

5. Рябченко С.В., Аргиров Я.Б., Мечкарова Т.М. Ефективність обробки наплавки абразивним інструментом. *Інженерія поверхні та реновація виробів: матеріали 23-ї Міжнарод. наук.-технічн. конф. 20 – 22 червня 2023 р. Київ: АТМ України, 2023. С. 60–63.*

Надійшла 25.08.23

References

1. Ryzhov, E.V., Klimenko, S.A., & Gutsalenko, O.G. (1994). *Tekhnologicheskoe obespechenie kachestva detalei s pokrytiiami [Technological support of the quality of parts with coatings]*. Naukova dumka [in Russian].
2. Riabchenko, S.V., Sereda, G.V., & Valuyskiy, V.Y. (2018). Shlifovanie naplavlennykh poverkhnostei abrazivnymi kruhami iz khromistoho korunda [Grinding of clad surfaces with chrome corundum abrasive wheels]. *Oborudovanie i instrument dlia professionalov – Equipment and tools for professionals*, 2(204), 21. [in Russian].
3. Riabchenko, S.V., Nezhebovskiy, V.V., & Sereda, G.V. (2021). Primenenie abrazivnykh golovok pri shlifovanii naplavlennykh materialov dlia tiazhelogo mashinostroeniia. [The use of abrasive heads in the grinding of deposited materials for heavy engineering]. *Multidisciplinary academic explorations. Abstracts of I International Scientific and Practical Conference. The I International Science Conference «Multidisciplinary academic exploration»* (s. 165–167). Amsterdam [in Russian].
4. Bandurenko, M.V., Riabchenko, S.V. (2022). Almazno-galvanichniy instrument dlia obrobky naplavok. [Diamond-galvanic tool for overlay processing]. *Inzheneriia poverkhni ta renovatsiia vyrobiv – Surface Engineering and Renovation of Virob.* (s. 12–13). АТМ Ukraine [in Ukrainian].
5. Riabchenko, S.V., Arhyrov, Y.B., Mechkarova, T.M. (2023). Efektyvnist obrobky naplavok abrazyvnyim instrumentom. [Efficiency of surface treatment with an abrasive tool]. *Inzheneriia poverkhni ta renovatsiia vyrobiv – Surface Engineering and Renovation of Virobs.* (s. 60–63). АТМ Ukraine [in Ukrainian].

УДК 666.1.03; 544.02

DOI: 10.33839/2708-731X-24-1-375-381

Є. О. Пащенко, д-р техн. наук; **Д. О. Савченко**, **С. А. Кухаренко**, кандидати технічних наук; **В. М. Бичихін**; **Р. М. Курганов**, аспірант

Інститут надтвердих матеріалів ім. В. М. Бакуля НАН України, вул. Автозаводська, 2, м. Київ, Україна, 04074, E-mail: lab6_1@ukr.net

ВПЛИВ СКЛАДУ ЛУГОСТІЙКИХ НІТРИДНИХ СТЕКОЛ НА ЇХ СТРУКТУРУ ТА ВЛАСТИВОСТІ

Досліджено процес введення нітрогену в молекулярну сітку стекол за рахунок додавання Si_3N_4 та використання стадії переплаву оксинітридних стекол. Вивчено вплив складу лугостійких нітридних стекол на їх структуру та властивості. Істотне підвищення фізико-механічних властивостей (мікротвердості та тріщиностійкості) спостерігається за введення до 4 % (ат.) нітрогену. Оксинітридні стекла мають підвищену хімічну стійкість. Поєднання покращеної міцності та підвищеної хімічної стійкості відкрило значний потенціал для використання їх у інструментальних

композитах. Одержані мікропористі зв'язки з високою адгезією до поверхні синтетичного алмазу та створені високоефективні алмазовмісні композити на їх основі для виробництва елітних шліфувальних кругів для прецизійного шліфування складнопрофільних виробів.

Ключові слова: оксинітридне скло, мікротвердість, тріциностійкість, інструментальний композит

Вступ

Використання стекел як зв'язуючих для виготовлення абразивних композитів є привабливим з огляду на високу здатність до самозаточування, добрі триботехнічні характеристики наповнених склосв'язок та їх зносостійкість. Проте, потенційні значні переваги такого типу інструментальних матеріалів над їх аналогами, одержаними на основі металічних та полімерних зв'язок, реалізовані в доволі обмеженому обсязі. Якщо для зв'язування звичайних абразивів використовують переважно скляні та склокерамічні зв'язки, зважаючи на дешевизну та доступність сировини, то для порошоків надтвердих матеріалів їх використання є значно менш поширеним. Причина цього полягає в неможливості поєднання в конкретній композиції високої пористості та розвиненого ріжучого рельєфу (ефект самозаточування), високої зносостійкості (сильне утримання зерен абразиву) та якомога меншого перетину миттєвих осередків контакту зв'язки з матеріалом, що оброблюється (мінімізація теплової напруженості процесу шліфування). Потенційні переваги склокерамічних зв'язок можуть бути використані у склоподібних зв'язуючих, в структурі яких частина зв'язків метал-оксиген заміщена зв'язками метал-нітроген. Такі системи можуть бути отримані шляхом розчинення нітридів силіцію, титану, алюмінію, заліза, цирконію в високодисперсній формі в легкоплавких силікофосфатних стеклах в атмосфері азоту.

Відомо, що введення нітрогену в силікатне та фосфатне скло призводить до поліпшення механічних властивостей. Заміщення двовалентного оксигену атомами тривалентного нітрогену призводить до додаткової зшивки в структурі і підвищує як хімічну стійкість, так і механічні властивості. Спостерігалось зростання мікротвердості скла $Y-Si-Al-O-N$ з підвищенням вмісту нітрогену [1, 2]. Збільшення ударної в'язкості K_{Ic} майже на 30 % було досягнуто порівняно з базовим склом $Mg-Si-Al-O-N$ при додаванні 5 % (за масою) нітрогену [3]. Аналогічні підвищення властивостей спостерігали для стекел $Na-Ca-Si-O-N$, $Na-Si-O-N$ та $Y-Si-Al-O-N_2O$ [4, 5].

Мета роботи полягає у розробці процесу введення нітрогену в молекулярну сітку стекел для одержання мікропористих зв'язок з високою адгезією до поверхні синтетичного алмазу та вивчення фізико-механічних властивостей таких стекел для створення абразивних композитів, придатних для прецизійного шліфування складнопрофільних виробів.

Матеріали і методи дослідження

Здійснено синтез нітридних стекел ряду складів та досліджені їх фізико-хімічні властивості. Методика синтезу заснована на використанні карбонатних евтектик, здатних частково розчиняти нітриди лужноземельних елементів у вигляді колоїдних частинок або неорганічних поліядерних комплексів, в яких ультрадисперсний фрагмент нітридної ґратки координує змінну кількість карбонатних груп. Подальше використання отриманих неорганічних прекурсорів для варки стекел на основі лужних, лужноземельних оксидів та силіцієвої кислоти дозволило синтезувати склоподібні системи, подібні за температурною залежністю в'язкості до традиційних оксидних стекел, але з більш швидким падінням в'язкості вище 750 °С.

Оксинітридні стекла у системі Si–Zr–Na–Li–K–B–O–N отримали шляхом включення Si₃N₄ до структури скла. Ця система є оксинітридним аналогом широко відомого лугостійкого скла (ЛС, англ. AR–alkali-resistant). В якості основи для порівняння використовувалося лугостійке оксидне скло, яке можна співставити з наявним у продажу склом з високим вмістом цирконію. Деяку кількість SiO₂ у вихідних порошках замінили нітридом кремнію для створення оксинітридного аналога такого скла.

Важливо підтримувати постійне співвідношення атомів між іншими фракціями катіонів, щоб пов'язати будь-які зміни властивостей із заміною у структурі нітрогену на кисень. Це досягнуто шляхом визначення співвідношення кремній/катіон між атомною часткою кремнію і часткою кожного з інших елементів, присутніх у склі.

Результати та їх обговорення

Як видно з табл. 1, атомні частки складових частин дещо різняться між лугостійким оксидним склом та аналогами оксинітриду, проте співвідношення Si/катіон еквівалентні.

Таблиця 1. Склад досліджених композицій

Сполука	Елемент	Вміст, % (ат.)				
		ЛС	НЛС-2	НЛС-3	НЛС-4	НЛС-5
SiO ₂	Si	22,41	22,63	22,75	22,86	22,98
Si ₃ N ₄	N	0,00	2,02	3,05	4,08	5,13
ZrO ₂	Zr	3,50	3,53	3,55	3,57	3,59
Na ₂ CO ₃	Na	11,65	11,77	11,80	11,89	11,95
Li ₂ CO ₃	Li	1,48	1,49	1,49	1,51	1,52
K ₂ CO ₃	K	0,66	0,67	0,67	0,67	0,68
HBO ₂	B	0,64	0,65	0,64	0,65	0,66
	O	59,67	57,24	55,88	54,76	53,50

Виготовлено партії стекел (НЛС) з вмістом нітрогену від 1 до 5 ат. %. Через можливість незначного випаровування оксидів у процесі переплавлення, партію ЛС також переплавляли при 1650 °С в атмосфері нітрогену для більш надійного порівняння властивостей лугостійкого скла з властивостями зразків оксинітридного скла. Скло дробили для видалення закритих пор. Густину визначали пікнометричним методом. Вимірювання мікротвердості проводилися індентором Віккерса при навантаженні 10 Н. Тріщиностійкість було визначено методом вдавлення індентора Віккерса. Оскільки відбиток був зроблений в області, яка не залежить від навантаження, одні і ті ж відбитки були використані для отримання даних як по мікротвердості, так і по тріщиностійкості.

Для отримання однорідного порошку зразки скла подрібнювали та просіювали, щоб отримати розподіл частинок за розмірами в діапазоні від 100–150 мкм. Після сушіння при 500 °С протягом 1 год для видалення хемосорбованої води 1 г подрібненого скла додавали до 100 мл 0,1 н¹ NaOH (рН = 12) у поліетиленовій пляшці з кришкою. Потім скляний порошок

¹ Децинормальний розчин моль-екв./л

піддавали прискореному старінню при 80 °С протягом 24 год. Розчин NaOH обережно декантували та відфільтровували. Скляний порошок промивали та очищали ультразвуком у воді і сушили. Порошок зважували та розраховували втрату маси на вихідний грам матеріалу. Додатково 1 г подрібненого скла аналізували мокрим способом для кількісного визначення вмісту нітрогену. Аналіз методом дистиляції К'ельдаля був обраний, бо він має більшу точність у визначенні вмісту нітрогену. Аміак, що утворився, барботували через розведений розчин H₂SO₄, а потім титрували зворотним шляхом стандартним розчином NaOH. Стандартно проводили перегонку оксидного ЛС скла (0 % нітрогену). Результати аналізу мокрим способом представлені в табл. 2.

Таблиця 2. Вміст нітрогену в стеклах

Композиція	Вміст нітрогену, % (ат.)		Залишковий вміст, %
	у вихідній суміші	після отримання матеріалу	
НЛС-2	2,02	1,45	72
НЛС-3	3,05	2,11	69
НЛС-4	4,08	2,74	67
НЛС-5	5,13	3,41	66

Можна помітити, що має місце втрата фактичного вмісту нітрогену у порівнянні з вихідним вмістом у композиції. Випаровування нітрогену було зведено до мінімуму шляхом підтримки високого надлишкового тиску нітрогену. У кожному зі зразків скла залишилося близько 70 % атомів нітрогену. Зразки скла з аналізованим вмістом нітрогену більше 4 % (ат.) розшаровувалися на окремі області при плавленні за температури 1650 °С. Ретельне дослідження показало, що ці області є областями з високою пористістю. Це було результатом неповної реакції компонентів партії внаслідок підвищеної в'язкості скла з вищим вмістом нітрогену. Зразки з вищим вмістом нітрогену також демонстрували значну кристалізацію у формі моноклінного ZrO₂. Тому вивчалася зміна властивостей скла залежно від вмісту нітрогену, що не перевищує 4% (ат.). Щільність оксинітридного скла в залежності від вмісту нітрогену представлена на рис. 1.

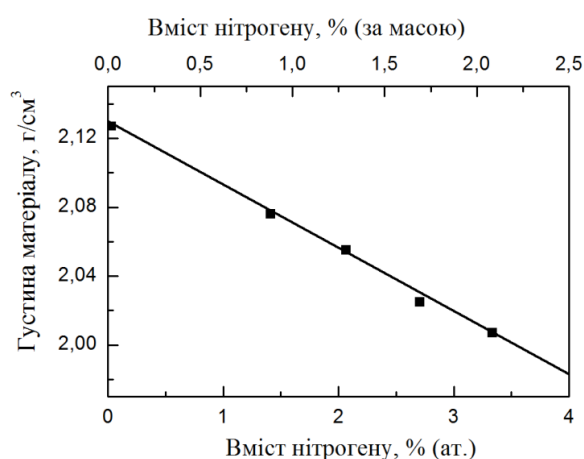


Рис. 1. Залежність густини розроблених стекел від вмісту нітрогену – розрахункового (нижня шкала) та фактичного (верхня шкала)

Було помічено, що щільність дещо знижується зі збільшенням вмісту нітрогену. Спостерігалось зниження істинної густини з 2,13 г/см³ для переплавленого ЛС скла до 2,01 г/см³ при додаванні 3,4 % (ат.) нітрогену.

Твердість за Віккерсом стекел Si–Zr–Na–Li–K–B–O–N представлена в залежності від вмісту нітрогену на рис. 2. Підвищення на 0,68 ГПа на 1 % (за масою) вмісту нітрогену були вищими, ніж повідомлялося в літературі для інших оксинітридних стекел (рис. 2). Твердість збільшилася з 6,3 ГПа для переплавленого ЛС скла, що не містить нітроген, до

7,9 ГПа для оксинітридного скла, що містить 3,4 % (ат.) або 2,2 % (за масою) нітрогену.

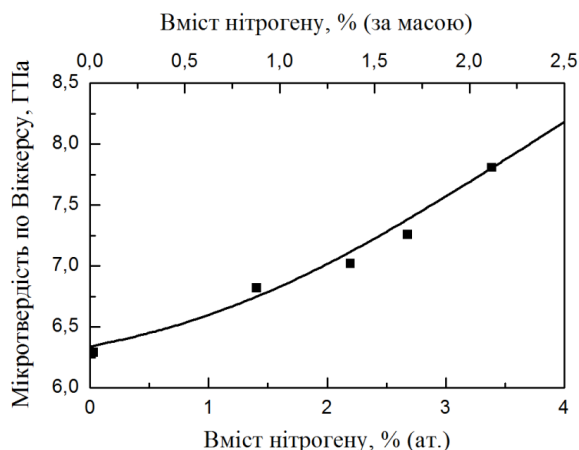


Рис. 2. Залежність мікротвердості скла від вмісту нітрогену

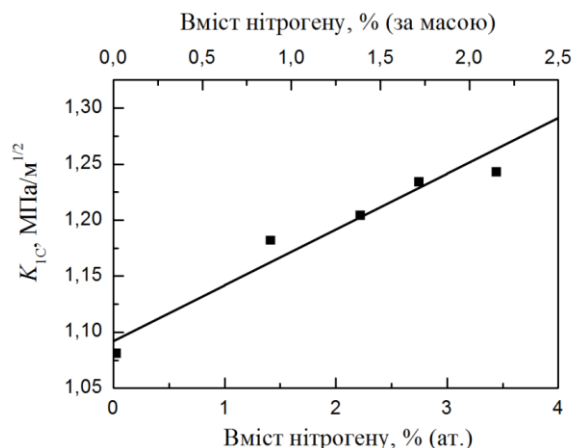


Рис. 3. Залежність тріщиностійкості скла від вмісту нітрогену

На рис. 3 показано, як заміна кисню нітрогеном покращує тріщиностійкість оксинітридного скла при вдавлюванні. Спостерігалось підвищення на $0,06 \text{ МПа/м}^{1/2}$ на 1 % (за масою) збільшення вмісту нітрогену. Цю швидкість можна порівняти з іншими даними по оксинітридним стеклам, представленими в літературі [6].

Використання співвідношення кремній/катион у процесі дозування скла на основі оксинітриду цирконію зводить до мінімуму кількість потенційних змінних, які можуть вплинути на властивості скла. В результаті зміни властивостей скла можна пояснити заміною нітрогену на кисень в сітчастій структурі скла. Оксинітридні аналоги скла можуть бути легко та надійно отримані з додаванням Si_3N_4 та використанням стадії переплаву. Істотне поліпшення властивостей спостерігається за введення лише кількох атомних відсотків нітрогену. Оксинітридні стекла також продемонстрували підвищену хімічну стійкість. Спираючись на проведені дослідження, розроблена технологія синтезу нітридного скла для одержання мікропористих зв'язок з високою адгезією до поверхні синтетичного алмазу та створення високоефективних алмазовмісних композитів на їх основі відкриває можливість виробництва елітних шліфувальних кругів для прецизійного шліфування складнопрофільних виробів [7].

Висновки

Розроблено процес введення нітрогену в молекулярну сітку стеклок за рахунок додавання Si_3N_4 та використання стадії переплаву оксинітридних аналогів скла. Істотне підвищення їх фізико-механічних властивостей спостерігається за введення до 4 % (ат.) нітрогену. Оксинітридні стекла мають підвищену хімічну стійкість. Поєднання покращеної міцності та підвищеної хімічної стійкості відкрило значний потенціал для використання їх у інструментальних композитах.

Розроблена технологія синтезу нітридного скла для одержання мікропористих зв'язок з високою адгезією до поверхні синтетичного алмазу та створення високоефективних алмазовмісних композитів на їх основі відкриває можливість виробництва елітних шліфувальних кругів для прецизійного шліфування складнопрофільних виробів.

E. Pashchenko, D. Savchenko, C. Kukharenko, V. Bychykhin, R. Kurganov

Bakul Institute for Superhard Materials of the National Academy of Sciences of Ukraine, 2 Avtozavodska Str., Kyiv, Ukraine, 04074, E-mail: lab6_1@ukr.net

THE INFLUENCE OF THE ALKALI-RESISTANT NITRIDE GLASSES COMPOSITION ON THEIR STRUCTURE AND PROPERTIES

The process of introducing nitrogen into the molecular lattice of glasses by adding Si_3N_4 and using the remelting stage of oxynitride glasses was investigated. The influence of the composition of alkali-resistant nitride glasses on their structure and properties was studied. A significant increase in physico-mechanical properties (microhardness and crack resistance) is observed with the introduction of up to 4% (at.) nitrogen. Oxynitride glasses have increased chemical resistance. The combination of improved strength and increased chemical resistance has opened up significant potential for their use in tool composites. Microporous binders with high adhesion to the synthetic diamond surface were obtained and highly effective diamond-containing composites were created for the production of elite grinding wheels for precision grinding of complex profile products.

Key words: oxynitride glass, microhardness, crack resistance, tool composite

Література

1. Hampshire S., Drew R.L., Jack K.H. Viscosities, glass transition temperatures, and microhardness of Y-Si-Al-O-N Glasses. *J. Am. Ceram. Soc.* 1984. Vol. 67, N 3. P. 46–47.
2. Hampshire S. Silicon nitride ceramics – review of structure, processing and properties. *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering.* 2007. Vol. 24, N 1, P. 43–50.
3. Sakka S., Kamiya K., Yoko T. Preparation and properties of Ca–Al–Si–O–N oxynitride glasses. *J. Non-Cryst. Solids.* 1983. Vol. 56, N 1–3. P. 147–152.
4. Homeny J., McGarry D. L. Preparation and Mechanical Properties of Mg-Al-Si-O-N Glasses. *J. Am. Ceram. Soc.* 1984. Vol. 67, N 11. P. 225–227.
5. Coon D. N., Doyle T. E., Weidner J. R. The refractive indexes of Y–Si–Al–O–N glasses. *J. Non-Cryst. Solids.* 1989. Vol. 108, N 2. P. 180–186.
6. Das T. Oxynitride glasses – An overview. *Bulletin of Materials Science.* 2000. Vol. 23. P. 499–507.
7. Спосіб отримання інструментального композиту з надтвердих матеріалів на основі функціоналізованих оксидних порошків: пат. 119114 Україна: МПК В24Д 3/20; заявл. 14.02.2018; опубл. 25.04.2019, Бюл. № 8.

Надійшла 08.09.23

References

1. Hampshire, S., Drew, R.L., & Jack, K.H. (1984). Viscosities, glass transition temperatures, and microhardness of Y-Si-Al-O-N Glasses. *J. Am. Ceram. Soc.*, 67(3), 46–47.
2. Hampshire, S. (2007). Silicon nitride ceramics – review of structure, processing and properties. *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, 24(1), 43–50.
3. Sakka, S., Kamiya, K., & Yoko, T. (1983). Preparation and properties of Ca–Al–Si–O–N oxynitride glasses. *J. Non-Cryst. Solids*, 56(1–3), 147–152.
4. Homeny, J., & McGarry, D. L. (1984). Preparation and Mechanical Properties of Mg-Al-Si-O-N Glasses. *J. Am. Ceram. Soc.*, 67(11), 225–227.
5. Coon, D. N., Doyle, T. E., & Weidner, J. R. (1989). The refractive indexes of Y–Si–Al–O–N glasses. *J. Non-Cryst. Solids*, 108(2), 180–186.
6. Das, T. Oxynitride glasses – An overview. (2000). *Bulletin of Materials Science*, 23, 499–507.

7. Pashchenko, E.O., Kukharenko, S.A., Bychikhin, V.M., et al. (2019). *Patent of Ukraine 119114, МПК В24D 3/20. Sposib otrymannia instrumentalnoho kompozytu z nadtverdykh materialiv na osnovi funktsionalizovanykh oksydneykh poroshkiv [The method of obtaining an instrumental composite from superhard materials based on functionalized oxide powders]*. (Patent Ukrainy № 119114) [in Ukrainian].

УДК 53.06.621.923.546.1

DOI: 10.33839/2708-731X-24-1-381-384

О. П. Денисенко¹, В. І. Кисіль², В. В. Білорусець¹, Л. Г. Макаренко³, О.М. Кошкін¹

¹Інститут надтвердих матеріалів імені В. М. Бакуля НАН України, вул. Автозаводська 2, 04074 м. Київ, e-mail: dar48@ukr.net

²Компанія “Ремонт Центр”, просп. Відрадний, 107, 02000 м. Київ, Україна, e-mail: kvi@gmail.com

³Інститут ядерних досліджень НАН України, просп. Науки, 47, 03028 м. Київ, Україна, e-mail: interder@ukr.net

МЕХАНІЗМ УТВОРЕННЯ МІКРОРЕЛЬЄФУ РОБОЧОЇ ПОВЕРХНІ ХОНІВ В ПРОЦЕСІ ХОНІНГУВАННЯ

У статті подано результати дослідження механізму взаємодії зерен хонів із зв'язаним абразивом з обробленою поверхнею циліндрів двигунів внутрішнього згорання (ДВЗ).

Зазначено, що з метою оцінювання руйнування зерен SiC на робочій поверхні хону використовувався растровий електронний мікроскоп з енергодисперсійним аналізатором рентгенівських знімків. Визначено характерні ознаки руйнування цілого зерна до і після хонінгування.

Показано характер зламу частинок SiC із утворенням дрібних гострих різальних країв. Доведено, що такі частинки мають високу твердість і різальні властивості. Під час взаємодії зерен в процесі хонінгування циліндрів утворюється поверхня, що сприяє збільшенню маслостійкості та опорної площі при високій якості структури.

Розглянуто ефективність попереднього базового хонінгування з огляду на видалення припуску, а також оптимізацію режимів обробки з необхідним якісним складом абразивних хонів.

Проаналізовано механізм взаємодії зерен карбиду кремнію, що знаходяться в робочій поверхні хонів, із обробленою поверхнею циліндрів.

Вказано, що результати дослідження можна використовувати для аналізу ефективності хонів при створенні процесів базового та фінішного хонінгування.

Ключові слова: механізм руйнування зерен, інструмент із зв'язаним абразивом, структура робочої поверхні хону, базове хонінгування, двигуни внутрішнього згорання (ДВЗ)

Вступ

Найважливішим завданням технічного прогресу в галузі машинобудування є підвищення надійності та довговічності роботи машин та механізмів. Вирішення його пов'язане із удосконаленням технологічних методів і засобів обробки деталей, тобто з технологічним забезпеченням високої точності їхньої геометричної форми, низької шорсткості поверхні, кращого фізико-механічного стану поверхневих шарів металу та скороченням у часі технологічного процесу. Саме на останніх операціях формується поверхневий шар деталей, що визначає їхні експлуатаційні властивості.