

(012001), 1–7.

9. Filatov, Y. D., Sidorko, V. I., Sokhan S. V. et al. (2023). Roughness of Polished Surfaces of Optoelectronic Components Made of Polymeric Optical Materials. *J. Superhard Mater.*, 45(1), 54–64.

УДК 539.216:621.762

DOI: 10.33839/2708-731X-24-1-362-369

**В.В. Івженко**, канд. техн. наук; **Т.О. Косенчук**; **І.П. Фесенко**, д-р техн. наук

*Інститут надтвердих матеріалів ім. В. М. Бакуля НАН України, вул. Автозаводська, 2, 04074, м. Київ, E-mail: ivv@ism.kiev.ua*

### **ВПЛИВ ДОМІШКИ НІТРИДУ БОРУ НА ФІЗИКО-МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ТА ЗНОСОСТІЙКІСТЬ СІАЛОНУ**

*Досліджена кінетика спікання під тиском 10 МПа  $\beta$ -сіалонів зі складом Z=2,0; 3,0 з домішкою 3% нітриду бору. Встановлено, що домішка BN зменшує швидкість ущільнення матеріалів на початковій стадії спікання (в інтервалі 0-15 хв) на 20-25%. При ізотермічній витримці 60 хв відносно ущільнення зменшується з 0,98-0,99 до 0,95-0,96. Досліджені пористість, тріщиностійкість, твердість і зносостійкість  $\beta$ -сіалонів зі складом Z=2,0; 3,0 з домішкою 1, 2, 3% нітриду бору, отриманих спіканням при 1750°C під тиском 10 МПа на протязі 30-60 хв. Встановлено, що найменшу зносостійкість при закритій пористості матеріалу мають сіалони складом Z=2,0 з домішкою 1% BN, отримані спіканням під тиском на протязі 60 хв, і складом Z=3,0 з домішкою 1% BN, отримані спіканням під тиском на протязі 30 хв. Розроблено процес отримання виробів з сіалону методом гарячого пресування при тиску 10 МПа, які працюють в парі тертя з деталями з жароміцної сталі при температурах до 1200°C.*

**Ключові слова:** нітрид кремнію, нітрид алюмінію, сіалон, нітрид бору, спікання під тиском, ущільнення, структура, тріщиностійкість, твердість, зносостійкість.

Нітрид кремнію має значний потенціал для виготовлення високотемпературних, зносостійких та корозійностійких матеріалів внаслідок високої твердості, міцності, високого опору повзучості та значної стійкості до окислення [1].

Технологія спікання під тиском (гарячого пресування) широко використовується в порошковій металургії тугоплавких сполук для отримання матеріалів з мінімальною пористістю. Змінюючи параметри процесу, а саме температуру, тиск, тривалість витримки, можна отримувати матеріали з різною структурою.

Мета роботи полягає у вивченні закономірностей формування структури та властивостей матеріалів з порошкової системи  $\text{Si}_3\text{N}_4\text{-AlN-Al}_2\text{O}_3\text{-BN}$  і у розробці процесу отримання виробів з сіалону методом гарячого пресування при тиску 10 МПа, які працюють в парі тертя з металами при температурах до 1200 °C. Робота є продовженням раніше проведених досліджень зносостійкості матеріалів на основі нітриду кремнію і карбіду кремнію [2–4].

Для дослідження використовували порошок нітриду кремнію з вмістом  $\alpha$ -фази 79%, середнім розміром часток 12,5 мкм; порошок AlN, середнім розміром часток 5,0 мкм, синтезований прямим азотуванням алюмінієвого порошку в атмосфері азоту; та порошок оксиду алюмінію розміром часток 0,3 мкм. В якості домішки використовували гексагональний нітрид бору. Хімічний склад і дисперсність вихідних порошків  $\text{Si}_3\text{N}_4$ ; AlN надані в табл.1.

**Таблиця 1.** Хімічний склад і дисперсність вихідних порошків

№	Порошок	d, мкм	Вміст елементів, %					
			N	Si <sub>св.</sub>	Fe	O	Ca	Cl
1	Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub> 79% α-фази	12,5	38,4	0,5	0,8	2,8	–	–
2	AlN	5,0	33,3	-	0,02	0,5	-	-

Розмел порошків нітриду кремнію і нітриду алюмінію проводили в кульовому млині в вологому середовищі з використанням твердосплавних мелючих тіл. Тривалість розмелу становила 48 год. Після розмелу питома поверхня порошку нітриду кремнію становила 6,3 м<sup>2</sup>/г, а середній розмір часток 1,1 мкм. Порошкові системи готувались змішуванням компонентів в сталевому барабані тілами з оксиду алюмінію на протязі 24 год. В табл. 2 надані літературні дані про вміст сполук у вихідній шихті β'-сіалонів для Z=1,0–2,0 [5].

**Таблиця 2.** Вміст сполук у вихідній шихті β'-сіалонів для Z=1,0–2,0

№	Z	Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub>	AlN	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
1	1,0	83,54	7,16	9,19
2	1,5	75,14	9,34	15,50
3	2,0	66,70	11,52	21,78

Дослідження кінетики ущільнення матеріалів системи Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>-AlN-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-BN при 1750 °C під тиском 10 МПа було проведено при гарячому пресуванні зразків Ø80 мм висотою 50 мм з порошкових систем, які мали Z=2,0; Z=3,0; Z=2,0+3% BN; Z=3,0+3%. Пресформи нагрівали індукційним способом. В якості параметра спікання використовували усадку по довжині зразку та величину F, яка дорівнює

$$F=l_1-l_2/l_1-l_3,$$

де  $l_1, l_2, l_3$  – довжина спресованого, спеченого та компактного тіла.

Зразки матеріалів досліджували в ТОВ «Технології Високих Енергій». Визначення кількісного та якісного фазового складу проб проводились з використанням рентгенівського дифрактометра *Inel EQUINOX-1000*, у мідному випромінюванні ( $\text{CuK}\alpha = 0,15418$  нм) в умовах ковзаючої геометрії з кутом падіння рентгенівського випромінювання відносно поверхні зразку 5° із ресстрацією дифрагованого випромінювання на кутах 2θ від 10 до 110° радіальним позиційно-чутливим детектором. Зйомку зразків проводили при напрузі на рентгенівській трубці 30 кВ та силі струму 15 мА. Аналіз отриманих рентгенівських спектрів здійснено з використанням програмного забезпечення *Match*, шляхом порівняння порошкових дифрактограм зразків з даними бази.

Густина і пористість матеріалу розраховували за методикою, регламентованою ДСТУ EN ISO 3369:2014. Вимірювання твердості по Вікерсу  $H_V$  (при навантаженні 150 Н) проводили на цифровому мікротвердомірі *Matsuzawa MXT70*. Відбиток пірамідки вивчали на оптичному мікроскопі NU–2E виробництва фірми *Carl Zeiss* при 750-кратному збільшенні. Визначення тріщиностійкості (в'язкості руйнування  $K_{Ic}$ ) проводили по методу Еванса–Чарльза по довжині радіальних тріщин з кутів відбитка індентора Віккерса. Розрахунок зносостійкості матеріалів

проводили з використанням результатів досліджень залежності зносостійкості композиційного матеріалу від його твердості та тріщиностійкості [6], а саме формули

$$S = H_V^{0.5} \cdot K_{1c}^{0.75}$$

де:  $S$  – зносостійкість,  $H_V$  – твердість,  $K_{1c}$  – тріщиностійкість.

На рис. 1 представлені залежності зміни параметра  $F$  для зразків сіалонів з  $Z=2,0$ ;  $Z=3,0$ ;  $Z=2,0+3\% \text{ BN}$ ;  $Z=3,0+3\% \text{ BN}$  при спіканні під тиском 10 МПа.

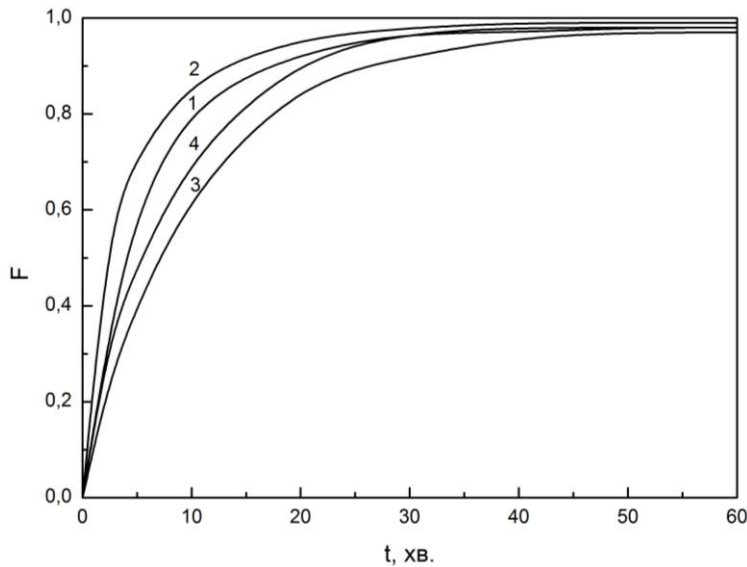
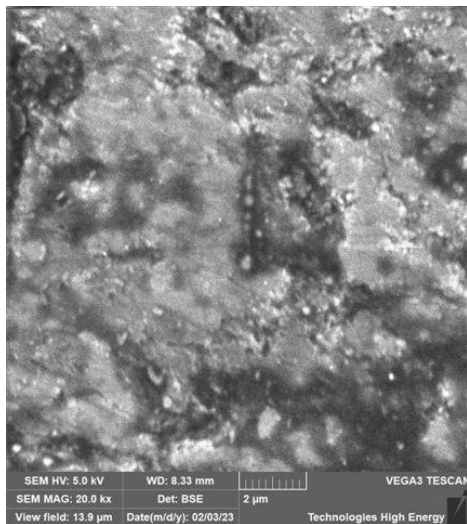


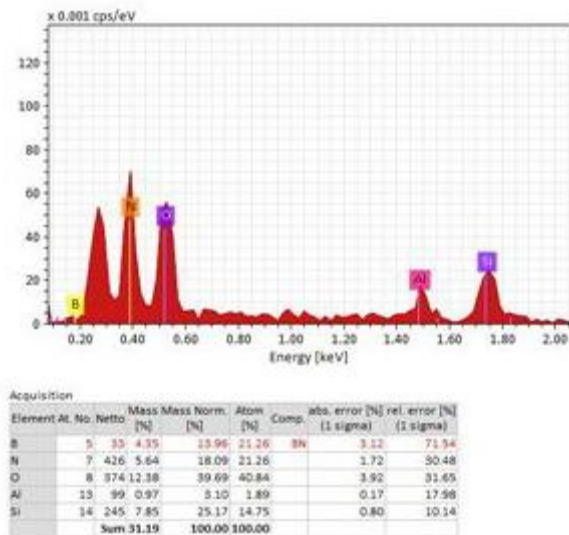
Рис. 1. Залежність параметра спікання ( $F$ ) сіалонів з  $Z=2,0$ ;  $Z=3,0$ ;  $Z=2,0+3\% \text{ BN}$ ;  $Z=3,0+3\% \text{ BN}$  від часу ( $t$ ) і температури ( $T$ ) спікання під тиском 10 МПа ( $\beta$ ), отриманих з порошку нітриду кремнію з вмістом 79%  $\alpha$ -фази, 21%  $\beta$ -фази: 1 – матеріали з  $Z=2,0$  ( $\bullet$ ); 2 – матеріали з  $Z=3,0$  ( $\times$ ); 3 – матеріали з  $Z=2,0+3\% \text{ BN}$  ( $\circ$ ); 4 – матеріали з  $Z=3,0+3\% \text{ BN}$  ( $+$ )

Аналіз результатів досліджень показує, що найбільше ущільнення матеріалів проходить в зразках матеріалів з великим вмістом рідкої фази. Кількість рідкої фази впливає на швидкість ущільнення в інтервалі 0-20 хв ізотермічної витримки, в інтервалі 30-60 хв цей вплив

несуттєвий.



а



б

Рис. 2. Мікроструктура поверхні шліфа  $\beta'$ -сіалону з  $Z=2,0+3\% \text{ BN}$ , отриманого з порошку нітриду кремнію з вмістом 79%  $\alpha$ -фази, 21%  $\beta$ -фази спіканням при 1750 °C під тиском 10 МПа на протязі 60 хв (а) та результати його мікрорентгеноспектрального аналізу (б)

В матеріалах з  $Z=2,0$  ущільнення проходить до відносної щільності 0,98, в матеріалах з  $Z=3,0$  – до відносної щільності 0,99. Домішка BN зменшує швидкість ущільнення матеріалів на початковій стадії спікання (в інтервалі 0-15 хв) на 20-25%, і при ізотермічній витримці 60 хв відносно ущільнення зменшується з 0,98-0,99 до 0,95-0,96.

На рис. 2 представлені мікроструктури поверхні шліфа  $\beta'$ -сіалону з  $Z=2,0$  і домішкою 3% BN, отриманого спіканням при 1750 °С під тиском 10 МПа на протязі 60 хв, та результати його мікрорентгеноспектрального аналізу.

На рис. 3–5 представлені залежності твердості, тріщиностійкості, зносостійкості  $\beta'$ -сіалонів від вмісту BN в  $\beta'$ -сіалонах з  $Z=2,0$  і  $Z=3,0$ , отриманих з порошку нітриду кремнію з вмістом 79%  $\alpha$ -фази, 21%  $\beta$ -фази при температурі спікання 1750 °С, тиску 10 МПа, витримці 60 хв.

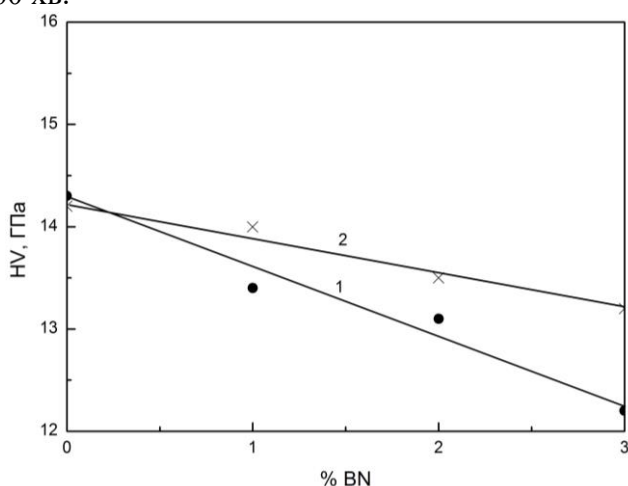


Рис. 3. Залежності твердості ( $H_V$ ) від вмісту BN в  $\beta'$ -сіалонах з  $Z=2,0$  і  $Z=3,0$ , отриманих при температурі спікання 1750 °С, тиску 10 МПа, витримці 60 хв: 1 –  $Z=2,0$  (●); 2 –  $Z=3,0$  (×).

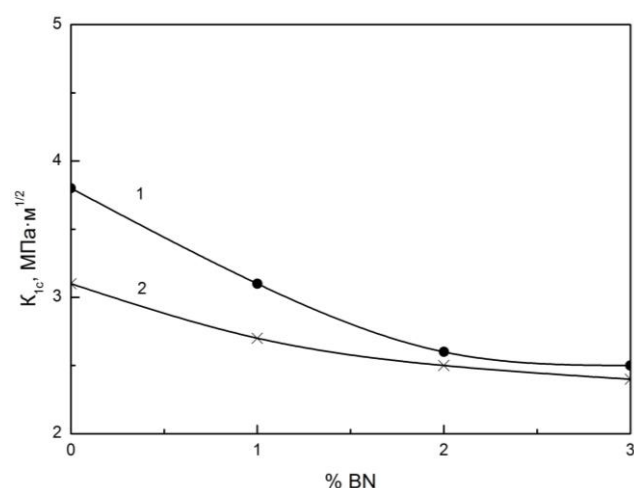


Рис. 4. Залежності тріщиностійкості ( $K_{Ic}$ ) від вмісту BN в  $\beta'$ -сіалонах з  $Z=2,0$  і  $Z=3,0$ , отриманих при температурі спікання 1750 °С, тиску 10, МПа витримці 60 хв: 1 –  $Z=2,0$  (●); 2 –  $Z=3,0$  (×)

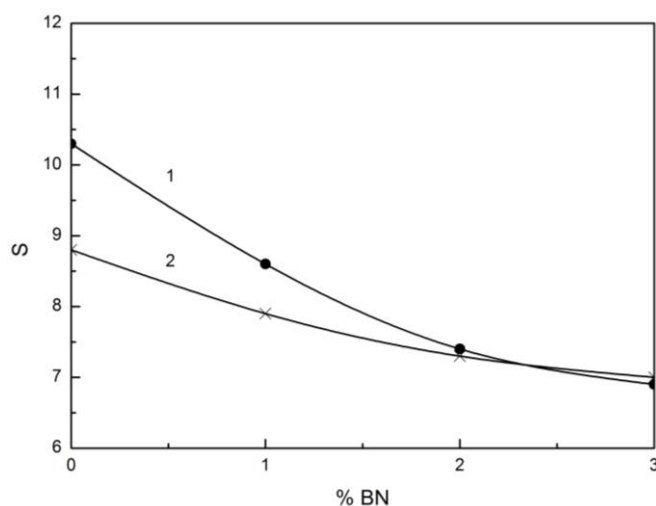


Рис. 5. Залежності зносостійкості ( $S$ ) від вмісту BN в  $\beta'$ -сіалонах з  $Z=2,0$  і  $Z=3,0$ , отриманих при температурі спікання 1750 °С, тиску 10 МПа, витримці 60 хв: 1 –  $Z=2,0$  (●); 2 –  $Z=3,0$  (×)

Твердість сіалонів в досліджуваному інтервалі вмісту BN зменшується з 14,3 до 12,2 ГПа в матеріалах з  $Z=2,0$  та з 14,2 до 13,2 ГПа в матеріалах з  $Z=3,0$ . Тріщиностійкість зменшується з 3,8 до 2,5 МПа·М<sup>0,5</sup> в матеріалах з  $Z=2,0$  та з 3,1 до 2,4 МПа·М<sup>0,5</sup> в матеріалах з  $Z=3,0$ . Зносостійкість зменшується з 10,3 до 6,9 в матеріалах з  $Z=2,0$  та з 8,8 до 7,0 в матеріалах з  $Z=3,0$ .

В табл. 3 надані результати досліджень пористості  $\beta'$ -сіалонів з  $Z=2,0$ ;  $Z=3,0$ ;  $Z=2,0+1\%$  BN;  $Z=3,0+1\%$  BN;  $Z=2,0+2\%$  BN;  $Z=3,0+2\%$  BN;  $Z=2,0+3\%$  BN;  $Z=3,0+3\%$  BN; отриманих з порошків нітриду кремнію з вмістом 79%  $\alpha$ -фази, 21%  $\beta$ -фази. Спінання проводили при 1750 °С під тиском 10 МПа на протязі 30, 40, 50, 60 хв.

**Таблиця 3.** Пористість  $\beta'$ -сіалонів з  $Z=2,0$ ;  $Z=3,0$ ;  $Z=2,0+1\%$  BN;  $Z=3,0+1\%$  BN;  $Z=2,0+2\%$  BN;  $Z=3,0+2\%$  BN;  $Z=2,0+3\%$  BN;  $Z=3,0+3\%$  BN, отриманих з порошку нітриду кремнію з вмістом 79%  $\alpha$ -фази, 21%  $\beta$ -фази спіканням при 1750 °С, тиску 10 МПа на протязі 30, 40, 50, 60 хв

№	% BN	Z	Пористість, %; час витримки, хв			
			30 хв	40 хв	50 хв	60 хв
1	0	2	-	-	-	2,0
2	0	3	-	-	-	1,4
3	1	2	-	5,0	3,7	3,2
4	1	3	3,1	2,8	2,7	2,6
5	2	2	-	-	-	4,2
6	2	3	4,3	3,8	3,6	3,5
7	3	2	-	-	-	5,1
8	3	3	-	-	-	4,3

Дослідження показали, що найменшу пористість матеріалу мають: сіалони складом  $Z=2,0+1\%$  BN ( $\Pi=3,2\%$ ), сіалони складом  $Z=3,0+1\%$  BN ( $\Pi=2,6\%$ ), сіалони складом  $Z=3,0+2\%$  BN ( $\Pi=3,5\%$ ).

На рис. 6–8 представлені залежності твердості, тріщиностійкості, зносостійкості  $\beta'$ -сіалонів складів  $Z=2,0+1\%$  BN і  $Z=3,0+1\%$  BN від часу витримки при спіканні, отриманих з порошку нітриду кремнію з вмістом 79%  $\alpha$ -фази, 21%  $\beta$ -фази при температурі спікання 1750 °С, тиску 10 МПа.

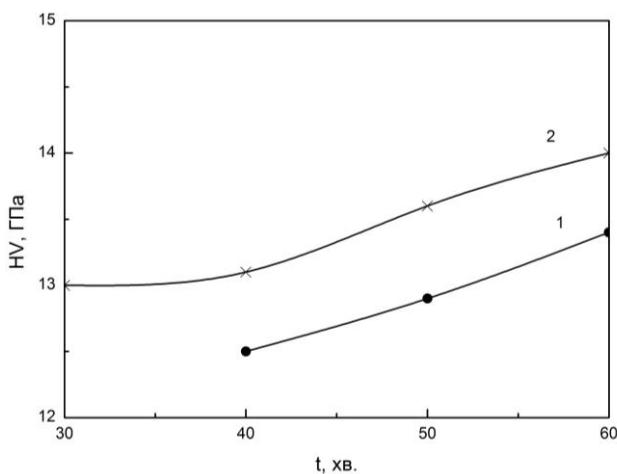


Рис. 6. Залежності твердості ( $H_v$ ) від часу витримки при спіканні ( $t$ )  $\beta'$ -сіалонів складів  $Z=2,0+1\%$  BN і  $Z=3,0+1\%$  BN, отриманих при температурі 1750 °С, тиску 10 МПа: 1 –  $Z=2,0+1\%$  BN (●); 2 –  $Z=3,0+1\%$  BN (×).

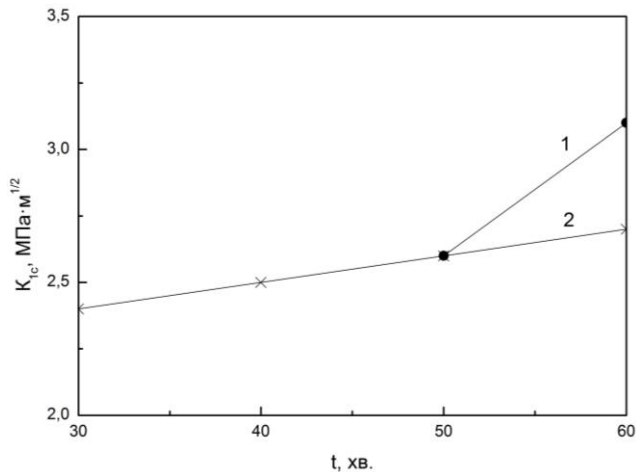


Рис. 7. Залежності тріщиностійкості ( $K_{1c}$ ) від часу витримки при спіканні ( $t$ )  $\beta'$ -сіалонів складів  $Z=2,0+1\%$  BN і  $Z=3,0+1\%$  BN, отриманих при температурі  $1750\text{ }^\circ\text{C}$ , тиску  $10\text{ МПа}$ : 1 –  $Z=2,0+1\%$  BN (●); 2 –  $Z=3,0+1\%$  BN (×)

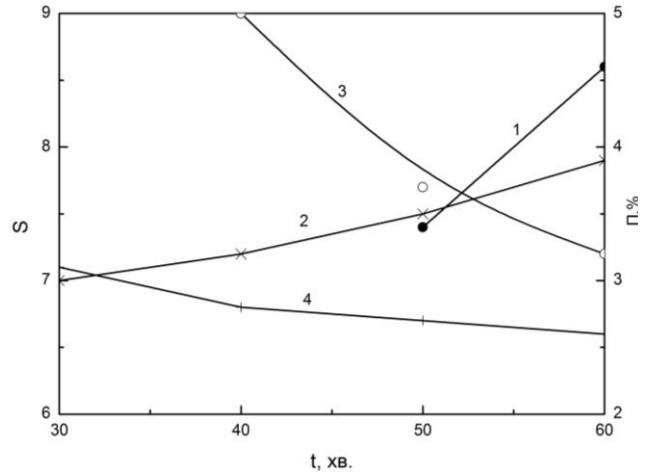


Рис. 8. Залежності зносостійкості ( $S$ ), пористості ( $\Pi$ ) від часу витримки при спіканні ( $t$ )  $\beta'$ -сіалонів складів  $Z=2,0+1\%$  BN і  $Z=3,0+1\%$  BN, отриманих при температурі  $1750\text{ }^\circ\text{C}$ , тиску  $10\text{ МПа}$ : 1 – зносостійкість,  $Z=2,0+1\%$  BN (●); 2 – зносостійкість,  $Z=3,0+1\%$  BN (×); 3 – пористість,  $Z=2,0+1\%$  BN (○); 4 – пористість,  $Z=3,0+1\%$  BN (+)

Зменшення часу витримки при спіканні під тиском матеріалів збільшує пористість сіалонів і зменшує механічні характеристики. Твердість сіалону складу  $Z=2,0+1\%$  BN зменшується з  $13,4\text{ ГПа}$  в матеріалі, отриманому при витримці  $60\text{ хв}$ , до  $12,5\text{ ГПа}$  в матеріалі, отриманому при витримці  $40\text{ хв}$ . Твердість сіалону складу  $Z=3,0+1\%$  BN зменшується з  $14,0\text{ ГПа}$  в матеріалі, отриманому при витримці  $60\text{ хв}$ , до  $13,0\text{ ГПа}$  в матеріалі, отриманому при витримці  $30\text{ хв}$ . Тріщиностійкість сіалону складу  $Z=2,0+1\%$  BN зменшується з  $3,1\text{ МПа}\cdot\text{М}^{0,5}$  в матеріалі, отриманому при витримці  $60\text{ хв}$ , до  $2,6\text{ МПа}\cdot\text{М}^{0,5}$  в матеріалі, отриманому при витримці  $50\text{ хв}$ . Тріщиностійкість сіалону складу  $Z=3,0+1\%$  BN зменшується з  $2,7\text{ МПа}\cdot\text{М}^{0,5}$  в матеріалі, отриманому при витримці  $60\text{ хв}$ , до  $2,4\text{ МПа}\cdot\text{М}^{0,5}$  в матеріалі, отриманому при витримці  $30\text{ хв}$ . Зносостійкість сіалону складу  $Z=2,0+1\%$  BN зменшується з  $8,6$  в матеріалі, отриманому при витримці  $60\text{ хв}$ , до  $7,4$  в матеріалі, отриманому при витримці  $50\text{ хв}$ . Зносостійкість сіалону складу  $Z=3,0+1\%$  BN зменшується з  $7,9$  в матеріалі, отриманому при витримці  $60\text{ хв}$ , до  $7,0$  в матеріалі, отриманому при витримці  $30\text{ хв}$ .

На підставі проведених досліджень можна зробити висновок, що найменшу зносостійкість при закритій пористості матеріалу ( $\Pi < 3,5\%$ ) мають: сіалони складом  $Z=2,0+1\%$  BN, отримані спіканням під тиском на протязі  $60\text{ хв}$  ( $\Pi=3,2\%$ ), сіалони складом  $Z=3,0+1\%$  BN, отримані спіканням під тиском на протязі  $30\text{ хв}$  ( $\Pi=3,1\%$ ), сіалони складом  $Z=3,0+2\%$  BN, отримані спіканням під тиском на протязі  $60\text{ хв}$  ( $\Pi=3,5\%$ ). Вони є найбільш ефективними матеріалами триботехнічного призначення в парах тертя, елементи яких виготовлені з сіалону та жароміцної сталі.

## Висновки

1. Досліджена кінетика спікання під тиском  $10\text{ МПа}$   $\beta'$ -сіалонів зі складом  $Z=2,0; 3,0$  з домішкою  $3\%$  нітриду бору. Встановлено, що домішка BN зменшує швидкість ущільнення

матеріалів на початковій стадії спікання (в інтервалі 0-15 хв) на 20-25%. При ізотермічній витримці 60 хв відносно ущільнення зменшується з 0,98-0,99 до 0,95-0,96.

2. Досліджені пористість, тріщиностійкість, твердість і зносостійкість  $\beta'$ -сіалонів зі складом  $Z=2,0$ ;  $3,0$  з домішкою 1, 2, 3% нітриду бору, отриманих спіканням при 1750 С під тиском 10 МПа на протязі 30, 40, 50, 60 хв. Встановлено, що найменшу зносостійкість при закритій пористості матеріалу мають сіалони складом  $Z=2,0+1\%$  BN, отримані спіканням під тиском на протязі 60 хв ( $\Pi=3,2\%$ ), і сіалони складом  $Z=3,0+1\%$  BN, отримані спіканням під тиском на протязі 30 хв ( $\Pi=3,1\%$ ).

**V. Ivzhenko, T. Kosenchuk, I. Fesenko**

*V. N. Bakul Institute for Superhard Materials of National Academy of Sciences of Ukraine*

### **INFLUENCE OF BORON NITRIDE IMPURITY ON PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES AND WEAR RESISTANCE OF SIALON**

*The kinetics of sintering of  $\beta'$ -sialons with  $Z = 2.0$ ;  $3.0$  with an admixture of 3% boron nitride under a pressure of 10 MPa was studied. It was found that the BN admixture reduces the rate of compaction of materials at the initial stage of sintering (in the interval of 0-15 min) by 20-25%. At an isothermal holding time of 60 min, the relative compaction decreases from 0.98-0.99 to 0.95-0.96. The porosity, crack resistance, hardness, and wear resistance of  $\beta'$ -sialons with  $Z = 2.0$ ;  $3.0$  with an admixture of 1, 2, 3% boron nitride, obtained by sintering at 1750 °C under a pressure of 10 MPa for 30-60 min, were investigated. It has been established that the lowest wear resistance at closed porosity of the material is provided by sialons with composition  $Z = 2.0$  with an admixture of 1% BN, obtained by pressure sintering for 60 min, and with composition  $Z = 3.0$  with an admixture of 1% BN, obtained by pressure sintering for 30 min. The process of producing sialon products by hot pressing at a pressure of 10 MPa, which work in a friction pair with parts made of heat-resistant steel at temperatures up to 1200 °C, has been developed.*

**Key words:** *silicon nitride, aluminum nitride, sialon, boron nitride, pressure sintering, sealing, structure, crack resistance, hardness, wear resistance.*

### **Література**

1. Андриевский Р.А., Спивак И.И. Нитрид кремния и материалы на его основе. М.: Металлургия, 1984. 136 с.
2. Івженко В. В., Дуб С. М., Ткач В. М., Косенчук Т. О. Розробка термостійкого матеріалу на основі нітриду кремнію з підвищеною зносостійкістю. *Інструментальне матеріалознавство*. Зб. наук. пр. Вип. 24. К.: ІНМ ім. В.М. Бакуля НАН України, 2021. С. 430–440.
3. Івженко В. В., Геворкян Е. С., Косенчук Т. О. Спікання та властивості матеріалів на основі карбідів кремнію, бору і титана, отриманих методом електроіскрового спікання. *Надтверді матеріали*. 2021. – № 6. С. 35–46.
4. Івженко В. В., Ткач В. М., Косенчук Т. О. Вплив складу та тиску на механічні властивості та зносостійкість сіалону. *Інструментальне матеріалознавство*. Зб. наук. пр. Вип. 25. К.: ІНМ ім. В.М. Бакуля НАН України, 2022. С. 311–321.
5. Riley R. M. Silicon nitride and related materials. *J. Amer. Ceram. Soc.* 2000. Vol. 63. P. 245–265.
6. Майстренко А.Л., Дуб С.Н. Прогнозирование износостойкости хрупких материалов по твёрдости и трещиностойкости. Заводская лаборатория. 1993. № 1. С. 52–54.

*Надійшла 24.05.23*

## References

1. Andrievskii, R.A., & Spivak I.I. (1984). *Nitrid kremniia i materialy na yeho osnove [Silicon nitride and materials based on it]*. Metallurgiiia [in Russian].
2. Ivzhenko, V.V., Dub, S.M., Tkach, V.M., & Kosenchuk, T.O. (2021). Rozrobka termostiikoho materialu na osnovi nitrydu kremniuu z pidvyshchenoiu znosostiikistiuu [Development of heat-resistant material based on silicon nitride with high wear resistance]. *Instrumentalnoe materialovedenie – Tooling materials science*. (24nd Issue, p. 430–440) [in Ukrainian].
3. Ivzhenko, V.V., Gevorkyan, E.S., & Kosenchuk, T.O. (2021). Spikannia ta vlastyvoli materialiv na osnovi karbidiv kremniuu, boru i tytana, otrymanykh metodom elektroiskrovoho spikannia [Sintering and properties of materials based on carbides of silicon, boron and titanium, obtained by the method of electrospark sintering]. *Nadtverdi materialy – Superhard materials*, 6. 35–46 [in Ukrainian].
4. Ivzhenko, V. V., Tkach, V. M., & Kosenchuk, T. O. (2022). Vplyv skladu ta tysku na mekhanichni vlastyvoli ta znosostiikist sialonu [Influence of composition and pressure on mechanical properties and wear resistance of sialon]. *Instrumentalnoe materialovedenie – Tooling materials science*. (25nd Issue, p. 311–321) [in Ukrainian].
5. Riley, R. M. (2000). Silicon nitride and related materials. *J. Amer. Ceram. Soc.*, 63, 245–265.
6. Maistrenko, A.L., & Dub, S.N. (1993). Prohnozirovaniie iznosostoikosti khrupkikh materialov po tverdosti i treshchinostoikosti [Prediction of wear resistance of brittle materials by hardness and crack resistance]. *Zavodskaia laboratoriiia – Factory laboratory*, 1, 52–54. [in Russian].

УДК 621.923

DOI: 10.33839/2708-731X-24-1-369-375

**С.В. Рябченко<sup>1</sup>, Я.Б. Аргиров<sup>2</sup>, Т.М. Мечкарова<sup>2</sup>**, кандидати технічних наук

<sup>1</sup>Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України, вул. Автозаводська 2, 04074, м. Київ, e-mail: s.riabchenko@ukr.net

<sup>2</sup>Технічний Університет Варни, вул. Студентска 1, 9010, м. Варна, Болгарія  
e-mail: t.mechkarova@tu-varna.bg; jaroslav.1955@abv.bg

## ШЛІФУВАННЯ НАПЛАВЛЕНИХ МАТЕРІАЛІВ З СПЕЦІАЛЬНИХ СПЛАВІВ АЛМАЗНО-АБРАЗИВНИМИ ГОЛОВКАМИ

Шліфування наплавлених матеріалів є одним з методів обробки деталей машин, які потребують ремонту після потужної експлуатації. Розглядається питання підвищення ефективності шліфування наплавлених матеріалів алмазно-абразивним інструментом. Досліджені проблеми в обробці наплавлених матеріалів та забезпечення якості обробки поверхні і фізико-механічного стану створеного поверхневого шару. Проведено випробування шліфування наплавлених матеріалів з спеціального дуплексного сплаву різними абразивними інструментами та проведена оцінка ефективності зняття обробленого матеріалу та зносу абразивного інструменту.

Мета роботи полягає в проведенні випробування різних алмазно-абразивних інструментів для ручного шліфування наплавлених матеріалів з спеціальних сплавів.