

ЗАЩИТНЫЕ ПЛЕНОЧНЫЕ ПОКРЫТИЯ ДИБОРИДА ГАФНИЯ И ОПТИМИЗАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ

Агулов А.В.¹, Бажан А.И.², Васильева Л.В.¹, Гончаров А.А.¹,
Калиниченко В.В.¹, Ступак В.А.²

¹Донбасская государственная машиностроительная академия
84313 г. Краматорск, ул. Шкадинова, 72, Донецкой обл.

²Донецкий национальный университет,
83055 Донецк, ул. Университетская, 24.

E-mail: alexander-031@rambler.ru; applmath@dgma.donetsk.ua.

Защитные покрытия на основе нитридов и карбидов переходных металлов, в настоящее время являются недорогим способом увеличения производительности режущего инструмента. При этом, наибольшее применение в настоящее время находят пленки нитридов или карбидов титана или соединений на его основе [1-3]. Авторами [3] были проведенные исследования, в ходе которых на покрытия, синтезированные с помощью установки Булат, были нанесены многослойные покрытия на основе нитрида титана. Инструмент с покрытиями показал значительное увеличение стойкости, при резании труднообрабатываемых материалов при повышенных скоростях резания. Бориды гафния, наряду с нитридами и карбидами обладают повышенными физико-механическими характеристиками и имеют сравнительно высокую температуру плавления 3250°С. Одним из важнейших факторов, повлиявших на актуальность данного исследования, является особенность наноструктурной пленки переходить под воздействием высоких температур из одного структурного состояния в другое. Причём, в процессе перехода, под воздействием высоких температур, возникающих в области контакта «инструмент - заготовка», в процессе обработки физико-механические характеристики защитного покрытия изменяются. Это связано с тем, что происходит химическая реакция покрытия с воздушной средой при высоких температурах.

Актуальность исследований стабильности тонких износостойких наноструктур на основе диборидов переходных металлов, обусловлена их

высокой термической стабильностью. Данные, полученные авторами [4, 5] в предыдущих исследованиях, показывают высокую стойкость и высокую адгезию, в процессе высокотемпературного воздействия, покрытий данного класса по отношению к подложке не только из твердого сплава (высокая корреляция типа и структуры кристаллических решеток), но и на быстрорежущих сталях. Результаты, полученные в результате данных исследований характеризуют минимизацию величины износа, инструмента с покрытиями, по сравнению с инструментом не обладающим последними. Результаты, полученные в процессе исследования многослойных многокомпонентных покрытий на машине трения 2070 СМТ-1, показали, что образцы с покрытиями выдерживают максимальные нагрузки без задиробразования и разрушения, по сравнению с образцами таковыми покрытиями не обладающими.

Поэтому, целью данной работы было исследование стабильности пленок дигборида гафния на подложке из твердосплавной пластины Т15К6, и получение оптимизационной модели процесса резания для данной подложки с пленочным покрытием.

Исследование структуры, фазового и элементного состава пленок дигборида гафния, имеющих столбчатую структуру и текстуру роста плоскостью (00.1) на подложках из пластины Т15К6 (рис. 1), проводилось по методике, ранее описанной в работах [6, 7]. При этом, исследуемые пленки имели толщину 1,3...1,5 мкм и обладали наилучшими физико-механическими характеристиками – твердостью $H = 44,5$ ГПа, модулем упругости $E = 396$ ГПа и наиболее оптимальным значением индекса пластичности H/E . Отжиги осуществлялись в вакуумной печи СНВЭ-1.3.1/16 и при $T = 600, 700, 800, 1000^\circ\text{C}$.

С точки зрения практического применения, имеет интерес исследования кинетики процесса высокотемпературного отжига на воздухе, в зависимости от температуры и времени отжига. Полученные данные могут представлять большой интерес для применения данного класса покрытий как защитных в обработке металлов резанием, т.к. процесс резания происходит в воздушной среде, а значит, зная кинетику

разрушения покрытий, можно будет без особого труда спрогнозировать период стойкости и время до полной поломки инструмента. Поэтому, исходя из проведенных исследований термической стабильности, получена оптимизационная модель процесса резания для данной подложки с пленочным покрытием.

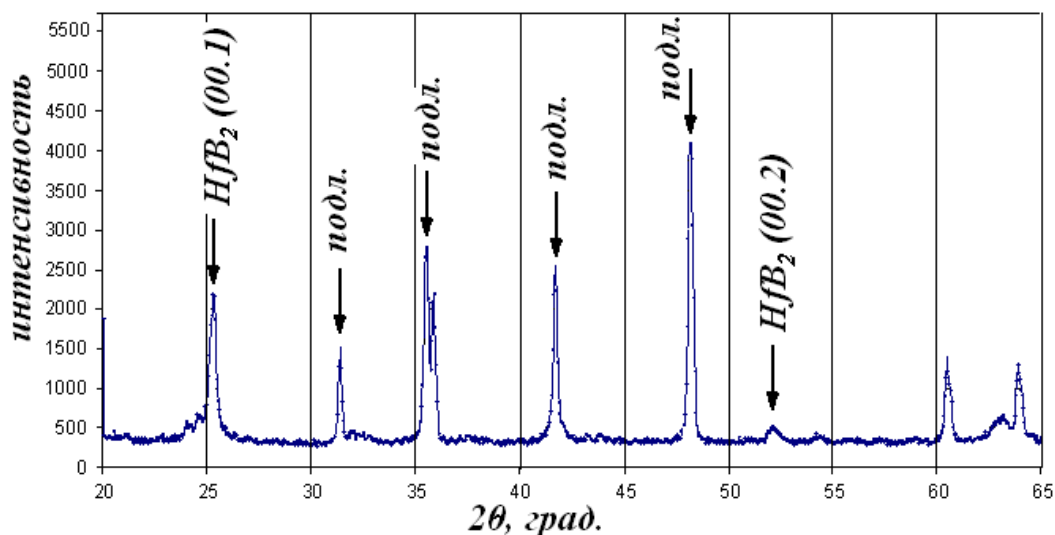


Рис. 1 – Дифрактограмма системы пленка HfB_2 –подложка Т15К6 без отжига

Для решения поставленной задачи рационально было использовать ортогональный центральный композиционный план (ОЦКП) 2-го порядка, который позволяет не только сформировать функцию отклика в виде полного квадратичного полинома, но и выполнить оптимизацию параметров при проведении эксперимента. Преимуществом выбранного плана оптимизации является объективность и информационная емкость экспериментов [8]. В качестве зависимого параметра Y рассматривалось значение стойкости T , мин. Область исследования и основные факторы, входящие в модель, а также интервалы их варьирования были выбраны на основании ранее проведенных исследований. Предварительно выделены два основных фактора: X_1 – скорость резания v , м/мин и X_2 – индекс пластичности H/E [7]. План эксперимента приведен на рис. 2.

Standard Run	2**(2) central compo	
	x1	x2
6	274,4975	0,110000
5	175,5025	0,110000
9 (C)	225,0000	0,110000
4	260,0000	0,114000
8	225,0000	0,115657
2	190,0000	0,114000
10 (C)	225,0000	0,110000
1	190,0000	0,106000
7	225,0000	0,104343
3	260,0000	0,106000

Рис. 2 – План эксперимента

Здесь: позиции 9(C) и 10(C) – центральная точка; 6, 5 – «звездные» точки для фактора X1 с плечом $\alpha_1 = 49,4975$; 8 и 7 – «звездные» точки для фактора X2 с плечом $\alpha_2 = 0,005657$. Для исключения систематических ошибок был взят рандомизированный план.

В результате обработки информации получено адекватное уравнение функции отклика, связывающей значение стойкости с факторами скорости резания и индекса пластичности:

$$Y = -1725,02 + 1,614X_1 - 0,00306X_1^2 + 28358,9X_2 - 124995,9X_2^2.$$

Однородность дисперсии проверялась по критерию Кохрена, адекватность модели – по F-критерию Фишера. Для того, чтобы определить, насколько хорошо модель описывает экспериментальные данные, использовался тест lack-of-fit (потери согласия). Получили, что значение использованного дополнительного теста больше 0,05, модель второго порядка представляется адекватной для описания отклика. При этом коэффициент достоверности аппроксимации $R^2 = 0,89$, что говорит о хорошем качестве модели.

На основании полученной модели возможно оптимизировать исследуемые параметры, а также найти значения факторов для желаемого значения стойкости. Предварительные заключения об оптимальных значениях можно сделать на основании изучения графиков поверхности отклика (рис.3).

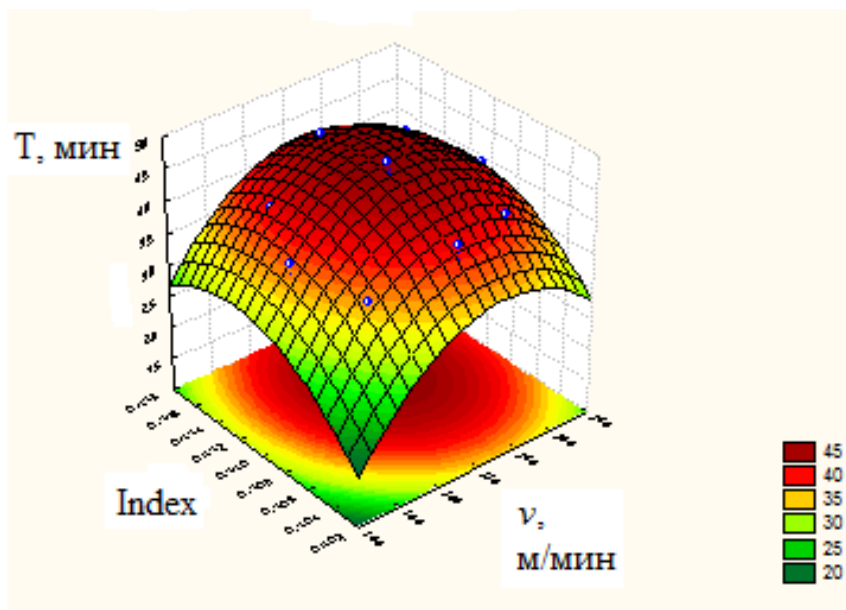


Рис. 3 – График поверхности отклика

Анализ исследований в данной области и данного класса соединений, дает перспективы исследования в области обработки материалов резания, в качестве защитных. Была предложена оптимизационная модель зависимости периода стойкости от индекса пластичности исследуемых покрытий.

Литература

1. Береснев В. М., Толоч В. Т., Гриценко В. И. Некоторые аспекты повышения стойкости рабочих поверхностей трения // ФИП, Т. 2, N 1–2. С. 42–48.
2. Береснев В. М. Влияние многокомпонентных и многослойных покрытий на процессы трения и износа // ФИП, Т.2, N 4. С. 214–219.
3. Кунченко Ю. В., Кунченко В. В., Картмазов Г. Н. О повышении стойкости инструмента с нанослойными n-TiNx/CrNx покрытиями в процессе резания // ФИП. 2007. – Т. 5, N 1–2. С. 62–68.
4. V. Beresnev, O. Sobol', A. Pogrebnyak, P. Turbin, S. Litovchenko. Thermal stability of the phase composition, structure, and stressed state of ion-plasma condensates in the Zr-Ti-Si-N system // Technical Physics, Vol. 55, No. 6. P. 871–873.

5. Погребняк А.Д., Шпак А.П., Азаренков Н.А., Береснев В.М. Структура и свойства твёрдых и сверхтвёрдых нанокompозитных покрытий // УФН. 2009. Т. 179, N 1. С. 32–64.
6. Гончаров А. А., Агулов А. В., Ступак В. А., Петухов В. В. Структура и свойства пленок диборида гафния // Неорганические материалы. 2011 . – Т. 47, N 6 . С. 666–670 .
7. Дуб С. Н. Механические свойства нанокристаллических тонких пленок $\text{HfB}_{2,7}$ / С. Н. Дуб, А. А. Гончаров, С. С. Пономарев, В. Б. Филиппов, Г. Н. Толмачева, А. В. Агулов // Сверхтвердые материалы. - 2011. - № 3. – С. 9–19.
8. Адлер Ю.П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. М. : Наука. 1976., 279 с.