИЗ НИТРИДА ТИТАНА НА ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ КЕРАМИЧЕСКОГО ИНСТРУМЕНТА НА ОСНОВЕ НИТРИДА КРЕМНИЯ

В настоящей работе изучено влияние дискретных и сплошных защитных покрытий из нитрида титана на износостойкость керамического инструмента на основе нитрида кремния Si_3N_4 при непрерывном точении легированной термообработанной стали ШХ15 (HRC 62).

Неперетачиваемые режущие пластины квадратной формы и типоразмера SNGN 120408 (ISO 1832-1985) изготавливали методом горячего прессования с последующей механической обработкой. Исходными компонентами для получения керамического материала служили Si_3N_4 , Al_2O_3 , MgO , TiN . В составе керамики обнаружены фазы $\beta\text{-Si}_3\text{N}_4$, Si_xN , TiN .

Износостойкие покрытия из нитрида титана наносили методом катодного распыления на установке ННВ-6,6.-И1 типа «Булат» [1]. Режим точения стали ШХ15 в первой серии экспериментов, где кроме покрытий изучалось влияние времени обточения этой стали, был следующим: скорость резания 60 м/мин, подача 0,1 мм/об., глубина резания 0,25 мм. В качестве критерия износа рассматривалась ширина ленты износа по задней грани резца. Точение проводилось керамическими резцами без покрытия, со сплошным покрытием толщиной 8 мкм и с дискретным покрытием.

Для проведения эксперимента был выбран план 3×3 , где 3 – три уровня времени точения стали ШХ15 (20, 50, 80 мин) и три уровня вида покрытия (дискретное, сплошное, без покрытия). В качестве параметра оптимизации (y) был выбран износ по задней грани резца (h_s , мм), а в качестве факторов – время точения стали ШХ15 (x_1) и вид покрытия (x_2).

Во избежание влияния систематических ошибок опыты проводились в случайном порядке. Ошибку воспроизводимости опытов S_y определили ранее. Она была равна 0,0094. Матрица плана и результаты эксперимента представлены в таблице 1.

В таблице N – номер строки (опыта), x_1 и x_2 – кодированные уровни факторов, которые для времени точения определяли по формуле

$$x_i = \frac{\tilde{x}_i - 0,5(\tilde{x}_{i\max} + \tilde{x}_{i\min})}{0,5(\tilde{x}_{i\max} - \tilde{x}_{i\min})}, \quad (1)$$

где x_i – кодированный уровень i -го фактора, \tilde{x}_i , $\tilde{x}_{i\max}$, $\tilde{x}_{i\min}$ – текущее, максимальное и минимальное значение i -го фактора в натуральных единицах.

Таблица 1 – Матрица плана 3×3 и результаты эксперимента

№	x_1	x_2	x_1x_2	x_1^2	x_2^2	y_3	Примечание
1	–	–	+	+	+	0,079	Время точения 20 мин
2	–	0	0	+	0	0,095	
3	–	+	–	+	+	0,134	
4	0	–	0	0	+	0,126	Время точения 50 мин
5	0	0	0	0	0	0,205	
6	0	+	0	0	+	0,268	
7	+	–	–	+	+	0,158	Время точения – 80 мин
8	+	0	0	+	0	0,268	
9	+	+	+	+	+	0,355	
Σ	0,473	0,394	0,142	1,089	1,120	1,688	
	(1Y)	(2Y)	(12Y)	(11Y)	(22Y)	(0Y)	

Для качественных факторов их кодированные уровни устанавливаются исследователем (в нашем случае дискретное покрытие $x_2 = -1$, сплошное – $x_2 = 0$, без покрытия – $x_2 = +1$).

Обработку результатов эксперимента проводили по методике [2]. Коэффициенты уравнения регрессии рассчитывали по формулам

$$b_0 = A_0(0Y) - A_{01}(11Y) - A_{02}(22Y); \quad (2)$$

$$b_i = A_i(iY); \quad (3)$$

$$b_{ij} = A_{ij}(ijY); \quad (4)$$

$$b_{ii} = A_{ii}(iiY) - A_{0i}(0Y), \quad (5)$$

где коэффициенты A_0 , A_{01} , A_{02} , A_i , A_{ij} и A_{ii} взяты из работы [2]; (0Y); (iY); (ijY); ((iiY) – алгебраические суммы произведений столбца y на соответствующие столбцы матрицы (см. таблицу 1).

Значимость коэффициентов уравнения определяли с помощью доверительных интервалов для каждой группы коэффициентов по формулам:

$$\Delta b_0 = t \cdot S_{\dot{y}} \sqrt{A_0} ; \quad (6)$$

$$\Delta b_i = t \cdot S_{\dot{y}} \sqrt{A_i} ; \quad (7)$$

$$\Delta b_{ij} = t \cdot S_{\dot{y}} \sqrt{A_{ij}} ; \quad (8)$$

$$\Delta b_{ii} = t \cdot S_{\dot{y}} \sqrt{A_{ii}} . \quad (9)$$

Если $b_i \geq \Delta b_i$, то коэффициент значим (отличен от нуля). При $b_i < \Delta b_i$ – коэффициент незначим (равен 0).

После проведения расчетов по указанным формулам получено адекватное уравнение регрессии в виде полинома второго порядка

$$y_1 = 0,201 + 0,079x_1 + 0,066x_2 + 0,036x_1x_2 - 0,018x_1^2 . \quad (10)$$

Анализ этого уравнения показывает, что наибольшее влияние на износ оказывает время точения x_1 , влияние вида покрытия меньше. Минимальный износ ($y_1 = 0,079$ мм) будет при $x_1 = -1$ и $x_2 = -1$, т.е. при времени точения 20 мин и дискретном покрытии.

Это можно объяснить тем, что образование регулярных «островковых» участков в процессе трения на поверхности скольжения приводит к снижению коэффициентов трения и износа. Поэтому применение поверхностей с регулярным микрорельефом способствует повышению сопротивления износу и схватыванию. Если на режущем инструменте формируется дискретное покрытие, то каждый его фрагмент может быть рассмотрен как обособленный микрорезец. В связи с этим можно предположить повышение износостойкости режущего инструмента с дискретным покрытием по сравнению с инструментом, имеющим сплошное покрытие. Последнее обеспечивает увеличение износостойкости резца примерно в 1,7 раза по сравнению с инструментом без покрытия, а дискретное

покрытие – в 2,2 раза. Графическое представление уравнения (10) представлено на рисунке 1.

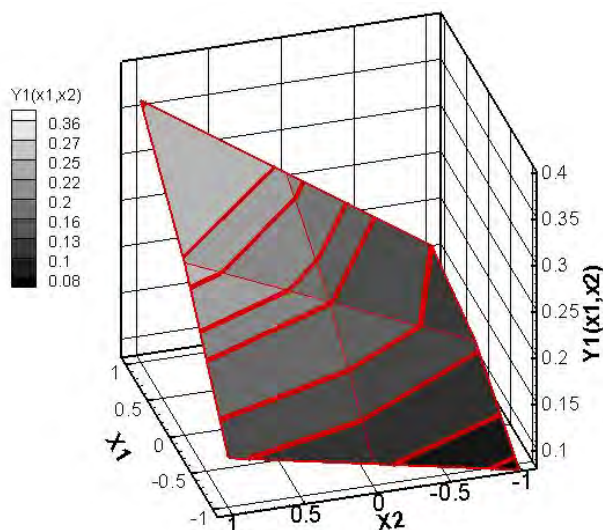


Рисунок 1 – Влияние времени точения (x_1), вида покрытия (x_2) на износ (y) покрытия из нитрида титана

В следующей серии экспериментов изучалось влияние на износ таких факторов, как: вид покрытия (дискретное, сплошное); время точения стали ШХ15, мин; скорость резания, (об./мин) – при подаче 0,1 мм/об и глубина резания 0,25 мм.

Для проведения эксперимента был выбран план $2 \times 3 \times 3$, где 2 – два уровня покрытия (x_1), а 3 – три уровня времени точения (10, 20, 30 мин) – x_2 и три уровня скорости резания x_3 – (90, 120, 150 об./мин). Ошибка воспроизводимости опытов $S_3 = 0,0094$ мм.

Матрица плана $2 \times 3 \times 3$ и результаты эксперимента приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Матрица плана 2×3×3

N	x_1	x_2	x_3	x_1x_2	x_1x_3	x_2x_3	x_2^2	x_3^2	y_2
1	-	-	-	+	+	+	+	+	0,083
2	-	-	0	+	0	0	+	0	0,090
3	-	-	+	+	-	-	+	+	0,150
4	-	0	-	0	+	0	0	+	0,090
5	-	0	0	0	0	0	0	0	0,120
6	-	0	+	0	-	0	0	+	0,195
7	-	+	-	-	+	-	+	+	0,150
8	-	+	0	-	0	0	+	0	0,173
9	-	+	+	-	-	+	+	+	0,225
10	+	-	-	-	-	+	+	+	0,090
11	+	-	0	-	0	0	+	0	0,113
12	+	-	+	-	+	-	+	+	0,210
13	+	0	-	0	-	0	0	+	0,113
14	+	0	0	0	0	0	0	0	0,203
15	+	0	+	0	+	0	0	+	0,315
16	+	+	-	+	-	-	+	+	0,195
17	+	+	0	+	0	0	+	0	0,225
18	+	+	+	+	+	+	+	+	0,360
Σ	0,542	0,592	0,734	0,142	0,24	0,053	2,064	2,176	3,100
Шифр	(1Y)	(2Y)	(3Y)	(12Y)	(13Y)	(23Y)	(22Y)	(33Y)	0Y

Обработка результатов экспериментов велась по той же методике [2]. После проверки значимости коэффициентов уравнения получена адекватная модель ($F_p = 4,05 < 3,59 = F_{\text{крит}}$ при $\alpha = 0,01$; $f_1 = 10$ и $f_2 = 17$):

$$y_2 = 0,154 + 0,03x_1 + 0,049x_2 + 0,061x_3 + 0,012x_1x_2 + 0,02x_1x_3 + 0,007x_2x_3 + 0,027x_3^2. \quad (11)$$

Из уравнения (11) видно, что в этом случае наибольшее влияние оказывает скорость резания (x_3), влияние времени точения (x_2) несколько меньше. Минимальный износ $y_2 = 0,083$ мм получен, когда все факторы были на нижних уровнях ($x_1 = -1$; $x_2 = -1$ и $x_3 = -1$), т.е. при дискретном покрытии, времени точения 10 мин и скорости

резания 90 об/мин. Рисунок 2 показывает графическую интерпретацию уравнения (11).

Максимальная величина износа ($y_2 = 0,36$), т.е. в 4 раза больше, получена при $x_1 = +1$; $x_2 = +1$; $x_3 = +1$, при сплошном покрытии в течение времени точения 30 мин и скорости резания 150 об./мин.

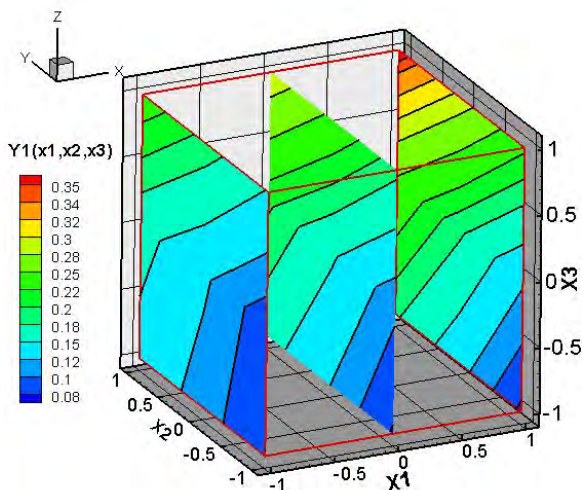


Рисунок 2 – Влияние на износ (y) вида покрытия (x_1), времени точения (x_2) и скорости резания (x_3)

Таким образом, дискретное покрытие TiN резцов из Si_3N_4 существенно повышает износостойкость последних. Это связано с тем, что термомеханические условия работы инструмента с дискретным покрытием становятся более благоприятными по сравнению со сплошным покрытием (не говоря уже о резцах без покрытия), что и предопределяет его лучшую сопротивляемость изнашиванию.

Литература

1. Гнесин, Г.Г. Влияние нитридтитанового покрытия на износ резцов из нитрида кремния / Г.Г. Гнесин, Б.А. Ляшенка // Порошковая металлургия. – 1997. – № 11/12. – С. 93–97.

2. **Вознесенский, В.А.** Статистические методы планирования эксперимента в технико-экономических исследованиях / В.А. Вознесенский. – М.: Финансы и статистика, 1981. – 264 с.

УДК 621.791.92

А.В. СТЕФАНОВИЧ (БНТУ)

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ НАПЛАВЛЕННЫХ ПОКРЫТИЙ, ПОЛУЧЕННЫХ ИЗ ПРОВОЛОКИ, ПРЕДВАРИТЕЛЬНО ПОДВЕРГНУТОЙ ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ

Введение. Для повышения износостойкости и реставрации деталей машин и инструмента широко используются покрытия, которые получают различными способами наплавки. В зависимости от условий эксплуатации к наплавленным покрытиям предъявляются различные требования. При непрерывном гальваническом осаждении металлов на проволочную заготовку для передачи постоянного тока используются скользящие катодные контакты, которые работают в условиях непрерывного скольжения проволоки по контактной поверхности в щелочных и кислых растворах. Условия эксплуатации предъявляют определенные требования к материалу катодных скользящих контактов по высокой износостойкости и коррозионной стойкости. Обязательным условием является отсутствие искрообразования в зоне контакта катодных контактов и проволочной заготовки, т.к. искрообразование создает на поверхности проволоки микронеровности. В дальнейшем в процессе волочения проволоки на микронеровностях гальваническое покрытие нарушает сплошность, что является браком. В настоящее время для изготовления катодных скользящих контактов используется коррозионностойкая сталь 12Х18Н10Т аустенитного класса, химический состав которой обеспечивает высокую коррозионную стойкость за счет легирования хромом 17–19 %, отсутствие в структуре феррита, способству-