

УДК 621.785

А. Б. Бобин, асп.,  
М. Н. Бобина, канд. техн. наук.,  
В. Г. Хижняк, д-р техн. наук, проф.,  
М. В. Аршук, асп.

### ТИТАНОАЗОТИРОВАНИЕ ТВЕРДЫХ СПЛАВОВ ВК8 И Т15К6 ПРИ ПОНИЖЕННОМ ДАВЛЕНИИ

<sup>1</sup>Национальный технический университет «КПИ»  
marina351@rambler.ru.

*Исследованы физико-химические условия процесса титаноазотирования твердых сплавов ВК8 и Т15К6, фазовый состав, структура и некоторые свойства фаз, входящих в состав покрытия. Разработан способ нанесения комплексных покрытий на основе карбида и нитрида титана. Производственные испытания показали повышение стойкости многогранных неплетачиваемых твердосплавных пластин при обработке различных материалов по сравнению с исходными.*

**Суть исследования.** Применение защитных покрытий на основе тугоплавких карбидов давно известно и используется для повышения устойчивости и трудоспособности инструмента из твердых сплавов. Упрочнение поверхности твердосплавного инструмента покрытиями на основе карбидов титана позволяет повысить устойчивость в 3 – 5 раз. Одним из перспективных направлений в обозначенной отрасли является получение многослойных покрытий, у которых каждый из слоев выполняет свое функциональное предназначение. Реализация такого направления во время ХТО становится возможным при условии, когда диффузионное насыщение твердых сплавов выполняется из образованием двух и больше соединений переходных элементов, например, карбида и нитрида титана.

**Постановка задачи.** Целью работы является разработка нового высокоэффективного способа нанесения многослойных покрытий на основе соединений титана.

Для решения этой задачи определялись технологические параметры процесса комплексного насыщения твердых сплавов титаном, углеродом и азотом.

Получение новых комплексных покрытий и способов их

нанесения возможно при условии изучения химизма и термодинамических условий этих процессов, а также проведения анализа равновесного состава системы с участием основных компонентов насыщающей смеси и компонентов исходного обрабатываемого сплава.

В работе рассчитаны реакции получения карбидов, нитридов и оксидов титана, протекающие в реакционном пространстве при комплексном насыщении твердых сплавов титаном, углеродом, азотом и кислородом.

**Методика исследования.** Образцы с покрытиями были исследованы известными методами физического материаловедения: микроструктурным, рентгеноструктурным, микрорентгеноспектральным, а также испробованы при производственных условиях при обработке сталей различных марок. При расчете более 300 химических реакций учитывали возможность присутствия в реакционном пространстве хлоридов, оксихлоридов и других соединений титана разной валентности, углерода, его окислов ( $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ), азота, кислорода, продуктов их взаимодействия между собой и хлором ( $\text{COCl}$ ,  $\text{COCl}_2$ ,  $\text{NCN}$ ,  $\text{NCO}$ ,  $\text{NO}$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{NO}_3$ ,  $\text{N}_2\text{O}_3$ ,  $\text{N}_2\text{O}_5$ ,  $\text{NOCl}$ ,  $\text{CO}_2\text{Cl}$ ), а в продуктах реакций – карбида титана  $\text{TiC}$ , нитрида титана  $\text{TiN}$ , оксидов титана ( $\text{TiO}$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Ti}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Ti}_3\text{O}_5$ ,  $\text{Ti}_4\text{O}_7$ ), оксидов углерода, кобальта ( $\text{CoO}$ ,  $\text{Co}_3\text{O}_4$ ,  $\text{CoO}_2$ ), хлоридов кобальта ( $\text{CoCl}_3$ ,  $\text{CoCl}_2$ ,  $\text{CoCl}$ ). Было также рассмотрено возможность участия в реакциях обмена карбида вольфрама, который входит в состав твердых сплавов ВК8 и Т15К6. Расчеты проводили с помощью программы HSC CHEMISTRY.

**Результаты исследований.** Анализ приведенных данных (табл.1, рис.1) показывает, что при комплексном насыщении твердых сплавов титаном, углеродом, азотом и кислородом возможно получение диффузионного слоя, состоящего из карбида, нитрида и оксида титана. При этом наиболее термодинамически вероятно получение в диффузионном слое карбида титана  $\text{TiC}$  и оксида  $\text{TiO}_2$ . В составе конечных продуктов реакций одновременно присутствуют, кроме этих соединений, хлориды кобальта разной валентности. Образование нитрида титана  $\text{TiN}$  при введении азота наиболее вероятно по реакции обмена из карбида  $\text{TiC}$ :

1.  $9\text{TiCl} + 6\text{COCl}_2 + 7\text{Co} = 6\text{TiC} + 3\text{TiO}_2 + 7\text{CoCl}_3$ ;
2.  $12\text{TiCl} + 8\text{COCl}_2 + 14\text{Co} = 8\text{TiC} + 4\text{TiO}_2 + 7\text{Co}_2\text{Cl}_4$ ;
3.  $20\text{TiCl} + 12\text{COCl}_2 + 22\text{Co} = 12\text{TiC} + 4\text{Ti}_2\text{O}_3 + 11\text{Co}_2\text{Cl}_4$ ;
4.  $4\text{TiC} + 5\text{O}_2 + \text{N}_2 = 2\text{TiN} + 2\text{TiO} + 4\text{CO}_2$ ;

5.  $8\text{TiC} + 15\text{O}_2 = 2\text{Ti}_4\text{O}_7 + 8\text{CO}_2$ ;
6.  $2\text{TiC} + 3\text{O}_2 = 2\text{TiO} + 2\text{CO}_2$ ;
7.  $4\text{TiC} + 7\text{O}_2 = 2\text{Ti}_2\text{O}_3 + 4\text{CO}_2$ ;
8.  $\text{TiC} + \text{NO} = \text{TiN} + \text{CO}$ ;
9.  $2\text{TiC} + \text{N}_2 = 2\text{TiN} + 2\text{C}$ ;
10.  $2\text{Ti} + \text{N}_2 = 2\text{TiN}$ .

Таблица 1

**Зависимость свободной энергии наиболее вероятных реакций, протекающих в реакционном пространстве, от температуры**

Номер реакции	G, кДж		
	500 К	1000 К	1500 К
1	-4397,87	-3663,81	-2931,84
2	-6741,02	-5718,63	-4670
3	-10864,9	-9214,73	-7579,8
4	-2432,19	-2268,34	-2113,33
5	-7900,35	-7336	-6690
6	-1419,83	-1337,3	-1261,3
7	-3616,91	-3371,7	-3142,47
8	-350,807	-347,962	-345,274
9	-222,6	-139,825	-60,198
10	-579,525	-486,164	-392,91

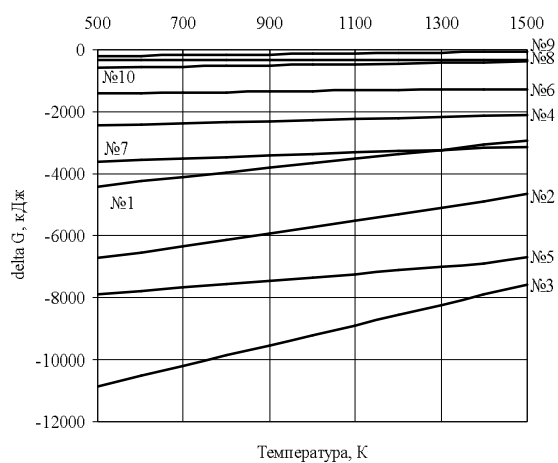


Рис. 1. Зависимость свободной энергии наиболее вероятных реакций, протекающих в реакционном пространстве, от температуры

Для анализа физико-химических условий насыщения твердых сплавов типа ВК, ТК титаном, углеродом и азотом был использован термодинамический подход, который базируется на определении равновесного состава закрытой многокомпонентной системы. Можно считать, что результаты расчетов моделируют состав реакционной среды для каждого определенного содержания соответствующих реагентов.

Расчеты проводили с помощью стандартной программы с базой термодинамических данных, что позволяет осуществлять поиск равновесного состава закрытой системы с максимумом энтропии.

Исследован равновесный состав реакционной среды при разном соотношении исходных компонентов (Ti-Cl-C, Ti-Cl-C-N, Ti-Cl-C-O-N, Ti-Cl-C-O-N-Co, Ti-Cl-C-O-N-Co-W) (табл. 2, рис. 2).

Таблица 2

**Равновесный состав реакционных сред при температурах (1173 –1373) К и давлении в системе  $10^{-2}$  Па**

№ п/п	Состав системы, моль	Состав среды*	
		Газовая фаза	Конденсированная фаза
1	2	3	4
1	Ti-C-Cl=5:1:1	TiCl <sub>2</sub> , TiCl <sub>3</sub> , TiCl <sub>4</sub>	Ti, TiCl <sub>2</sub> , TiC
2	Ti-C-Cl=5:1:2	TiCl, TiCl <sub>2</sub> , TiCl <sub>3</sub> , TiCl <sub>4</sub>	Ti, TiCl <sub>2</sub> , TiC
3	Ti-C-Cl=5:1:1,5	TiCl <sub>2</sub> , TiCl <sub>3</sub> , TiCl <sub>4</sub>	Ti, TiCl <sub>2</sub> , TiC
4	Ti-C-Cl=5:2:1	TiCl <sub>2</sub> , TiCl <sub>3</sub> , TiCl <sub>4</sub>	Ti, TiCl <sub>2</sub> , TiC
5	Ti-C-Cl=5:2:2	TiCl, TiCl <sub>2</sub> , TiCl <sub>3</sub> , TiCl <sub>4</sub>	Ti, TiCl <sub>2</sub> , TiC
6	Ti-C-Cl=6:2:1,5	TiCl <sub>2</sub> , TiCl <sub>3</sub> , TiCl <sub>4</sub>	Ti, TiCl <sub>2</sub> , TiC
7	Ti-C-Cl-N =5:1:1,5:2	TiCl, TiCl <sub>2</sub> , TiCl <sub>3</sub> , TiCl <sub>4</sub>	Ti, TiCl <sub>2</sub> , TiC, TiN
8	Ti-C-Cl-N =5:1:1,5:3	TiCl, TiCl <sub>2</sub> , TiCl <sub>3</sub> , TiCl <sub>4</sub> , ClCN	Ti, TiCl <sub>2</sub> , TiC, TiN
9	Ti-C-Cl-N =5:2:1,5:3	TiCl, TiCl <sub>2</sub> , TiCl <sub>3</sub> , TiCl <sub>4</sub> , ClCN	Ti, TiCl <sub>2</sub> , TiC, TiN
10	Ti-C-Cl-N =5:1:1,5:4	TiCl, TiCl <sub>2</sub> , TiCl <sub>3</sub> , TiCl <sub>4</sub> , ClCN	Ti, TiCl <sub>2</sub> , TiC, TiN
11	Ti-C-Cl-N =5:2:1,5:4	TiCl, TiCl <sub>2</sub> , TiCl <sub>3</sub> , TiCl <sub>4</sub> , ClCN	Ti, TiCl <sub>2</sub> , TiC, TiN
12	Ti-C-Cl-N =6:2:1,5:3	TiCl, TiCl <sub>2</sub> , TiCl <sub>3</sub> , TiCl <sub>4</sub>	Ti, TiCl <sub>2</sub> , TiC, TiN
13	Ti-C-Cl-N =6:2:1,5:2	TiCl, TiCl <sub>2</sub> , TiCl <sub>3</sub> , TiCl <sub>4</sub>	Ti, TiCl <sub>2</sub> , TiC, TiN

Продолжение табл. 2

1	2	3	4
14	Ti-C-Cl-N = 6:2:1,5:4	TiCl, TiCl <sub>2</sub> , TiCl <sub>3</sub> , TiCl <sub>4</sub>	Ti, TiCl <sub>2</sub> , TiC, TiN
15	Ti-C-Cl-N-O = 5:1:1,5:3:0,2	TiCl, TiCl <sub>2</sub> , TiCl <sub>3</sub> , TiCl <sub>4</sub> , COCl <sub>2</sub> , TiO, TiOCl <sub>2</sub> , CO, C, CO <sub>2</sub> , TiO <sub>2</sub> , CN, ClCN	Ti, TiCl <sub>3</sub> , TiC, TiN, TiO
16	Ti-C-Cl-N-O = 5:1:1,5:4:0,2	TiCl <sub>2</sub> , TiCl <sub>3</sub> , TiCl <sub>4</sub> , COCl <sub>2</sub> , TiO, TiOCl <sub>2</sub> , CO, C, CO <sub>2</sub> , TiO <sub>2</sub> , CN, ClCN	Ti, TiCl <sub>3</sub> , TiC, TiN, TiO
17	Ti-C-Cl-N-O = 6:2:1,5:4:0,5	TiCl, TiCl <sub>2</sub> , TiCl <sub>3</sub> , TiCl <sub>4</sub> , COCl <sub>2</sub> , TiO, TiOCl <sub>2</sub> , CO, C, CO <sub>2</sub> , TiO <sub>2</sub> , CN, ClCN	Ti, TiC, TiN, TiO
18	Ti-C-Cl-N-O-Co = 5:1:1,5:3:0,2:0,5	TiCl, TiCl <sub>2</sub> , TiCl <sub>3</sub> , TiCl <sub>4</sub> , CoCl, COCl <sub>2</sub> , TiO, TiOCl <sub>2</sub> , CO, C, CO <sub>2</sub> , TiO <sub>2</sub> , CN, ClCN	Ti, TiC, TiN, TiO, Ti <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
19	Ti-C-Cl-N-O-Co = 6:2:1,5:3:0,2:0,5	TiCl, TiCl <sub>2</sub> , TiCl <sub>3</sub> , TiCl <sub>4</sub> , CoCl, COCl <sub>2</sub> , TiO, TiOCl <sub>2</sub> , CO, C, CO <sub>2</sub> , TiO <sub>2</sub> , CN, ClCN	Ti, TiC, TiN, TiCl <sub>2</sub> , TiO, Ti <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
20	Ti-C-Cl-N-O-Co-W = 5:1:1,5:3:0,2:0,5:0,2	TiCl, TiCl <sub>2</sub> , TiCl <sub>3</sub> , TiCl <sub>4</sub> , CoCl, COCl <sub>2</sub> , TiO, TiOCl <sub>2</sub> , CO, C, CO <sub>2</sub> , TiO <sub>2</sub> , CN, ClCN, WCl	Ti, TiC, TiN, TiO
21	Ti-C-Cl-N-O-Co-W = 6:2:1,5:3:0,2:0,5:0,5	TiCl, TiCl <sub>2</sub> , TiCl <sub>3</sub> , TiCl <sub>4</sub> , CoCl, WCl <sub>2</sub> , COCl <sub>2</sub> , TiO, TiOCl <sub>2</sub> , CO, C, CO <sub>2</sub> , TiO <sub>2</sub> , CN, ClCN, WCl	Ti, TiC, TiN, TiO, Ti <sub>2</sub> O <sub>3</sub>

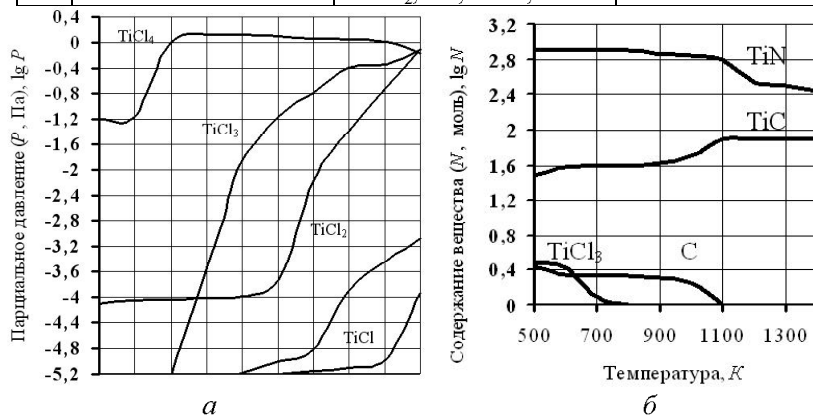


Рис. 2. Равновесный состав системы Ti-Cl-C-N=5,0-1,5-2,0-3,0 (в молях): а – газовая фаза, б – конденсированные вещества

Установлено, что максимальные значения парциального давления хлоридов наблюдаются при таких температурах:  $TiCl_2$  – выше 800 К,  $TiCl_3$  – (900 – 1300) К,  $TiCl_4$  – (1100 – 1300) К,  $TiCl$  – выше 1200 К. Недостаток в смеси углерода уменьшает температурный интервал существования хлорида  $TiCl_4$ . Дополнительное введение в систему азота (системы 4–6) сопровождаются снижением парциального давления хлоридов титана, что возможно объяснить образованием в газовой фазе соединений азота с хлором и углеродом  $CN$ ,  $ClCN$ . Соответственно в составе конденсированных фаз появляется нитрид  $TiN$ .

Следует отметить, что максимальные значения молярного состава фаз  $TiC$  – 2,0 молей наблюдается в системах 5, 6, 12, 17, 19–21 во всем рассмотренном интервале температур. В системах 12, 17, 19–21 одновременно достигается и максимальное значение состава фазы  $TiN$  – 3,0 моля. В системах 7–11 состав конденсированной фазы  $TiO$  составляет 0,2 моля во всем температурном интервале.

Анализ полученных данных о химизме и термодинамике процессов, протекающих в реакционном пространстве, и определении равновесного состава реакционной среды в широком интервале температур, позволяет обосновано подойти к разработке нового способа и установлению рациональных расходов исходных реагентов при комплексном насыщении твердых сплавов титаном, углеродом и азотом.

Показано [1], что условия формирования многослойного покрытия на основе карбида и нитрида титана требуют проведения процесса его формирования в два этапа.

На первом этапе должна образоваться зона на основе карбида титана  $TiC$  достаточной толщины, которая и станет основой многослойного карбонитридного покрытия.

Первый этап – нанесение слоя на основе карбида титана  $TiC$ , проводили по известной технологии, описанной в работе [2], в замкнутом реакционном пространстве при температуре 1000 – 1050 °С в течение 1,75–2 ч. В качестве исходных реагентов использовали порошок титана, углеродсодержащую добавку, четыреххлористый углерод  $CCl_4$ .

Металлографическим, дюрOMETрическим и микрорентгено-спектральными анализами показано, что на этом этапе на поверхности образцов из сплавов ВК8 и Т15К6 образовался слой карбида титана толщиной 5–6 мкм с микротвердостью (37,0–37,5) ГПа в зависимости от марки насыщаемого сплава.

Таким образом, задача разработки нового способа нанесения комплексных многослойных покрытий на основе соединений титана фактически сводилась к определению технологических параметров второго этапа – формирования слоев на основе нитрида, а именно к:

- определению рационального количества азота, необходимого для образования качественного слоя нитридной фазы.
- определению рациональной температуры введения азота в реакционное пространство.
- определению времени, необходимого для формирования внешней зоны на основе нитрида титана достаточной толщины.

В качестве параметров, по которым проходил выбор технологических параметров второго этапа насыщения, были выбраны общая толщина диффузионного покрытия и толщина каждой зоны отдельно. В качестве контрольного параметра фиксировалась микротвердость верхнего слоя.

Известно [3], что оптимальным соотношением толщины слоев для покрытий типа TiC–TiN, полученных методами (CVD/PVD) от 3:1 к 1:1. В таком случае покрытие объединяет все преимущества TiC – высокую твердость, износостойкость, хорошее сцепление с основой, и TiN – лучшую способность противостоять лункообразованию, практически полную инертность к адгезии.

В работе [2] показано существенное влияние на стойкость многогранных неперетачиваемых твердосплавных пластин (МНТП) с карбидными покрытиями толщины последних. Влияние толщины покрытий на основе карбидов титана на стойкость МНТП описывается экстремальной зависимостью с максимумом соответствующим 6,2 мкм. Оптимальна толщина покрытия нитрида титана, обеспечивающая наилучшую стойкость МНТП, составляет 4,5 мкм. Толщина карбидных и нитридных покрытий сводится к минимуму негативное влияние отличия в коэффициентах термического расширения полученного защитного слоя и основы твердого сплава. Это позволяет предотвратить скалывание покрытий и способствует максимальному увеличению коэффициента стойкости.

Выходя из вышеизложенного, за оптимальную было выбрано общую толщину покрытия не менее 6 мкм при соотношении слоев карбида и нитрида титана 3:1.

Количество азота, вводимого в реакционную камеру, контролировали по изменению в ней давления. Охлаждение образцов проводили вместе с печью в атмосфере азота.

Показано (рис. 4), что при введении 0,3–0,6 л/м азота образуются двухслойные покрытия общей толщиной 6–7 мкм. Рентгеноструктурным анализом определено, что внешняя зона толщиной 2–3 мкм представляет собой нитрид титана TiN. Ее микротвердость изменяется от 24,0 к 18,0 ГПа в зависимости от количества азота в реакционном пространстве. Внутренняя зона на основе карбида титана TiC имеет толщину от 3,0 до 4,5 мкм. ее микротвердость – 36,0–37,0 ГПа.

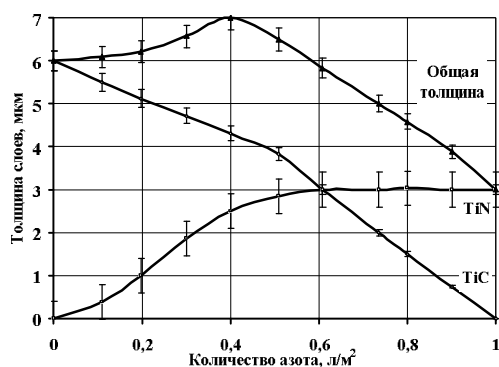


Рис. 4. Влияние содержания азота в насыщающей смеси на толщину слоев в комплексном покрытии после титаноазотирования

Зависимость микротвердости фазы на основе нитрида титана и изменение параметров ее решетки от содержания азота в реакционной среде свидетельствует о присутствии в ней углерода.

В работе [1] показано, что карбид титана TiC имеет максимальное содержание в составе конденсированных фаз при температурах выше 1100 К, а нитрид титана TiN – лишь до температуры 900 К, а потом может снижаться [1]. Потому в работе была исследована возможность формирования качественных двухслойных покрытий при введении азота в реакционное пространство при температурах ниже температуры изотермической выдержки. Анализ полученных данных показал, что снижение температуры введения азота приводит к значительному уменьшению толщины TiN и технологически усложняет процесс нанесения покрытий на основе соединений титана. Таким образом, оптимальной температурой введения азота в реакционное пространство является температура изотермической выдержки 1050 °С.



В работе была рассмотрена возможность введения азота на разных стадиях изотермической выдержки.

Показано (табл. 4), что введение азота в реакционное пространство вначале изотермической выдержки приводит к формированию однослойного покрытия на основе карбонитрида титана  $Ti(C,N)$ , имеющего серебристо-серый цвет с желтым оттенком. Известно [4], что цвет карбонитрида титана может изменяться от светло-желтого к серебристо-белого в зависимости от соотношения азотной и углеродистой компонент и позволяет в первом приближении судить о его фазовом составе. Толщина слоя составляет 4,5 мкм, а микротвердость – 36,0 ГПа при относительно низкой микрохрупкости. Сравнивая значения параметра кристаллической решетки полученного карбонитрида  $a = 0,4321$  нм с данными работы [5], можно определить состав карбонитрида покрытия как  $TiC_{0,8}N_{0,2}$ .

Таблица 4

**Зависимость толщины и свойств покрытия от времени изотермической выдержки в среде азота**

Время изотермической выдержки в среде азота, ч	Без выдержки	0,1	0,3	0,5	1,0	1,5	2,0	
Толщина покрытия, мкм	Общая	6	6,5	7	5	4	4	4
	TiC	4,5	4,5	4,3	3	3	3,5	4
	TiN	1,5	2	2,5	2	1,0	–	–
Микротвердость, ГПа	TiN	24	24	24,9	25,3	27,5	33,7	36
Микрохрупкость, $\gamma \times 10^{-3}$	TiN	0,8	0,75	0,7	0,67	0,6	0,47	0,5

Образование заметного слоя на основе нитрида титана с границей раздела фаз в покрытии наблюдается при введении азота за один час до окончания изотермической выдержки. Его цвет – серо-желтый и микротвердость – 28,0 ГПа, что свидетельствует о большой доле в нем углерода.

Оптимальное соотношение слоев в покрытии было получено при введении азота за (0,35–0,25) ч до окончания изотермической выдержки. В этом случае образцы имели коричнево-золотистый цвет, что свидетельствует о наличии на поверхности образцов карбонитрида титана с параметром решетки  $a = 0,4230$  нм, которую можно определить [5] как  $TiN_{0,7}C_{0,3}$ . Микротвердость фазы составляет 24,5–25,0 ГПа. При этом значительно снижается хрупкость фазы – до  $0,75 \cdot 10^{-3}$  усл.ед.

Внутренняя зона покрытия представляет собой карбонитрид  $\text{TiC}_{0,8}\text{N}_{0,2}$  с параметром решетки  $a = 0,4321$  нм и микротвердостью 36,0–37,0 ГПа.

Выходя из вышеизложенного, был разработан способ нанесения двухслойных покрытий на основе карбида и нитрида титана в одном технологическом цикле.

Процесс проводят в два этапа. На первом этапе формируется слой на основе фазы TiC. Температура нанесения карбида титана 1050 °С, время изотермической выдержки 1,7–2,0 ч. За 0,35–0,25 ч до окончания изотермической выдержки в реакционное пространство вводят азот в количестве 0,3–0,4 л/м<sup>2</sup>. При этом формируется зона на основе TiN. Охлаждение проводят замедленно в атмосфере азота.

Были проведены стойкие сравнительные исследования некоторых видов режущего инструмента, изготовленного из сплавов ВК8 и Т15К6 и упрочненного покрытиями на основе соединений титана, а также нитрида титана, нанесенного на установке «Булат», при обработке промышленных марок сталей, чугунов и цветных сплавов. Сравнительные исследования проводили в специально усложненных условиях резания в соответствии с рекомендациями ВНИИТС. Режущие свойства многогранных неперетачиваемых твердосплавных пластин (МНТП) с карбидными покрытиями сравнивали с режущими свойствами пластин без покрытия путем определения коэффициента стойкости, который вычисляли как отношение периода стойкости МНТП с покрытиями к периоду стойкости пластин без покрытия. Пластины для испытаний были выбраны из одной партии. Испытания МНТП проводили при продольном точении заготовок, изготовленных из сталей разных классов (табл. 5), меди марки М1 на станке Т-63 бесступенчатым регулированием оборотов шпинделя.

Независимо от типа наносимого покрытия скорость износа МНТП во всем временном интервале при точении углеродистых и легированных сталей, а также меди марки М1 значительно ниже серийных. При одинаковых условиях испытаний покрытия на основе карбида титана обеспечивают повышение стойкости в 1,3–2,0 раза больше, чем покрытия на основе нитрида титана, а комплексное покрытие на основе карбидов и нитридов титана – в 1,1–1,8 раза, чем покрытия на основе карбида титана.

Таблица 5

**Влияние разных типов покрытий на стойкость БНТП  
в процессе точения**

Марка сплава	Материал для обработки	Режим резания			Коэффициент увеличения стойкости при нанесении покрытия		
		$t$ , мм	$S_z$ , мм/об.	$v$ , м/с	TiC	TiC+TiN	TiN
BK8	Сталь У8А	1,0	0,434	1,73	4,0	5,5	5,0
	Сталь 40X13	1,0	0,434	2,50	4,5	6,0	2,3
	Сталь 12X18H10T	1,0	0,434	2,5	5,5	6,8	–
	Сталь 06X28MДТ	1,5	1,277	8,0	6,0	6,9	2,3
	Сталь ХНЗБ	1,5	0,434	6,0	2,0	3,0	–
	Медь М1	1,0	0,045	3,30	0,7	1,4	–
Т15К6	Сталь 20	1,0	0,036	5,30	1,8	2,0	–
	Сталь 45	1,5	0,02	5,30	4,0	5,8	–
	Сталь 40X	1,5	0,5	2,50	4,0	5,7	–
	Сталь 9ХС	1,0	0,036	5,00	3,0	3,2	–
	Сталь Х12М	1,0	0,036	3,3	1,8	2,0	1,1
	Сталь Р6М5	1,5	0,2	3,0	3,1	3,9	–
	Сталь 3Х2В8	1,0	0,036	5,00	4,5	5,3	–

**Выводы.**

1. В работе исследованы физико-химические условия процесса титаноазотирования сплавов BK8 и T15K6 в условиях пониженного давления, фазовый состав, структура и некоторые свойства фаз, входящих в состав покрытия.

2. Разработан способ нанесения комплексных покрытий на основе карбида и нитрида титана.

3. Установлено что покрытие состоит из двух слоев: внешнего TiN толщиной 2–3 мкм и микротвердостью 24–23 ГПа и внутреннего TiC толщиной 3,0–4,5 мкм и микротвердостью 36–37 ГПа.

4. Производственные испытания показали, что многогранные переперетачиваемые твердосплавные пластины с комплексными покрытиями на основе соединений титана имеют стойкость при обработке различных материалов в 1,4–6,9 раза выше исходных.

### Список литературы

1. Рівноважний склад реакційного середовища при комплексному насиченні твердих сплавів титаном, вуглецем, азотом та киснем / А.Б. Бобін, В.Г. Хижняк, М.М. Бобіна, М.В. Аршук // Наукові вісті НТУУ „КПІ” –2007.–№4.–С.69–73.
2. Лоскутов В.Ф. Диффузионные карбидные покрытия. / В.Ф.Лоскутов, В.Г.Хижняк–К.: Техніка, 1991.– 68 с.
3. Ящерицын П.И. Теория резания / П.И.Ящерицын, Е.Э.Фельдштейн, М.А. Корниевич– Мн.: Новое знание, 2006. – 512 с.
4. Le Clair P.R. Titanium Nitride Thin Films by the Electron Shower Process. Massachusetts Institute of technology, 1998, – 68 p.
5. Жилиев В.А. Кинетика высокотемпературного окисления карбонитридов титана на воздухе / В.А.Жилиев, Г.П.Швейкин, С.П. Алямовский // Неорганические материалы. – 1975. – Т.11. – №2. – С.230–235.

УДК 621.785

*Бобін А.Б., Бобіна М.М., Хижняк В.Г., Аршук М.В.* **Титаноазотування твердих сплавів ВК8 і Т15К6 при зниженому тиску**// Проблеми тертя та зношування: Наук.-техн. зб. – К.: Вид-во НАУ «НАУ-друк», 2010. – Вип. 52. – С. 216–227.

Досліджено фізико-хімічні умови процесу титаноазотування твердих сплавів ВК8 і Т15К6, фазовий склад, структуру і деякі властивості фаз, що входять до складу покриття. Розроблено спосіб нанесення комплексних покриттів на основі карбиду і нітриду титану. Виробничі випробування показали підвищення стійкості багатограничних непереточуваних твердосплавних пластин при обробці різних матеріалів порівняно з початковими.

Рис.: 4, табл.: 5, список літ.: 5 найм.

*Bobin A.B., Bobina M.N., Hignyak V.G., Archuk M.V.* **Titannitrogen hardening of hard – facing alloys ВК8 and Т15К6 at underpressure**  
The physical and chemical terms of process of titanoazotirovaniya of hard alloys of ВК8 and Т15К6, phase composition, structure and some properties of phases, entering in the complement of coverage, are probed. The method of causing of complex coverages is developed on the basis of carbide and nitrida of titan. Production tests showed the increase of firmness of many-sided neperetachivaemykh of tverdospлавnykh plates at treatment of different materials as compared to initial.

Стаття надійшла до редакції 23.09.09.