

УДК 621.793.6

**ПОВЫШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ СТОЙКОСТИ РЕЖУЩИХ  
ТВЕРДОСПЛАВНЫХ ПЛАСТИН МЕТОДОМ ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ**

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

*Исследован процесс резания инструментами с покрытиями различного состава, нанесенными методом химико-термической обработки. Определены некоторые эксплуатационные характеристики твердосплавных режущих пластин, подвергнутых химико-термической обработке. В качестве процессов диффузионного насыщения выбраны однокомпонентные – хромирование, борирование, и двухкомпонентный – хромтитанирование. Насыщение проводили в алюмотермических, предварительно восстановленных смесях, время проведения процессов составляло 4 часа, температура – 950, 1050 °С. Покрытия наносили толщиной 5...22 мкм, что обеспечивало им оптимальные свойства. На основании результатов экспериментов выявлено влияние параметров процесса резания на инструмент с покрытием и инструмент без покрытия. С помощью метода математического планирования эксперимента получены уравнения, отражающие зависимость исследуемых факторов от параметров процесса резания.*

В настоящее время в Республике Беларусь и за рубежом в металлообработке все большее применение находит инструмент, оснащенный неперегачиваемыми пластинами с различными покрытиями [1 – 3]. В результате нанесения покрытия срок службы и показатели надежности работы режущего инструмента увеличиваются. Наряду с повышением износостойкости при работе инструментами с покрытиями уменьшаются силы резания, снижаются температуры в зоне резания, изменяется состояние поверхностного слоя обработанной детали. Поэтому нанесение защитных покрытий на режущий инструмент является эффективным, перспективным методом повышения износостойкости и нуждается в проведении дальнейших исследований.

Исследование особенностей процесса резания инструментом с покрытиями – актуальная задача, решение которой позволит рационально и эффективно его эксплуатировать.

В процессе химико-термической обработки спеченных твердых сплавов происходит изменение химического состава и структуры поверхностного слоя, возникновение внутренних напряжений, что оказывает определенное влияние на качественные характеристики поверхности, механические и режущие свойства твердых сплавов.

В последние годы широкое распространение получили процессы диффузионного упрочнения в порошковых насыщающих средах, что обусловлено следующими факторами:

- простотой реализации данного метода насыщения, его хорошей воспроизводимостью, стабильностью получаемых результатов;
- возможностью обработки деталей любой формы и конфигурации с сохранением качества их поверхности;
- возможностью оперативного применения данного метода упрочнения на любом промышленном предприятии, имеющем термические печи, так как осуществление не требует дополнительных капитальных затрат и изготовления дорогостоящей оснастки;
- возможностью многократного использования насыщающих сред, что значительно снижает его себестоимость.

Коэффициент усадки стружки служит важным показателем величины деформации, соответственно и сил резания в процессе обработки металлов. Как результат воздействия сил резания, длина образовавшейся стружки  $L_1$  получается короче пути  $L$ , пройденного резцом по обработанной поверхности. Усадку стружки по длине определяли весовым методом по формуле [4]:

$$K_L = \frac{L}{L_1} = \frac{a_1 \cdot b_1}{a \cdot b},$$

где  $a_1 \cdot b_1$  – площадь поперечного сечения стружки, определяют путем взвешивания стружки на аналитических весах с учетом того, что

$$a_1 \cdot b_1 = \frac{Q \cdot 10^3}{L \cdot \gamma},$$

где  $Q$  – масса стружки, г;  $\gamma$  – удельный вес обрабатываемого материала, г/мм<sup>3</sup>.

Так как  $a \cdot b = S \cdot t$ , то продольная усадка стружки рассчитывается по формуле:

$$K_L = \frac{Q \cdot 10^3}{L_1 \gamma S t}$$

Для измерения величины составляющих сил резания применяли комплект аппаратуры, состоящий из универсального динамометра УДМ-600, тензометрического усилителя ТА-5, блока измерительных стрелочных приборов и стабилизатора напряжения. Основу силоизмерительной аппаратуры составляет динамометр. Принцип измерения сил резания динамометром основан на том, что часть элементов его конструкции выполняется так, чтобы их деформацию под действием сил резания можно было сравнительно легко измерить. Такие элементы называются упругими.

С изменением сил резания изменяется деформация упругого элемента, и датчик передает информацию о силе резания на регистрирующее устройство. Для того чтобы найти соответствие между показаниями регистрирующего устройства и величиной силы резания в Ньютонах, проводится тарирование. Для этого на динамометр воздействуем силой, величина которой известна, и фиксируем показания регистрирующего устройства. Повторив такой прием при нескольких значениях нагружающей силы, строим тарировочный график.

Метод химико-термической обработки в порошковых насыщающих средах наиболее легко реализуется в лабораторных и промышленных условиях и дает значительное повышение стойкости твердосплавного инструмента [5]. Насыщение поверхности твердых сплавов двумя или несколькими элементами одновременно (многокомпонентное насыщение) позволяет в значительно большей мере изменять свойства поверхностного слоя, чем однокомпонентное насыщение, и получать слои с более высокими свойствами [6]. Процессы диффузионного насыщения проводили по отдельному варианту, с предварительным восстановлением насыщающей смеси при температуре 800...1100 °С с использованием реактивов классификации «ХЧ» и «Ч».

Составы смесей (в % по массе) для диффузионного насыщения твердосплавных пластин приведены в таблице 1.

Таблица 1

Составы насыщающих смесей

| Тип диффузионного слоя | Состав смеси (% по массе)  |
|------------------------|--|
| В                      | 98 % [40 % Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + 60 % (75 % В <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + 25 % Al)] + 2 % NH <sub>4</sub> Cl                                  |
| Cr                     | 98 % [40 % Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + 60 % (75 % Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + 25 % Al)] + 2 % NH <sub>4</sub> Cl                                 |
| Cr + Ti                | 98 % {50 % Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + 50 % [70 % (25 % Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + 30 % TiO <sub>2</sub> ) + 30 % Al]} + 2 % NH <sub>4</sub> Cl |

Компоненты смесей взвешивали, а затем тщательно перемешивали. Поверхности твердосплавных пластин перед упаковкой обезжировали ацетоном. На дно контейнера насыпали активатор NH<sub>4</sub>Cl, засыпали слой смеси толщиной 10...15 мм и укладывали ряд пластин. Расстояние между рядами – 5...10 мм, до стенок контейнера – 10 мм, над последним рядом пластин слой смеси составлял 30...40 мм. Поверх смеси клали листовой асбест, затем слой песка (толщиной 10...15 мм). Для герметизации контейнера применяли плавкий затвор из борного ангидрида. При высокой температуре (550 °С) затвор расплавляется, тем самым исключается возможность доступа кислорода воздуха, что предохраняет смесь и детали от окисления. Упакованные контейнеры помещали в печь, нагревали до температуры 900 °С (для процесса борирования) и 1050 °С (для процесса хромирования и хромотитанирования), выдержали при этой температуре 4 часа. Заданную температуру в печи поддерживали с помощью автоматического электронного потенциометра. Термопару устанавливали вблизи стенок контейнера.

После проведения процесса диффузионного насыщения производили распаковку контейнера и очистку поверхности пластин от остатков смеси. Внешний вид пластин после процесса химико-термической обработки показан на рисунке.



Внешний вид твердосплавных пластин после химико-термической обработки

Результаты замера геометрических параметров инструмента сведены в таблицу 2.

Таблица 2

Результаты замера геометрических параметров инструмента

| Наименование углов | Главная режущая кромка |                 | Вспомогательная режущая кромка |                 |
|--------------------|------------------------|-----------------|--------------------------------|-----------------|
|                    | обозначение            | величина, град. | обозначение                    | величина, град. |
| Передний угол      | $\gamma$               | -5              | $\gamma_1$                     | -5              |
| Задний угол        | $\alpha$               | 8               | $\alpha_1$                     | 8               |
| Угол заострения    | $\beta$                | 82              | $\beta_1$                      | 82              |
| Угол резания       | $\delta$               | 87              | $\delta_1$                     | 87              |
| Угол в плане       | $\varphi$              | 45              | $\varphi_1$                    | 45              |
| Угол при вершине   | $\epsilon$             | 90              | -                              | -               |

Расчет режимов резания производился по стандартной методике [7 – 9].

Материал – жаропрочная сталь.

Станок – 16К20П.

Материал режущей части инструмента:

1) ТН-25; 2) ВК8; 3) Т15К6.

Выбираем глубину резания  $t = 0,3$  мм. Так как исследования проводим для чистовой обработки, то подача  $S = 0,2$  мм/об.

Скорость резания рассчитываем по формуле:

$$V = \frac{C_v}{T^{m_t} S^y} \cdot K_v,$$

где  $C_v = 420$ ;  $T = 50$  мин – стойкость инструмента;  $m = 0,2$ ,  $x = 0,15$ ,  $y = 0,2$  – показатели степени;  $K_v$  – поправочный коэффициент ( $K_v = K_{mv} \cdot K_{mv} \cdot K_{iv}$ );  $K_v = 0,8 \cdot 0,9 \cdot 0,8 = 0,6$  (для ТН-25);  $K_v = 0,8 \cdot 0,9 \cdot 1,0 = 0,72$  (для ВК8);  $K_v = 0,8 \cdot 0,9 \cdot 1,4 = 0,98$  (для Т15К6).

$$1. V = \frac{420}{50^{0,2} \cdot 0,3^{0,15} \cdot 0,2^{0,2}} \cdot 0,6 = 124 \text{ м/мин} = 2,07 \text{ м/с.}$$

Определяем число оборотов шпинделя:

$$n = \frac{1000}{\pi D},$$

где  $D$  – диаметр заготовки.

$$n = \frac{1000 \cdot 124}{\pi \cdot 80} = 490 \text{ мин}^{-1}.$$

По паспорту станка ближайшее значение  $n_{np} = 500 \text{ мин}^{-1}$ , следовательно,

$$V = \frac{\pi \cdot 80 \cdot 500}{1000 \text{ мин}} = 134 \text{ м/мин.}$$

$$2. V = \frac{420}{50^{0,2} \cdot 0,3^{0,15} \cdot 0,2^{0,2}} \cdot 0,72 = 158 \text{ м/мин.}$$

$$n = \frac{1000 \cdot 158}{\pi \cdot 80} = 628 \text{ мин}^{-1}.$$

$$n_{np} = 630 \text{ мин}^{-1}.$$

$$V = \frac{\pi \cdot 80 \cdot 630}{1000 \text{ мин}} = 168 \text{ м/мин.}$$

$$3. V = \frac{420}{50^{0,2} \cdot 0,3^{0,15} \cdot 0,2^{0,2}} \cdot 0,98 = 190 \text{ м/мин.}$$

$$n = \frac{1000 \cdot 190}{\pi \cdot 80} = 753 \text{ об/мин.}$$

$$n_{np} = 800 \text{ мин}^{-1}.$$

$$V = \frac{\pi \cdot 80 \cdot 800}{1000 \text{ мин}} = 214 \text{ м/мин}.$$

Ход резца  $l = 40$  мм.

Исследование характеристик процесса резания проводим с применением метода математического планирования [10].

Характеристику цели, заданную количественно, называют параметром оптимизации. Параметр оптимизации является реакцией, или откликом, на воздействие факторов, определяющих поведение исследуемого процесса. Результаты эксперимента используют для получения математической модели исследуемого процесса. Математическая модель – это уравнение, связывающее параметр оптимизации с факторами (такое уравнение называют также функцией отклика).

Переменные  $x_1, x_2, \dots, x_n$  называются факторами, а числовые значения, которые могут быть заданы в процессе проведения эксперимента, – уровнями. Функция  $y$  от независимых переменных образует поверхность отклика произвольной формы.

При полном факторном эксперименте выбор области эксперимента производят на основе априорной информации. В этой области устанавливают основные уровни и интервалы варьирования факторов. Основным уровнем фактора называют его значение, принятое за исходное в плане эксперимента. Основные уровни факторов выбирают таким образом, чтобы их сочетание отвечало значению параметра оптимизации, по возможности более близкому к оптимальному.

Интервалом варьирования фактора называют число (свое для каждого фактора), прибавление которого к основному уровню дает верхний уровень фактора, а вычитание – нижний. Интервал варьирования не может быть выбран меньше той ошибки, с которой экспериментатор фиксирует уровень фактора. Интервал варьирования не может быть настолько большим, чтобы верхний или нижний уровни выходили за пределы области определения

Насыщение поверхности твердых сплавов двумя или несколькими элементами одновременно (многокомпонентное насыщение) позволяет в значительно большей мере изменять свойства поверхностного слоя, чем однокомпонентное насыщение, и получать слои с более высокими свойствами.

Результаты сравнительных испытаний твердосплавных пластин Т15К6 с нанесенными на них различного типа покрытиями показывают следующее: коэффициент усадки стружки по длине для пластин с покрытием несколько меньше, чем для стандартных пластин, что означает меньшую степень деформации стружки. Это подтверждает общеизвестный эффект снижения усилий резания для пластин с покрытиями на 10...15 % [11].

Матрица планирования для полного факторного эксперимента для определения коэффициента усадки стружки ротационного резца представлена в таблице 3.

Таблица 3

Матрица планирования эксперимента

| № п/п | $t(x_1)$ , мм | $S(x_2)$ , мм/об | $V(x_3)$ , м/мин | $Q_{cp}$ | $L_{cp}$ | $K_{Lвесов}(Y)$ |
|-------|---------------|------------------|------------------|----------|----------|-----------------|
| 1     | 0,5           | 0,26             | 200              | 0,270    | 80       | 3,328           |
| 2     | 1             | 0,26             | 200              | 0,323    | 72,5     | 2,196           |
| 3     | 0,5           | 0,52             | 200              | 0,330    | 58       | 2,805           |
| 4     | 1             | 0,52             | 200              | 0,623    | 86,5     | 1,775           |
| 5     | 0,5           | 0,26             | 400              | 0,263    | 91       | 2,850           |
| 6     | 1             | 0,26             | 400              | 0,330    | 83       | 1,960           |
| 7     | 0,5           | 0,52             | 400              | 0,296    | 90,6     | 1,611           |
| 8     | 1             | 0,52             | 400              | 0,563    | 113,3    | 1,225           |

После перевода кодированных переменных в реальные получим следующие уравнения регрессии:

- для хромированной пластины:

$$K_l = 2,92 + 0,1x_1 - 1,003x_2 - 0,053x_3 + 0,007x_1 \cdot x_2;$$

- для пластины без покрытия:

$$K_l = 2,25 + 0,15x_1 - x_2 - 0,2x_3 - 0,33x_1 \cdot x_2;$$

- для ротационного резца:

$$K_l = 2,114 + 0,354 \cdot t - 0,289S - 0,382 \cdot V - 7,5 \cdot 10^{-4} \cdot S \cdot t - 0,185 \cdot t \cdot V + 0,573 \cdot S \cdot V.$$

В результате проведенных исследований получили следующие экспериментальные данные (табл. 4).

Таблица 4

Значения составляющих силы резания

| Тип покрытия | Составляющие силы резания |                      |                          |
|--------------|---------------------------|----------------------|--------------------------|
|              | осевая $P_x, mV$          | радиальная $P_y, mV$ | тангенциальная $P_z, mV$ |
| Cr           | 215                       | 250                  | 120                      |
| B            | 235                       | 260                  | 150                      |
| Cr + Ti      | 225                       | 260                  | 115                      |
| Без покрытия | 260                       | 280                  | 120                      |

Результаты исследования, приведенные в таблице 4, показали, что имеет место уменьшение величины составляющих силы резания для пластин с покрытиями.

Испытания проводились при следующих режимах резания: глубина резания  $t = 1$  мм; подача на оборот  $S = 0,2$  мм/об; скорость резания  $V = 84$  м/мин.

Матрицы планирования эксперимента для пластин из материалов ТН25, ВК8, Т15К6 без покрытия и с покрытием (В, Cr) представлены в таблицах 5 – 12.

Таблица 5

Матрица планирования  $2^3$  для пластин ТН25 без покрытия

| № опыта | $X_1(t)$ , мм | $X_2(S)$ , мм/об | $X_3(V)$ , м/мин | $Y_1(P_x)$ , Н | $Y_2(P_y)$ , Н | $Y_3(P_z)$ , Н | $Y_4(U_n)$ , мкм | $Y_5(U_{32л})$ , мкм | $Y_6(U_{3всн})$ , мкм |
|---------|---------------|------------------|------------------|----------------|----------------|----------------|------------------|----------------------|-----------------------|
| 1       | 0,5           | 0,3              | 168/630          | 1100           | 431            | 625            | 91               | 131                  | 88                    |
| 2       | 0,1           | 0,3              | 168              | 200            | 258            | 125            | 46               | 71                   | 59                    |
| 3       | 0,5           | 0,1              | 168              | 150            | 465            | 375            | 60               | 100                  | 74                    |
| 4       | 0,1           | 0,1              | 168              | 800            | 207            | 125            | 40               | 63                   | 110                   |
| 5       | 0,5           | 0,3              | 106/400          | 1000           | 431            | 875            | 60               | 65                   | 92                    |
| 6       | 0,1           | 0,3              | 106              | 300            | 120            | 500            | 47               | 229                  | 103                   |
| 7       | 0,5           | 0,1              | 106              | 500            | 94             | 375            | 43               | 84                   | 74                    |
| 8       | 0,1           | 0,1              | 106              | 150            | 51             | 125            | 45               | 306                  | 77                    |
| 9       | 0,3           | 0,2              | 600              | 172            | 625            | 44             | 130              | 76                   |                       |
| 10      | 0,3           | 0,2              | 400              | 189            | 1250           | 41             | 141              | 85                   |                       |
| 11      | 0,3           | 0,2              | 700              | 224            | 500            | 40             | 129              | 74                   |                       |
| 12      | 0,3           | 0,2              | 700              | 181            | 500            | 45             | 132              | 80                   |                       |
| 13      | 0,3           | 0,2              | 650              | 241            | 750            | 60             | 120              | 72                   |                       |
| 14      | 0,3           | 0,2              | 600              | 172            | 625            | 42             | 140              | 84                   |                       |
| 15      | 0,3           | 0,2              | 800              | 218            | 500            | 43             | 142              | 79                   |                       |
| 16      | 0,3           | 0,2              | 750              | 207            | 375            | 44             | 133              | 75                   |                       |

Таблица 6

Матрица планирования  $2^3$  для пластин ТН25 с покрытием В

| № опыта | $X_1(t)$ , мм | $X_2(S)$ , мм/об | $X_3(V)$ , м/мин | $Y_1(P_x)$ , Н | $Y_2(P_y)$ , Н | $Y_3(P_z)$ , Н | $Y_4(U_n)$ , мкм | $Y_5(U_{32л})$ , мкм | $Y_6(U_{3всн})$ , мкм |
|---------|---------------|------------------|------------------|----------------|----------------|----------------|------------------|----------------------|-----------------------|
| 1       | 0,5           | 0,3              | 168/630          | 600            | 345            | 750            | 53               | 34                   | 30                    |
| 2       | 0,1           | 0,3              | 168              | 50             | 172            | 125            | 37               | 47                   | 44                    |
| 3       | 0,5           | 0,1              | 168              | 500            | 120            | 250            | 34               | 60                   | 70                    |
| 4       | 0,1           | 0,1              | 168              | 600            | 51             | 250            | 57               | 42                   | 30                    |
| 5       | 0,5           | 0,3              | 106/400          | 600            | 172            | 750            | 48               | 35                   | 59                    |
| 6       | 0,1           | 0,3              | 106              | 50             | 138            | 375            | 64               | 56                   | 44                    |
| 7       | 0,5           | 0,1              | 106              | 550            | 155            | 500            | 47               | 51                   | 69                    |
| 8       | 0,1           | 0,1              | 106              | 400            | 120            | 375            | 52               | 56                   | 75                    |
| 9       | 0,3           | 0,2              | 134/500          | 400            | 189            | 500            | 52               | 34                   | 49                    |
| 10      | 0,3           | 0,2              | 134              | 450            | 224            | 125            | 56               | 40                   | 59                    |
| 11      | 0,3           | 0,2              | 134              | 600            | 172            | 375            | 50               | 42                   | 48                    |
| 12      | 0,3           | 0,2              | 134              | 600            | 198            | 250            | 53               | 35                   | 52                    |
| 13      | 0,3           | 0,2              | 134              | 400            | 232            | 125            | 56               | 39                   | 50                    |
| 14      | 0,3           | 0,2              | 134              | 500            | 207            | 500            | 52               | 43                   | 57                    |
| 15      | 0,3           | 0,2              | 134              | 550            | 198            | 375            | 51               | 40                   | 59                    |
| 16      | 0,3           | 0,2              | 134              | 450            | 224            | 375            | 50               | 35                   | 48                    |

Таблица 7

Матрица планирования  $2^3$  для пластин ТН25 с покрытием Сг

| № опыта | $X_1(t)$<br>мм | $X_2(S)$<br>мм/об | $X_3(V)$<br>м/мин | $Y_1(P_x)$<br>Н | $Y_2(P_y)$<br>Н | $Y_3(P_z)$<br>Н | $Y_4(U_n)$<br>мкм | $Y_5(U_{3эл})$ м<br>км | $Y_6(U_{3эст})$ м<br>мкм |
|---------|----------------|-------------------|-------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-------------------|------------------------|--------------------------|
| 1       | 0,5            | 0,3               | 168/630           | 1000            | 396             | 750             | 78                | 70                     | 87                       |
| 2       | 0,1            | 0,3               | 168               | 300             | 172             | 750             | 65                | 74                     | 124                      |
| 3       | 0,5            | 0,1               | 168               | 800             | 258             | 500             | 81                | 111                    | 122                      |
| 4       | 0,1            | 0,1               | 168               | 400             | 224             | 250             | 93                | 75                     | 163                      |
| 5       | 0,5            | 0,3               | 106/400           | 500             | 345             | 500             | 71                | 83                     | 124                      |
| 6       | 0,1            | 0,3               | 106               | 300             | 224             | 500             | 58                | 86                     | 128                      |
| 7       | 0,5            | 0,1               | 106               | 600             | 207             | 375             | 118               | 75                     | 155                      |
| 8       | 0,1            | 0,1               | 106               | 1000            | 345             | 625             | 99                | 132                    | 126                      |
| 9       | 0,3            | 0,2               | 134/500           | 500             | 258             | 625             | 78                | 82                     | 77                       |
| 10      | 0,3            | 0,2               | 134               | 600             | 241             | 375             | 61                | 87                     | 75                       |

Таблица 8

Матрица планирования  $2^3$  для пластин ВК8 без покрытия

| № опыта | $X_1(t)$<br>мм | $X_2(S)$<br>мм/об | $X_3(V)$<br>м/мин | $Y_1(P_x)$<br>Н | $Y_2(P_y)$<br>Н | $Y_3(P_z)$<br>Н | $Y_4(U_n)$<br>мкм | $Y_5(U_{3эл})$ м<br>км | $Y_6(U_{3эст})$ м<br>км |
|---------|----------------|-------------------|-------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-------------------|------------------------|-------------------------|
| 1       | 0,5            | 0,3               | 214/800           | 300             | 603             | 500             | 101               | 90                     | 80                      |
| 2       | 0,1            | 0,3               | 214               | 400             | 258             | 250             | 90                | 71                     | 80                      |
| 3       | 0,5            | 0,1               | 214               | 400             | 258             | 125             | 70                | 82                     | 154                     |
| 4       | 0,1            | 0,1               | 214               | 300             | 414             | 500             | 152               | 80                     | 221                     |
| 5       | 0,5            | 0,3               | 134/500           | 1500            | 431             | 500             | 83                | 150                    | 385                     |
| 6       | 0,1            | 0,3               | 134               | 400             | 258             | 250             | 114               | 184                    | 223                     |
| 7       | 0,5            | 0,1               | 134               | 1000            | 603             | 500             | 119               | 81                     | 122                     |
| 8       | 0,1            | 0,1               | 134               | 150             | 172             | 250             | 87                | 85                     | 229                     |
| 9       | 0,3            | 0,2               | 168/630           | 1000            | 258             | 500             | 86                | 109                    | 108                     |
| 10      | 0,3            | 0,2               | 168               | 500             | 172             | 375             | 102               | 131                    | 106                     |

Таблица 9

Матрица планирования  $2^3$  для пластин ВК8 с покрытием В

| № опыта | $X_1(t)$<br>мм | $X_2(S)$<br>мм/об | $X_3(V)$<br>м/мин | $Y_1(P_x)$<br>Н | $Y_2(P_y)$<br>Н | $Y_3(P_z)$<br>Н | $Y_4(U_n)$<br>мкм | $Y_5(U_{3эл})$ м<br>км | $Y_6(U_{3эст})$ м<br>мкм |
|---------|----------------|-------------------|-------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-------------------|------------------------|--------------------------|
| 1       | 0,5            | 0,3               | 214/800           | 500             | 431             | 125             | 65                | 70                     | 188                      |
| 2       | 0,1            | 0,3               | 214               | 100             | 172             | 125             | 99                | 129                    | 133                      |
| 3       | 0,5            | 0,1               | 214               | 500             | 431             | 375             | 119               | 89                     | 118                      |
| 4       | 0,1            | 0,1               | 214               | 400             | 517             | 125             | 119               | 93                     | 106                      |
| 5       | 0,5            | 0,3               | 134/500           | 1500            | 189             | 1000            | 65                | 109                    | 132                      |
| 6       | 0,1            | 0,3               | 134               | 100             | 517             | 375             | 105               | 71                     | 124                      |
| 7       | 0,5            | 0,1               | 134               | 700             | 120             | 500             | 86                | 94                     | 122                      |
| 8       | 0,1            | 0,1               | 134               | 300             | 250             | 250             | 25                | 25                     | 116                      |
| 9       | 0,3            | 0,2               | 168/630           | 500             | 431             | 375             | 81                | 142                    | 111                      |
| 10      | 0,3            | 0,2               | 168               | 600             | 517             | 125             | 92                | 120                    | 113                      |

Таблица 10

Матрица планирования  $2^3$  для пластин Т15К6 без покрытия

| № опыта | $X_1(t)$<br>мм | $X_2(S)$<br>мм/об | $X_3(V)$<br>м/мин | $Y_1(P_x)$<br>Н | $Y_2(P_y)$<br>Н | $Y_3(P_z)$<br>Н | $Y_4(U_n)$<br>мкм | $Y_5(U_{3эл})$ м<br>км | $Y_6(U_{3эст})$ м<br>км |
|---------|----------------|-------------------|-------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-------------------|------------------------|-------------------------|
| 1       | 0,5            | 0,3               | 267/1000          | 1500            | 603             | 500             | 71                | 79                     | 112                     |
| 2       | 0,1            | 0,3               | 267               | 300             | 517             | 375             | 55                | 108                    | 77                      |
| 3       | 0,5            | 0,1               | 267               | 1600            | 517             | 125             | 65                | 65                     | 96                      |
| 4       | 0,1            | 0,1               | 267               | 200             | 293             | 500             | 37                | 112                    | 83                      |
| 5       | 0,5            | 0,3               | 168/630           | 500             | 120             | 375             | 41                | 66                     | 53                      |
| 6       | 0,1            | 0,3               | 168               | 200             | 465             | 125             | 48                | 56                     | 76                      |
| 7       | 0,5            | 0,1               | 168               | 1100            | 207             | 250             | 49                | 39                     | 46                      |
| 8       | 0,1            | 0,1               | 168               | 200             | 69              | 150             | 40                | 50                     | 99                      |

Окончание таблицы 10

| № опыта | $X_1(t)$<br>мм | $X_2(S)$<br>мм/об | $X_3(V)$<br>м/мин | $Y_1(P_x)$<br>н | $Y_2(P_y)$<br>н | $Y_3(P_z)$<br>н | $Y_4(U_n)$<br>мкм | $Y_5(U_{3эл})$ м<br>км | $Y_6(U_{3эст})$ м<br>км |
|---------|----------------|-------------------|-------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-------------------|------------------------|-------------------------|
| 9       | 0,3            | 0,2               | 214               | 500             | 345             | 125             | 44                | 47                     | 66                      |
| 10      | 0,3            | 0,2               | 214               | 300             | 258             | 250             | 39                | 57                     | 51                      |
| 11      | 0,3            | 0,2               | 214               | 650             | 172             | 125             | 40                | 65                     | 68                      |
| 12      | 0,3            | 0,2               | 214               | 400             | 207             | 375             | 41                | 51                     | 75                      |
| 13      | 0,3            | 0,2               | 214               | 700             | 293             | 125             | 38                | 60                     | 70                      |
| 14      | 0,3            | 0,2               | 214               | 550             | 207             | 125             | 42                | 52                     | 72                      |
| 15      | 0,3            | 0,2               | 214               | 600             | 258             | 210             | 40                | 48                     | 76                      |
| 16      | 0,3            | 0,2               | 214               | 300             | 345             | 125             | 45                | 63                     | 60                      |

Таблица 11

Матрица планирования  $2^3$  для пластин Т15К6 с покрытием В

| № опыта | $X_1(t)$<br>мм | $X_2(S)$<br>мм/об | $X_3(V)$<br>м/мин | $Y_1(P_x)$<br>н | $Y_2(P_y)$<br>н | $Y_3(P_z)$<br>н | $Y_4(U_n)$<br>мкм | $Y_5(U_{3эл})$ м<br>км | $Y_6(U_{3эст})$ м<br>км |
|---------|----------------|-------------------|-------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-------------------|------------------------|-------------------------|
| 1       | 2              | 3                 | 4                 | 5               | 6               | 7               | 8                 | 9                      | 10                      |
| 1       | 0,5            | 0,3               | 267/1000          | 1500            | 431             | 875             | 51                | 45                     | 80                      |
| 2       | 0,1            | 0,3               | 267               | 100             | 431             | 1350            | 52                | 47                     | 86                      |
| 3       | 0,5            | 0,1               | 267               | 500             | 120             | 750             | 54                | 83                     | 65                      |
| 4       | 0,1            | 0,1               | 267               | 350             | 86              | 375             | 42                | 72                     | 66                      |
| 5       | 0,5            | 0,3               | 168/630           | 1400            | 345             | 1000            | 44                | 78                     | 72                      |
| 6       | 0,1            | 0,3               | 168               | 1500            | 207             | 1000            | 49                | 103                    | 84                      |
| 7       | 0,5            | 0,1               | 168               | 1200            | 138             | 750             | 51                | 97                     | 89                      |
| 8       | 0,1            | 0,1               | 168               | 150             | 138             | 125             | 45                | 86                     | 70                      |
| 9       | 0,3            | 0,2               | 214/800           | 700             | 293             | 250             | 42                | 70                     | 77                      |
| 10      | 0,3            | 0,2               | 214               | 700             | 189             | 750             | 29                | 59                     | 127                     |
| 11      | 0,3            | 0,2               | 214               | 850             | 258             | 500             | 41                | 47                     | 85                      |
| 12      | 0,3            | 0,2               | 214               | 900             | 207             | 250             | 39                | 69                     | 96                      |
| 13      | 0,3            | 0,2               | 214               | 750             | 172             | 750             | 45                | 52                     | 70                      |
| 14      | 0,3            | 0,2               | 214               | 650             | 189             | 250             | 35                | 58                     | 75                      |
| 15      | 0,3            | 0,2               | 214               | 800             | 276             | 250             | 40                | 60                     | 80                      |
| 16      | 0,3            | 0,2               | 214               | 750             | 241             | 500             | 42                | 63                     | 82                      |

Таблица 12

Матрица планирования  $2^3$  для пластин Т15К6 с покрытием Сг

| № опыта | $X_1(t)$<br>мм | $X_2(S)$<br>мм/об | $X_3(V)$<br>м/мин | $Y_1(P_x)$<br>н | $Y_2(P_y)$<br>н | $Y_3(P_z)$<br>н | $Y_4(U_n)$<br>мкм | $Y_5(U_{3эл})$ м<br>км | $Y_6(U_{3эст})$ м<br>км |
|---------|----------------|-------------------|-------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-------------------|------------------------|-------------------------|
| 1       | 0,5            | 0,3               | 267/1000          | 1500            | 345             | 1500            | 71                | 96                     | 78                      |
| 2       | 0,1            | 0,3               | 267               | 50              | 276             | 125             | 49                | 109                    | 76                      |
| 3       | 0,5            | 0,1               | 267               | 800             | 138             | 250             | 35                | 71                     | 66                      |
| 4       | 0,1            | 0,1               | 267               | 250             | 103             | 1000            | 34                | 71                     | 94                      |
| 5       | 0,5            | 0,3               | 168/630           | 900             | 155             | 125             | 64                | 66                     | 92                      |
| 6       | 0,1            | 0,3               | 168               | 50              | 34              | 1250            | 70                | 73                     | 62                      |
| 7       | 0,5            | 0,1               | 168               | 1000            | 155             | 750             | 61                | 83                     | 78                      |
| 8       | 0,1            | 0,1               | 168               | 350             | 103             | 500             | 136               | 54                     | 83                      |
| 9       | 0,3            | 0,2               | 214               | 500             | 172             | 250             | 77                | 124                    | 46                      |
| 10      | 0,3            | 0,2               | 214               | 500             | 172             | 125             | 62                | 70                     | 108                     |
| 11      | 0,3            | 0,2               | 214               | 1000            | 155             | 750             | 110               | 83                     | 95                      |
| 12      | 0,3            | 0,2               | 214               | 500             | 138             | 1250            | 72                | 123                    | 50                      |
| 13      | 0,3            | 0,2               | 214               | 700             | 163             | 125             | 70                | 106                    | 78                      |
| 14      | 0,3            | 0,2               | 214               | 500             | 189             | 500             | 85                | 92                     | 64                      |
| 15      | 0,3            | 0,2               | 214               | 900             | 138             | 250             | 64                | 85                     | 49                      |
| 16      | 0,3            | 0,2               | 214               | 1000            | 172             | 250             | 101               | 120                    | 52                      |

Примечание. Опыты с номерами 9 – 16 во всех случаях направлены на получение основного уровня.

Таким образом, можно отметить:

- для сплавов ТН-25, ВК8 без покрытия значения сил  $P_x$  и  $P_z$  больше, чем для пластин с покрытием;
- по пластинам Т15К6 с покрытием результаты получились обратные, что, скорее всего, объясняется механическим разрушением покрытия за счет высоких режимов резания;
- сила  $P_y$  колеблется примерно на одном уровне практически для всех сплавов (кроме борированной пластины ВК8).

Анализ результатов величин износа показал:

- покрытия дают уменьшение износа по задней поверхности (пластины ТН-25, хромированные и борированные);
- для сплавов ВК8 и Т15К6 у пластин с покрытием и без покрытия износ практически одинаковый. Это можно объяснить высокой прочностью обрабатываемого материала, за счет чего происходит скол инструмента.

По результатам расчетов можно сделать **выводы**:

Для силы  $P_x$ :

- у сплавов без покрытия Т15К6 и ВК8 наибольшее значение имеет постоянный коэффициент;
- для сплава ТН-25 с покрытием и без и для сплава Т15К6 с борированным покрытием наибольшее влияние на составляющую  $P_x$  оказывает совместное действие глубины резания  $t$  и подачи  $S$ .

Для силы  $P_y$ :

- большое влияние на величину силы  $P_y$  для сплава Т15К6 оказывает глубина  $t$  и совместное действие  $t$  и  $S$ . Изменение знака при коэффициентах говорит об изменении характера протекания процессов для пластин с покрытием и без;
- для сплава ВК8 знаки при коэффициентах примерно одинаковы, однако для пластин ВК8 без покрытия значения коэффициентов больше. Основное влияние оказывает совместное действие  $t$  и  $S$ , причем с увеличением глубины и подачи величина силы  $P_y$  резко падает;
- для сплава ТН-25 наибольшее влияние на  $P_y$  оказывает подача  $S$ . Значения коэффициента для пластин с покрытием и без резко отличаются, а для ТН-25 с борированием меняется знак при коэффициенте.

Для силы  $P_z$ :

- для сплавов ВК8, ТН-25, Т15К6 без покрытия и Т15К6 с хромированием более всего влияет совместное действие  $t$  и  $S$ , причем для Т15К6 с хромированием возрастание значений подачи и глубины дает значительное уменьшение  $P_z$ ;
- для сплава Т15К6 борированного главное влияние оказывает подача  $S$ ;
- для сплава ВК8 борированного постоянный коэффициент имеет наибольшее значение;
- для сплава ТН-25 хромированного с увеличением глубины резания  $t$  и величины подачи  $S$  увеличивается и значение силы  $P_z$ .

Износ по передней поверхности:

- для сплава Т15К6 без покрытия постоянный коэффициент имеет наибольшее значение;
- для сплава Т15К6 хромированного главное влияние оказывает совместное действие  $t$  и  $S$ ;
- для сплава ВК8 без покрытия с увеличением  $S$  и  $t$  резко уменьшается значение износа  $U_n$ ;
- для сплава ВК8 борированного коэффициенты при  $t$  и  $S$  имеют противоположные знак по сравнению с пластинами без покрытия, что означает изменение характера протекания процесса;
- для сплава ТН-25 без покрытия наибольшее влияние оказывает скорость  $V$ ;
- для сплава ТН-25 хромированного наибольшее значение имеет коэффициент при подаче  $S$ ;
- для сплава ТН-25 борированного значительное влияние оказывает совместное действие  $t$  и  $S$ .

Износ по задней поверхности:

- для сплава ВК8 борированного наибольшее значение имеет постоянный коэффициент;
- для сплава ТН-25 главное влияние оказывают  $t$  и совместное действие  $t$  и  $S$ , причем пластины с покрытием и без имеют противоположные знаки при коэффициентах;
- для сплава Т15К6 без покрытия наибольшее значение оказывает коэффициента глубины резания  $t$ ;
- для сплава Т15К6 с покрытием больше других факторов оказывают влияние подача  $S$  и глубина резания  $t$ .

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Похмурский, В.И. Влияние диффузионных покрытий на прочностные свойства сталей / В.И. Похмурский // Защитные покрытия на металлах. – Киев, 1970. – № 3. – С. 191 – 200.
2. Восстановление деталей машин / Ф.И. Пантелеенко [и др.]. – М.: Машиностроение, 2003. – 672 с.



3. Химико-термическая обработка металлов и сплавов. Справочник / Г.В. Борисенок [и др.]. – М.: Металлургия, 1981. – 424 с.
4. Ящерицын, П.И. Теория резания. Физические и тепловые процессы в технологических системах / П.И. Ящерицын, М.Л. Еременко, Е.Э. Фельдштейн. – Минск: Выш. шк., 1990. – 512 с.
5. Панов, В.С. Технология и свойства спеченных твердых сплавов и изделий из них: учеб. пособие для вузов / В.С. Панов, А.М. Чувилин. – М.: МИСиС, 2001. – 432 с.
6. Земсков, Г.В. Некоторые особенности одновременного диффузионного насыщения двумя элементами / Г.В. Земсков // Защитные покрытия на металлах. – 1972. – Вып. 6. – С. 28 – 34.
7. Балабанов, А.Н. Краткий справочник технолога-машиностроителя / А.Н. Балабанов. – М.: Изд-во стандартов, 1992. – 464 с.
8. Обработка металлов резанием. Справочник технолога / А.Л. Панов [и др.]. – М.: Машиностроение, 1988. – 736 с.
9. Общемашиностроительные нормативы режимов резания / А.Д. Локтев [и др.]. – М.: Машиностроение, 1991. –Т. 1. – 640 с.
10. Спиридонов, А.А. Планирование эксперимента при исследовании и оптимизации технологических процессов / А.А. Спиридонов, Н.Г. Васильев. – Свердловск: УПИ, 1975. – 190 с.
11. Верещака, А.С. Режущие инструменты с износостойкими покрытиями / А.С. Верещака, И.П. Третьяков. – М.: Машиностроение, 1986. – 192 с.
12. Технология конструкционных материалов и материаловедение / М.Т. Коротких. – СПб.: СПбГПУ, 2004. – 104 с.

Поступила 20.01.2013

#### INCREASE OF SERVICE DURABILITY OF CARBIDE INSERTS BY CHEMICOTHERMAL TREATMENT

*A. DOLGIKH*

*The process of cutting with the instruments with coverings of different composition, applied by chemicothermal treatment, is studied. Some operational characteristics of carbide inserts, subjected to chemicothermal treatment, are defined. As processes of diffusion saturation single-component (chromium-plating, boriding) and two-component (chromium-titanizing) ones were chosen. Saturation was conducted in aluminothermic mixtures, reduced beforehand. Conduction time – 4 hours, temperature – 950, 1050 °C. Coverings were applied at thickness of 5...22 micron, which ensured their optimal properties. According to the results of the experiments influence of the parameters of the process of cutting on the instrument with covering and without it is revealed. With the help of the method of mathematical planning of the experiment equations, reflecting the dependence of the studied factors on the parameters of the process of cutting are obtained.*