

размером зерна 3,5 мкм. Твёрдость в этой части сварного шва достигает максимального значения.

Список литературы:

1. В.А. Фролов, В.Ю. Конкевич, П.Ю. Предко, В.В. Белоцерковец. Сварка трением с перемешиванием термически упрочняемого сплава В95 системы Al-Zn-Mg-Cu // Сварочное производство. – 2013. – № 3. – С. 21–26.
2. M.A. Sutton, B. Yang, A.P. Reinolds, R. Taylor. Microstructural studies of friction stir welds in 2024-T3 aluminium // Mat.Sci and Eng. – 2002. – A 323. – P.160–166.
3. В.И. Павлова, Е.А. Алифференко, Е.П. Осокин. Исследование температурно-временных условий сварочного нагрева, структуры и свойств металла стыковых соединений из алюминиево-магниевого сплава, выполненных сваркой трением с перемешиванием // Вопросы материаловедения. – 2009. – №4 (60). – С. 74–87.
4. С.А. Салтыков. Стереометрическая металлография. – М.: Металлургия, 1970. – 376 с.

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ОСАЖДЕНИЯ НАНОКОМПОЗИТНЫХ ПОКРЫТИЙ AL-SI-N НА МИКРОТВЕРДОСТЬ И СВЕТОПРОПУСКАНИЕ КВАРЦЕВОГО СТЕКЛА

*Е.В. Рыбалко¹, аспирант,
М.П. Калашиников^{1,2}, вед. технолог,
В.П. Сергеев^{1,2}, д.т.н., профессор*

*¹Институт физики прочности и материаловедения СО РАН,
634055, г.Томск, пр.Академический, 2/4,*

*²Томский политехнический университет, 634050, г.Томск, пр.Ленина 30,
тел. (3822)-491-032*

E-mail: evgeniaribka@yandex.com

Значительный интерес исследователей в области защитных покрытий концентрируется в последнее время на многофазных нанокompозитных пленках, которые могут приобретать высокую твердость и термическую стабильность [1]. Основу таких покрытий составляют обычно нитриды переходных металлов. Весьма интересной является система AlN/Si₃N₄, поскольку каждый из этих компонентов может быть использован для получения оптически прозрачных материалов. Такая особенность, наряду с их относительно высокой твердостью делает систему перспективной в качестве защитных оптически прозрачных покрытий [2]. Целью работы является исследование влияния температуры формирования покрытия Al-Si-N на микротвердость и оптические свойства подложки из кварцевого стекла, а также на фазовый состав осаждаемых на него покрытий.

В качестве экспериментальных образцов (подложек) использовали полированные диски диаметром 15 мм и толщиной 4 мм из кварцевого стекла марки КВ, изготовленные на стекольном заводе им. Ф.Э. Дзержинского (г. Гусь-Хрустальный, Россия). Покрытия толщиной ~3мкм осаждали на вакуумной установке УВН-05МД

«КВАНТ» в аргоно-азотной газовой смеси при общем давлении 0,3 Па и отношении парциальных давлений $\text{Ar:N}=3:1$ методом биполярного импульсного магнетронного распыления мозаичной мишени на основе алюминия с кремниевыми вставками. Мощность разряда магнетрона была 1,2 кВт, частота импульсов тока – 50 кГц. Нагрев подложек и поддержание постоянной температуры их в процессе осаждения покрытий осуществляли с помощью резистивного молибденового нагревателя мощностью 10 кВт. Температура измерялась с обратной стороны подложек с помощью хромель-алюмелевой термопары. Химический состав покрытий Al-Si-N, определенный с помощью энергодисперсионного рентгеновского микроанализатора (EDX) INCA-Energy (OxfordInstruments), встроенного в сканирующий электронный микроскоп LEO EVO-50XVP, включал: Al – 34 ат.%, Si – 13 ат.%, N – 53 ат.%. Фазовый состав образцов исследовали методом рентгеноструктурного анализа (РСА) с помощью дифрактометра ДРОН-7 в Co-K_α излучении (для отсеечения β -излучения использовали Fe-фильтр) с использованием картотеки ASTM для индифицирования дифракционных пиков [3]. Микротвердость H_m и коэффициент упругого восстановления k_y поверхностного слоя экспериментальных образцов определяли с помощью нанотвердомера NanoHardnessTester при нагрузке на индентор 20 мН.

Для изучения оптических свойств экспериментальных образцов были сняты спектры светопропускания исследуемых образцов (рис. 1) в ультрафиолетовой (190-380 нм) и видимой (380-800 нм) областях оптического спектра с помощью спектрофотометра СФ-256УВИ (Ломо Фотоника). В качестве эталонного был снят спектр исходного кварцевого стекла марки КВ без покрытия. Видно, что оно прозрачно во всем исследуемом интервале длин волн (190-800 нм). При этом коэффициент светопропускания кварцевого стекла (рис. 1, кривая 1) в видимой области спектра достигает 91 %, тогда как в ультрафиолетовой области снижается до ~ 83 %. Нанесение покрытий Al-Si-N существенно изменяет вид спектральной кривой светопропускания кварцевого стекла.

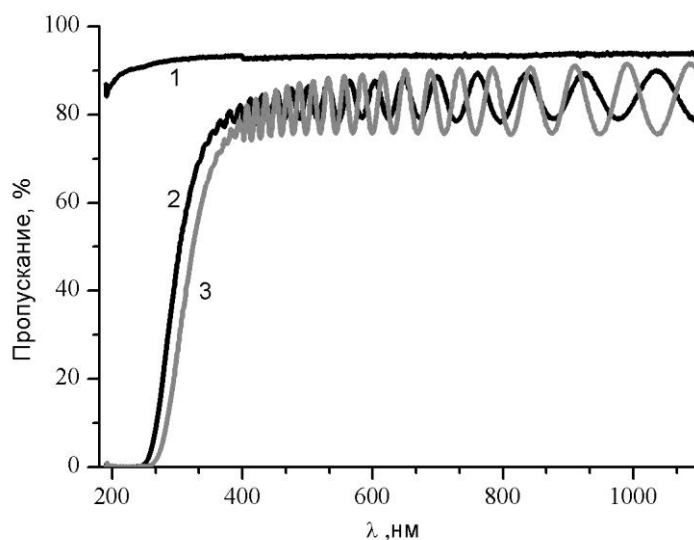


Рис. 1. Спектры пропускания покрытий Al-Si-N, нанесенных на образцы кварцевого стекла магнетронным методом: 1 – исходное стекло; 2 и 3 – стекла с покрытием Al-Si-N, нанесенными при температуре 663 К и 573 К, соответственно.

Спектры светопропускания образцов с покрытиями Al-Si-N в видимой области спектра приобретают осциллирующий характер (рис. 1, кривые 2 и 3), что обусловлено явлением интерференции света в покрытиях. Нанесение покрытий Al-Si-N приводит к частичному отсечению ультрафиолетовой области спектра с длинами волн до 280 нм. Начиная с 280 нм, коэффициент светопропускания образцов с покрытиями постепенно увеличивается, и только в видимой области спектра они становятся прозрачными. Среднее значение коэффициента светопропускания для обоих типов покрытий Al-Si-N в видимой области длин волн равен ~84 %. Повышение температуры формирования покрытия с 573 К до 663 К смещает спектральную кривую светопропускания в область более коротких длин волн на 24 нм.

Установлено, что при нанесении покрытий Al-Si-N значения микротвердости и коэффициента упругого восстановления поверхностного слоя образцов из кварцевого стекла возрастают. Из данных таблицы 1 видно, что осаждение покрытий при температуре 573 К повышает H_m в 2,6 раза, k_y на 6%. Увеличение температуры формирования покрытий до 663 К приводит еще большему повышению этих величин, соответственно, в 2,8 раза и на 10%.

Таблица 1. Средние значения микротвердости H_m и коэффициента упругого восстановления k_y кварцевых стекол.

Образец	H_m , ГПа	k_y
Стекло КВ без покрытия	$9,9 \pm 0,1$	0,71
Стекло КВ с покрытием AlSiN-200	$26,3 \pm 0,4$	0,75
Стекло КВ с покрытием AlSiN-290	$27,3 \pm 0,7$	0,78

Методом рентгеноструктурного анализа установлено (рис. 2), что нанокompозитные покрытия на основе Al-Si-N имеют аморфно-кристаллическую структуру и состоят из зерен размером 5-10 нм нитрида алюминия (AlN) с ГПУ-решеткой и аморфных прослоек, близких по составу нитриду кремния Si_3N_4 .

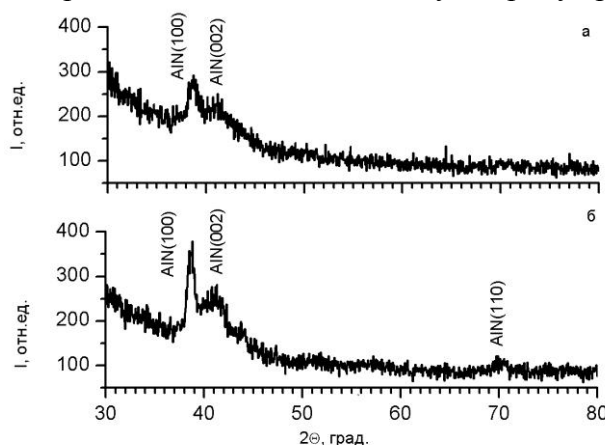


Рис. 2. Участки дифрактограмм исследуемых образцов с покрытием Al-Si-N, нанесенных при температурах: а) 663 К, б) 573 К.

Это согласуется с результатами структурно-фазовых исследований близких по составу покрытий на основе Al-Si-N, приведенными в работе [4]. Видно (рис. 2), что при повышении температуры осаждения покрытия от 573 К до 663 К происходит

уширение дифракционных пиков и их ослабление, что свидетельствует о дальнейшем уменьшении размера зерен кристаллической фазы AlN, что согласно соотношению Холла-Петча ведет к упрочнению материала покрытия. Этим можно объяснить повышение микротвердости стекла с покрытием, нанесенным при температуре 663 К.

Работа выполнена в рамках Программы фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2013-2020 годы и проекта ВИУ «Материалы для экстремальных условий» №ВИУ_ИФВТ_85-2014.

Список литературы:

1. Панин В.Е., Сергеев В.П., Панин А.В. Наноструктурирование поверхностных слоев конструкционных материалов и нанесение наноструктурных покрытий. – Томск: изд-во ТПУ, 2010. – 286 с.
2. Сергеев В.П., Федорищева М.В., Сунгатулин А.Р., Никалин А.Ю., Нейфельд В.В. Структура и термомеханические свойства покрытий на основе Si-Al-N при осаждении методом импульсного магнетронного распыления // Известия ТПУ. – 2011. – Т.319. – № 2. – С.103–108.
3. Горелик С.С., Скаков Ю.А., Расторгуев Л.Н. Рентгенографический и электроннооптический анализ. – Москва: МИСИС, 1994. – 328 с.
4. Musil J., Šašek M., Zeman P., Čerstvý R., Heřman D., Han J.G., Šatava V. Properties of magnetron sputtered Al–Si–N thin films with a low and high Si content // Surface & Coatings Technology. – 2008. – V. 202. – P. 3485–3493.

ПОЛУЧЕНИЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ ПОРОШКОВ НА ОСНОВЕ ОКСИДОВ АЛЮМИНИЯ ЦИРКОНИЯ ИЗ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ

*В.В. Подгаецкая, студент группы 4Б22,
А.Е. Нургысанова, студент группы 4БМ33,
А.Э. Илела, аспирант*

*Томский политехнический университет, 634050, г.Томск, пр.Ленина, 30,
тел.: (923)-410-61-22*

E-mail: verochka94.94@mail.ru

Керамические материалы все шире используются в промышленности. Преимуществами керамики, по сравнению с металлическими и полимерными конструкционными материалами, является способность к эксплуатации в условиях воздействия высоких температур и коррозионно-активных сред без значительной деградации механических свойств во времени и многие другие.

Самым популярным методом синтеза нанопорошков является химический метод. Химический метод позволяет широко варьировать морфологию (размер и форму), кристаллическую структуру и химический состав частицы (в случае многокомпонентной системы). Основные преимущества этого метода перед