

Література

1. Сверхтвердые материалы. Получение и применение: моногр. в 6 т. Т. 3 / под общ. ред. Н. В. Новикова. – К.: ИСМ им. В. Н. Бакуля, ИПЦ «Алкон» НАН Украины, 2005. – 280 с.
2. Каданер Л. И. Равномерность гальванических покрытий. – Х.: Гос. ун-т, 1961. – 414 с.
3. Popov K. I., Živković P. M., Nikolić N. D. A mathematical model of the current density distribution in electrochemical cells // J. Serb. Chem. Soc. –2011. – N 76 (6). – P. 805–822.
4. Popov K. I., Pešić S. M., Živković P. M. The current distribution in an electrochemical cell. Part VI. The quantitative treatment for cells with three plane parallel electrode arrangements // J. Serb. Chem. Soc. – 2001. – N 66(7). – P. 491–498.
5. Вячеславов П. М., Волянюк Г. А. Электролитическое формование. – Л: Машиностроение, 1979. – 197 с.
6. Popov K. I., Stevanovi R. M. A new current line division concept for the determination of the current distribution in electrochemical cells. Part I. Theoretical background of the “corner weakness” effect in electroforming // J. Serb. Chem. Soc. – 2000. – N 65(12). – P. 905–914.
7. Current Distribution at the Electrodes in Zinc Electrowinning Cells / K. Bouzek, et al. // J. Electrochem. Soc. – 1995. – N 142(1). – P. 64–69.
8. Deconinck J. Mathematical modelling of electrode growth // J. of appl. electrochem. – 1994. – N 24. – P. 212–218.
9. Electrode Growth Next to an Insulator. Application ID: 10212 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.comsol.com/model/electrode-growth-next-to-an-insulator-10212>.
10. Гамбург Ю. Д. Какие формы импульсного тока целесообразно применять на практике // Гальванотехника и обработка поверхности. – 2003. – № 4. – С. 60–65.
11. Распределение металла на сложнопрофильном катоде при электроосаждении меди в условиях принудительной конвекции / Т. И. Лежава и др. // Электрохимия. – 2007. – №43(3). – С. 319–324.
12. The intensification of compact copper electrowinning process by increasing vertical current density and distribution uniformity/ D. Yu. Ushchapovskyi, T. I. Motronyuk, O. V. Linyuicheva, A. S. Tsymbaliuk // Promising materials and processes in applied electrochemistry: Monogr. K.: KNU TD, 2017. – P. 81–88.

Поступила 07.07.17

УДК 666.11.01

С. А. Кухаренко, О. А. Девницький, І. В. Лещук, кандидати технічних наук

Інститут надтвердих матеріалів ім. В. М. Бакуля НАН України, м. Київ

АБРАЗИВОВМІСНІ СКЛОКОМПОЗИТИ ЯК ЗВ'ЯЗУЮЧІ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ІНСТРУМЕНТУ

Встановлено закономірності зв'язку фізико-хімічних і фізико-механічних властивостей абразивовмісних композитів інструментального призначення на основі склоутворюючих систем з дисперсними тугоплавкими наповнювачами Al_2O_3 , TiO_2 , ZrO_2 з його експлуатаційними характеристиками залежно від виду наповнювача.

Ключові слова: скло, тугоплавкі оксиди, дифузія, абразивовмісні композити, міцність утримання зерен НТМ.

Вступ

У зв'язку зі зростаючим попитом різних галузей промисловості, зокрема машино-, приладобудівної, авто- та літакобудування, в інструментах з надтвердих матеріалів (НТМ) – алмазу та кубічного нітриду бору (КНБ, cBN) на керамічних зв'язках для оброблення новітніх матеріалів набирає актуальності питання створення нових класів інструментів з новими конструкційними рішеннями. Різальний шар такого інструменту складається з абразивовмісного склокомпозиційного матеріалу. Основне завдання при розробленні таких композитів – міцне закріплення зерен абразиву в матриці, створення умов фізичного та хімічного поєднання компонентів з метою збереження індивідуальних властивостей абразиву та наповнювачів в умовах виготовлення та експлуатації інструментів [1].

Основою більшості керамічних зв'язуючих є скло різного хімічного складу. Від властивостей цього скла значною мірою залежать властивості та працездатність абразивних інструментів. Інструменти з КНБ на склокристалічних зв'язуючих внаслідок комплексу властивостей (високої зносостійкості, малого коефіцієнту тертя, високої теплостійкості) придатні для використання при обробленні загартованих сталей і залізобуглецевих сплавів, грубому, чистовому та фінішному шліфуванні неметалевих матеріалів, суперфінішуванні деталей підшипників із забезпеченням високої продуктивності шліфування та якості оброблення.

Результати дослідження та їх обговорення

Більшість основних технологічних видів скла багатокомпонентні. Як об'єкти дослідження взяли легкоплавке скло в системах $\text{Na}_2\text{O}-\text{CaO}-\text{TiO}_2-\text{B}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ і $\text{PbO}-\text{ZnO}-\text{B}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$. При введенні до скла системи $\text{PbO}-\text{ZnO}-\text{B}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$, що кристалізується, скла системи $\text{Na}_2\text{O}-\text{CaO}-\text{TiO}_2-\text{B}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$, що не кристалізується, під кристалізації першого зсувається в бік нижчих значень температури внаслідок розчинення і дифузії легкоплавких компонентів (катиони лужних металів) другого скла, які стають центрами нуклеації – утворення зародків кристалізації. Останні при подальшому підвищенні температури утворюють нову кристалічну фазу – ларсеніт (PbZnSiO_4) [2].

Такі стекла при температурі нижче температури розм'якшення перебувають у «твердому» стані із замороженою структурою, а поблизу температури розм'якшення – у стані «рівноваги». Відомо, що більшість фізико-механічних властивостей стекел змінюються стрибкоподібно при переході від «твердого» стану до стану «рівноваги». У сумішах двох або кількох розм'якшених стекел відбуваються дифузійні потоки іонів, спрямовані від міжфазної границі вглиб частинок скла [3]. Дифузія є фізико-хімічною властивістю скла, регулювання якої уможливорює регулювання фізико-механічних властивостей інструментальних композитів.

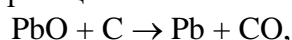
У результаті поєднання суміші стекел у різних багатокомпонентних оксидних системах одержують зв'язки за температури нижче температури зв'язуючого, до складу якого входить скло однієї системи. Це сприяє суттєвому підвищенню енергозбереження і водночас поліпшенню фізико-механічних властивостей (зносо-, теплостійкості, утримання зерен) внаслідок використання склооснови різного хімічного складу.

Шліфувальні круги з cBN на керамічній зв'язці при обробленні сталі різних марок мають певні переваги порівняно з кругами на металевій та полімерній зв'язках. Вони легко правляться, є можливість регулювання кількості пор та зносостійкості. За однакової

продуктивності сила різання таких кругів значно нижча. При шліфуванні такими кругами поверхня, яку шліфують, нагрівається меншою мірою.

При виготовленні зв'язуючого доцільно використовувати легкоплавке свинцевоцинкове скло разом зі склом однієї із силікатних систем на основі оксидів лужних або лужноземельних металів. Оксидні стекла добре змочують одне одного за температури вище температури їх трансформації. У таких склоутворюючих системах інтенсивно розвиваються процеси взаємопроникнення іонів, регулюючи які шляхом використання багатокомпонентних стекел різного складу та температурно-часових режимів їх термооброблення уможливується поліпшення фізико-механічних властивостей зв'язуючого.

На прикладі скла системи $\text{PbO-ZnO-B}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$, що кристалізується найповніше, доведено позитивний вплив кристалізації на утримання зерен абразивів. Встановлено хімічний характер взаємодії скла з алмазом та cBN. За високої температури можлива взаємодія алмазу та cBN зі склом за реакціями



У разі спільного термооброблення скла з алмазами або cBN за результатами інфрачервоної спектроскопії було встановлено, що починаючи з температури 800 °С розплав скла та алмаз взаємодіють. Для кубоніту така взаємодія починається з температури 500 °С. Проте за температури формування склоабразивних композитів на основі досліджених стекел така взаємодія незначна. Внаслідок цього міцність утримання зерен алмазу та cBN доволі висока. Скло системи $\text{PbO-ZnO-B}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ здатне утримувати алмаз та cBN, але різною мірою (див. таблицю).

Утримання НТМ у склі

Скло	Температура, °С	Утримання, МПа	
		Алмаз	cBN
$\text{PbO-ZnO-B}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$	450	7,36	9,92
	480	8,55	12,08
	510	12,49	18,03
	550	48,40	72,26
	630	41,87	64,86

Міцність агрегатів залежить від співвідношення міцності кристалічної (порошки НТМ) і сполучної (скло) фаз, а також міцності їх з'єднання в єдине тверде тіло (адгезії на границі контакту НТМ – скло). Залежно від умов роботи інструменту в ньому використовують порошки алмазу або cBN із заданими властивостями, що забезпечують ефективне оброблення матеріалу, тобто властивості НТМ не можна змінювати для регулювання міцності агрегатів. Одним зі способів підвищення механічної міцності склоподібних матеріалів є введення в них у вигляді наповнювачів тугоплавких дисперсних частинок, які гальмують утворення і збільшення мікротріщин. Найперспективніші наповнювачі, що дають позитивний ефект у поєднанні з розплавами стекел, – тугоплавкі оксиди (наприклад, Al_2O_3 , TiO_2 , ZrO_2), які не утворюють стекел, але при розчиненні у стеклах не послаблюють, а зміцнюють склоподібну сітку і відповідно підвищують фізико-механічні властивості системи загалом.

Використання суміші стекел систем $\text{Na}_2\text{O-CaO-TiO}_2\text{-B}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ і $\text{PbO-ZnO-B}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ з дисперсними тугоплавкими наповнювачами Al_2O_3 , TiO_2 , ZrO_2 становить не лише науковий, а й практичний інтерес, позаяк у результаті можна отримати новий матеріал з

властивостями, відмінними від властивостей як вихідних стекел, так і скломатеріалу, виготовленого з вихідних компонентів.

Абразивовмісні композити інструментального призначення на основі свинцевоцинкборосилікатного та натрійтитанборосилікатного стекел з дисперсними тугоплавкими оксидами Al_2O_3 , TiO_2 , ZrO_2 придатні для використання при виготовленні інструментів:

– на керамічній зв'язці для оброблення легованих та загартованих важкооброблюваних сталей і залізовуглецевих сплавів на операціях внутрішнього, плоского та врізного шліфування, заточування твердого сплаву разом зі сталлю, суперфінішного оброблення деталей підшипників, грубого, чистового і тонкого шліфування неметалевих матеріалів;

– на полімерній зв'язці для шліфування швидкорізальної сталі Р6М5, легованих залізовуглецевих сплавів і чавунів кругами зі шліфпорошків cBN зі склопокриттями без охолодження та з охолодженням.

При взаємодії склоутворюючих систем на основі свинцевоцинкового та боросилікатного стекел з різною температурою трансформації та інших компонентів зв'язуючого регулюванням співвідношення компонентів у стеклах і дифузії катіонів на границі

контакту стекел можна суттєво посилити утримання зерен у матеріалі кругів і відповідно у 2,5 раза підвищити їх зносостійкість, а також на 200–250 °С знизити температуру їх виготовлення, що дуже важливо для зниження енергомосткості термічного оброблення. Це забезпечує нові властивості інструмента, виготовленого на такому зв'язуючому.

Результати дослідження показали, що внаслідок застосування стекел різного хімічного складу у зв'язуючому абразивного інструмента міцність його робочого шару при застосуванні суміші стекел систем $\text{Na}_2\text{O}-\text{CaO}-\text{TiO}_2-\text{B}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ і $\text{PbO}-\text{ZnO}-\text{B}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ в 1,5 раза вища, ніж при застосуванні чистого скла системи $\text{PbO}-\text{ZnO}-\text{B}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ (криві відповідно 2, 1 на рис. 1).

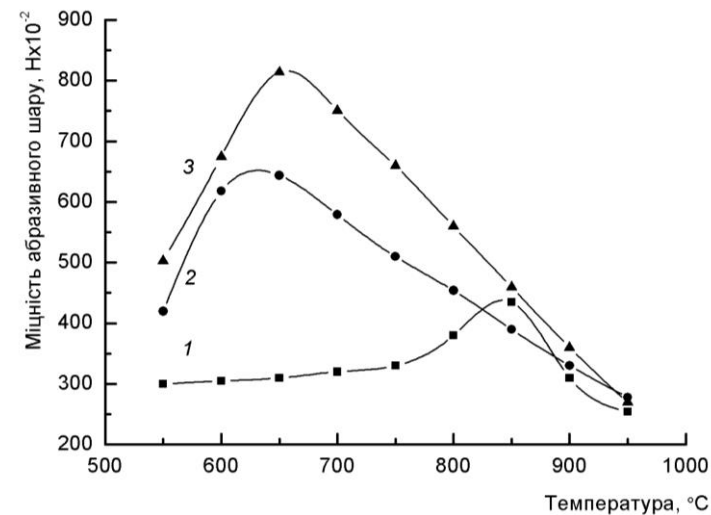
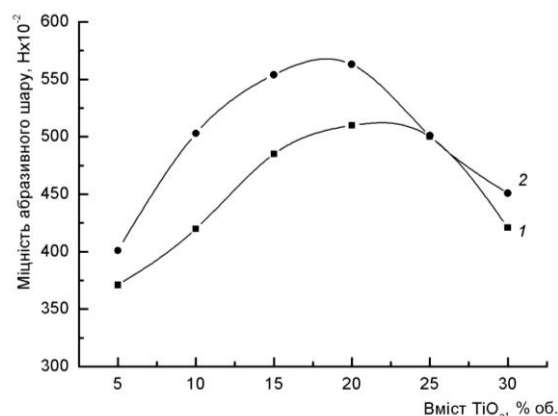
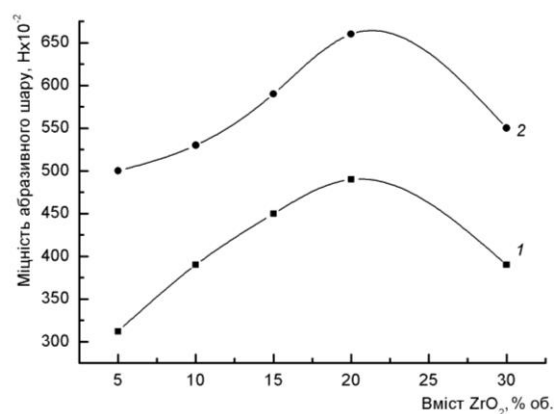


Рис. 1. Залежності міцності агрегатів з порошків кубоніту КР 125/100 та зв'язуючого із вмістом у його складі: 1 – скла системи $\text{PbO}-\text{ZnO}-\text{B}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$; 2 – суміші стекел систем $\text{Na}_2\text{O}-\text{CaO}-\text{TiO}_2-\text{B}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ і $\text{PbO}-\text{ZnO}-\text{B}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$; 3 – зазначеної суміші стекел з домішкою тугоплавкого оксиду ZrO_2

з введенням домішки тугоплавкого оксиду ZrO_2 20 % об. до зазначеної суміші стекел (крива 3 на рис. 1) додатково в 1,5 раза підвищується міцність абразивного шару із вмістом cBN .

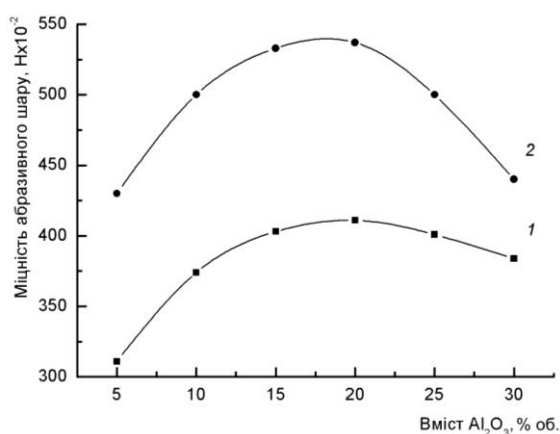
Для алмазних кругів наведені залежності залишаються такими самими, як для cBN , проте міцність агрегатів абразивного шару дещо нижча.

Максимальна міцність агрегатів абразивного шару з порошком алмазу марки АС6 125/100 та кубоніту марки КР 125/100 досягається при введенні 20 % об. домішки тугоплавкого оксиду ZrO_2 (рис. 2, а), TiO_2 (рис. 2, б), Al_2O_3 (рис. 2, в) при температурі спікання 550 °С.



а

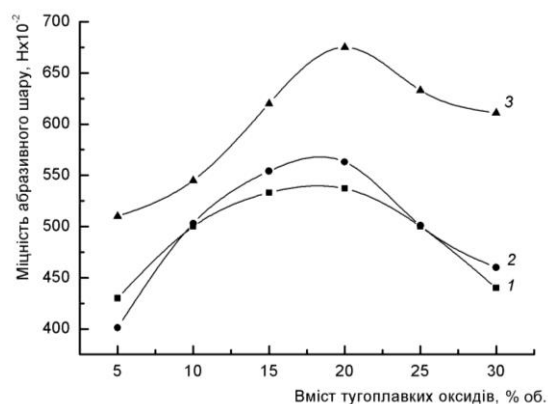
б



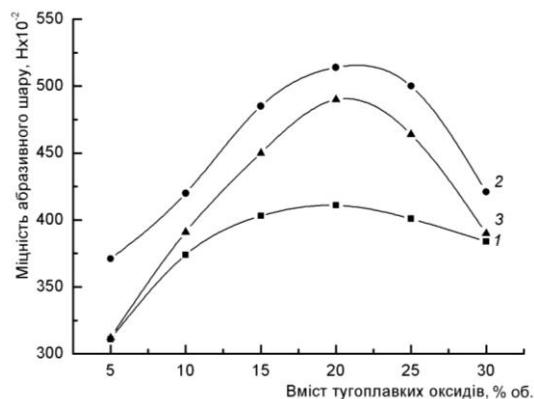
в

Рис. 2. Залежності міцності агрегатів з порошків алмазу АС6 125/100 (1) або кубоніту КР 125/100 (2) та зв'язуючого з вмістом у його складі суміші стекл систем $\text{Na}_2\text{O}-\text{CaO}-\text{TiO}_2-\text{B}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ і $\text{PbO}-\text{ZnO}-\text{B}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ від вмісту домішки тугоплавкого оксиду ZrO_2 (а), TiO_2 (б), Al_2O_3 (в) у зазначеній суміші стекл при температурі спікання 550 °С

Відповідно до результатів дослідження тугоплавкі оксиди по різному впливають на міцність агрегатів, які формуються зі зв'язуючого з вмістом суміші стекл систем $\text{Na}_2\text{O}-\text{CaO}-\text{TiO}_2-\text{B}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ і $\text{PbO}-\text{ZnO}-\text{B}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ та порошків надтвердих матеріалів (рис. 3).



а



б

Рис. 3. Залежності міцності агрегатів з порошків кубоніту КР 125/100 (а) і алмазу АС6 125/100 (б) та зв'язуючого з вмістом у його складі суміші стекл систем $\text{Na}_2\text{O}-\text{CaO}-\text{TiO}_2-\text{B}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ і $\text{PbO}-\text{ZnO}-\text{B}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ з домішками тугоплавких оксидів Al_2O_3 (1), TiO_2 (2), ZrO_2 (3) від їх вмісту в суміші зазначених стекл при температурі спікання 550 °С

Як впливає з даних рис. 3, *a*, із введенням тугоплавкого оксиду ZrO_2 підвищується міцність агрегатів абразивного шару, сформованих при температурі $550\text{ }^\circ\text{C}$ із суміші стекел систем $Na_2O-CaO-TiO_2-B_2O_3-SiO_2$ і $PbO-ZnO-B_2O_3-SiO_2$ та порошоків кубоніту КР 125/100, порівняно з домішками до цієї суміші стекел тугоплавких оксидів TiO_2 та Al_2O_3 в 1,3–1,5 раза. Водночас, міцність агрегатів абразивного шару шліфувальних кругів з домішкою TiO_2 незначною мірою вища, ніж з домішкою Al_2O_3 .

Для порошоків алмазу АС6 125/100 закономірність інша (рис. 3, *б*). Максимальна міцність агрегатів абразивного шару, сформованих при температурі $550\text{ }^\circ\text{C}$ із суміші стекел систем $Na_2O-CaO-TiO_2-B_2O_3-SiO_2$ і $PbO-ZnO-B_2O_3-SiO_2$ та порошоків алмазу, досягається при введенні до суміші стекел домішки TiO_2 (крива 2 на рис. 3). Агрегати абразивного шару з домішкою ZrO_2 (крива 3 на рис. 3) меншою мірою міцні, а міцність агрегатів з домішкою Al_2O_3 (крива 1 на рис. 3) – в 1,3 раза менша, ніж з домішкою TiO_2 .

При температурі формування агрегатів зі скловмісного зв'язуючого та порошоків кубоніту КР 125/100, що становить $650\text{ }^\circ\text{C}$, закономірності інші, ніж при температурі $550\text{ }^\circ\text{C}$ (рис. 4).

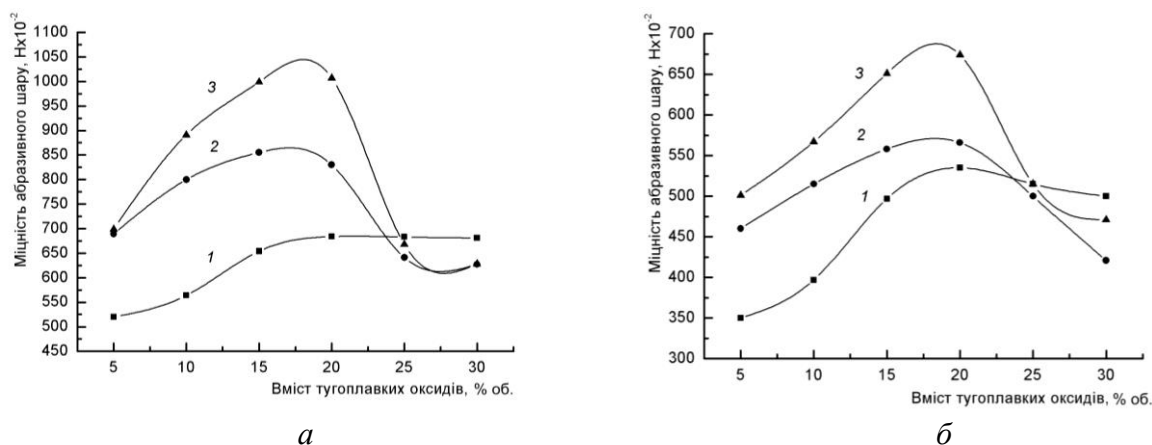


Рис. 4. Залежності міцності агрегатів з порошоків кубоніту КР 125/100 (*a*) і алмазу АС6 125/100 (*б*) та зв'язуючого з вмістом у його складі суміші стекел систем $Na_2O-CaO-TiO_2-B_2O_3-SiO_2$ і $PbO-ZnO-B_2O_3-SiO_2$ з домішками тугоплавких оксидів Al_2O_3 (1), ZrO_2 (2), TiO_2 (3) від їх вмісту в суміші зазначених стекел при температурі спікання $650\text{ }^\circ\text{C}$

Найвищої міцності сформовані із суміші стекел систем $Na_2O-CaO-TiO_2-B_2O_3-SiO_2$ і $PbO-ZnO-B_2O_3-SiO_2$ та порошоків кубоніту КР 125/100 агрегати досягають при введенні до суміші стекел 20 % об. домішки тугоплавкого оксиду TiO_2 (крива 3 на рис. 4, *a*). Зі зменшенням вмісту TiO_2 у суміші стекел до 10–15 % об. міцність абразивного шару дещо нижча, ніж при вмісті 20 % об. При збільшенні вмісту домішки TiO_2 понад 20 % об. міцність таких агрегатів різко знижується.

Міцність агрегатів з домішкою ZrO_2 (крива 2 на рис. 4, *a*) нижча, ніж з домішкою TiO_2 в 1,3 раза. Крім того, міцність агрегатів за вмісту домішки ZrO_2 10, 15 та 20 % об. однакова. При збільшенні вмісту домішки ZrO_2 понад 20 % об. міцність агрегатів різко знижується.

Міцність агрегатів з домішкою Al_2O_3 (крива 1 на рис. 4, *a*) нижча, ніж з домішкою TiO_2 в 1,6 раза. За вмісту 15–30 % об. Al_2O_3 залежність міцності агрегатів від вмісту домішки має прямулінійний характер.

Для порошоків алмазу АС6 125/100 залежності міцності агрегатів зі скловмісного зв'язуючого з домішками тугоплавких оксидів від їх вмісту (рис. 4, *б*) при температурі

формування 650 °С такі самі, як для порошоків кубоніту КР 125/100; при цьому їх міцність в 1,5 рази нижча.

Такий характер поведінки домішок тугоплавких оксидів зумовлений відмінністю при взаємодії зі склофазою суміші стекол, до яких їх вносять. У суміші двох або більше стекол виникають дифузійні потоки від границі розподілу фаз вглиб частинок скла. Водночас у протилежному напрямі – до границі контакту різних стекол – переміщуються мікропустоти. Відповідно розчинення тугоплавких оксидів Al_2O_3 , TiO_2 , ZrO_2 , які введені до суміші стекол як наповнювачі, визначатиметься дифузією продуктів від поверхні розподілу фаз.

Регулюванням дифузії багатокомпонентних стекол у системах $Na_2O-CaO-TiO_2-B_2O_3-SiO_2$ і $PbO-ZnO-B_2O_3-SiO_2$ можна регулювати також властивості абразивного шару інструменту (наприклад, міцність, утримання зерен НТМ у зв'язуючому, зносостійкість).

У результаті дослідження визначено оптимальний склад зв'язуючого абразивного шару інструменту та режими його виготовлення.

Для встановлення впливу технологічних параметрів формування скловмісного зв'язуючого НТМ на експлуатаційні характеристики інструменту, де його застосовано, виготовлено шліфувальні круги формою 12А2-45° 125x5x3x32 з порошком кубоніту марки КР 125/100 при 100%-й концентрації порошку в абразивному шарі, що випробовані при шліфуванні швидкорізальної сталі Р6М5.

Результати випробування кругів [4] показали, що із застосуванням скловмісного зв'язуючого на основі суміші стекол систем $Na_2O-CaO-TiO_2-B_2O_3-SiO_2$ і $PbO-ZnO-B_2O_3-SiO_2$ з внесенням до їх складу домішок тугоплавких оксидів ZrO_2 , TiO_2 , Al_2O_3 при виготовленні шліфувального інструменту в більшості випадків підвищується зносостійкість інструменту порівняно зі шліфувальним кругом на керамічному зв'язуючому без застосування в його складі скла, а також знижується ефективна потужність шліфування, що позитивно впливає на його енергомісткість.

З метою підвищення продуктивності шліфування доцільно застосовувати круги з внесенням до суміші стекол систем $Na_2O-CaO-TiO_2-B_2O_3-SiO_2$ і $PbO-ZnO-B_2O_3-SiO_2$ 20 % об. домішки TiO_2 , про що свідчать найменші витрати сBN при обробленні швидкорізальної сталі Р6М5. Отже, із внесенням 20 % об. домішки TiO_2 як додаткового компонента до суміші стекол, що містяться у зв'язуючому абразивного шару шліфувальних кругів, у 2,5 рази підвищується зносостійкість інструменту.

Для забезпечення низької шорсткості обробленої поверхні за високої продуктивності шліфування доцільно вносити до суміші стекол 10–20 % об. домішки Al_2O_3 .

Висновки

Встановлено закономірності зв'язку фізико-хімічних і фізико-механічних властивостей абразивовмісних композитів інструментального призначення на основі склоутворюючих систем з дисперсними тугоплавкими наповнювачами Al_2O_3 , TiO_2 , ZrO_2 з його експлуатаційними характеристиками залежно від виду наповнювача. Із введенням до склокомпозиційного матеріалу наповнювачів тугоплавких оксидів, які не утворюють скла, але при розчиненні в ньому не послаблюють, а зміцнюють склоподібну сітку, фізико-механічні властивості абразивовмісних композитів підвищуються втричі. Це забезпечує нові властивості інструменту, виготовленого на основі такого склокомполиту.

Розроблені композиційні матеріали на основі суміші стекол з різною температурою трансформації в системах $Na_2O-CaO-TiO_2-B_2O_3-SiO_2$ і $PbO-ZnO-B_2O_3-SiO_2$ з дисперсними тугоплавкими наповнювачами Al_2O_3 , TiO_2 , ZrO_2 широко застосовують як керамічні зв'язки абразивного інструменту з сBN при високопродуктивному обробленні сталевих виробів різного

функціонального призначення, а також як склопокриття шліфпорошків НТМ з високими експлуатаційними властивостями для виготовлення інструментів на полімерній зв'язці.

Установлены закономерности связи физико-химических и физико-механических свойств абразивосодержащих композитов инструментального назначения на основе стеклообразующих систем с дисперсными тугоплавкими наполнителями Al_2O_3 , TiO_2 , ZrO_2 с его эксплуатационными характеристиками в зависимости от вида наполнителя.

Ключевые слова: *стекло, тугоплавкие оксиды, диффузия, абразивосодержащие композиты, прочность удержания зерен СТМ.*

ABRASIVE-CONTAINING GLASS MATERIALS AS BINDERS FOR TOOLS

The regularities of the connection of physico-chemical and physical-mechanical properties of abrasive-containing tool composites on the basis of glass-forming systems with dispersed refractory fillers Al_2O_3 , TiO_2 , ZrO_2 with its working characteristics depending on the type of filler are established.

Key words: *glass, refractory oxides, diffusion, abrasive-containing composites, strength of SHM grain holding.*

Література

1. Инструмент из сверхтвердых материалов на керамических связках / А. А. Пашенко, Б. М. Емельянов, А. Е. Шило и др. – К.: Наук. думка, 1980. – 144 с.
2. Кухаренко С. А., Шило А. Е., Бондарев Е. К. Структурные превращения в смеси стекол натрийборосиликатной и свинцовоцинкборосиликатной систем при нагреве // Сверхтвердые матер. – 2005. – № 4. – С. 47–55.
3. Кухаренко С. А., Ткач В. Н. Механизм многокомпонентной диффузии ионов в силикатных стеклообразующих расплавах // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения: Сб. науч. тр. – К.: ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины, 2016. – Вып. 19. – С. 450–456.
4. Эксплуатационные свойства стеклопокрытий для порошков cBN / С. А. Кухаренко, В. И. Лавриненко, А. А. Девицкий, Е. А. Барановская // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения: Сб науч. тр. – К.: ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины, 2010. – Вып. 13. – С. 465–470.

Надійшла 03.04.17