

32. Falkovskii, V.Ya., & Clyachko, L.I. (2005). *Tverdye splavy [Hardmetals]*. M.: Ruda i metally [in Russian].
33. Zaitsev A. A., Konyashin I., & Avdeenko, E. N. et al. (2018). Structure and Magnetic Properties of WC–50% Co Model Alloys Containing TaC Additives. *Russian journal of non-ferrous metals*. 59, 4, 410–411.
34. Konyashin, I., Ries, B., & Lachmann, F. (2011). Novel hardmetal with nano-strengthened binder. *Inorg. Mater. Appl. Res.* 2, 1, 19–21.
35. Blagoveshchenskiy, Yu.V., Isayev, N.V., & Blagoveshchenskaya N.V. (2015). Methods of compacting nanostructured tungsten–cobalt alloys from nanopowders obtained by plasma chemical synthesis. *Inorg. Mater. Appl. Res.* 6, 5, 415–426.
36. Levinskii, Yu.V., & Alimov, M.I. (Ed.) (2018). *Tverdye splavy. Metallicheskie poroshki i poroshkovye materialy: Spravochnik [Hard alloys. Metal powders and powder materials: Handbook]*. Moscow: Nauchniy mir, 241–316.

УДК 669.017.16

DOI: 10.33839/2223-3938-2019-22-1-362-369

**В. П. Бондаренко**, член-кор. НАН України, **М. О. Юрчук**, **С. І. Шестаков**, кандидати технічних наук, **О. М. Барановський**, інж.

*Інститут надтвердих матеріалів ім. В. М. Бакуля НАН України,  
вул. Автозаводська 2, 04074 м. Київ, E-mail: [tverdosplav@ism.kiev.ua](mailto:tverdosplav@ism.kiev.ua)*

## **ВПЛИВ ТРИВАЛОСТІ ДІЇ ЗОВНІШНЬОГО ОДНООСЬОВОГО ТИСКУ НА ГУСТИНУ ТВЕРДИХ СПЛАВІВ ВК20 ТА ВН20 ПРИ ЇХ КІНЦЕВОМУ СПІКАННІ У**

*Досліджено вплив величини одноосьового тиску на густину попередньо спечених карбидовольфрамових циліндричних зразків з твердих сплавів ВК20 і ВН20 відповідно з кобальтовою і нікелевою зв'язками при спіканні у вакуумі при температурах 1400 і 1460 °С. Відмінність наведеного методу одержання сплавів від широко використовуваного методу гарячого пресування полягає в тому, що при спіканні твердосплавної заготовки під тиском не застосовується графітова прес-форма, яка призводить до надлишкового науглецювання заготовки. Наведено параметри спікання вказаних сплавів під дією зовнішнього одноосьового тиску: напруження стискування при кінцевому спіканні (від 0 до 0,7 МПа), температура попереднього, повторно-попереднього і кінцевого спікання сплавів у метано-водневному середовищах (МВС).*

*Побудовано графіки залежності густини сплавів, попередньо спечених за різними варіантами, від тривалості дії напруги стискування при кінцевому спіканні у вакуумі при різних температурах. Максимальні значення щільності сплавів ВК20 і ВН20, які склали відповідно до 13,77 і 13,75 г/см<sup>3</sup>, отримані при спіканні при температурі 1460 °С і тривалості дії (впродовж 30 хв) напруги стискування 0,6 МПа. Підвищення вказаної напруги до максимального (0,7 МПа) при температурі спікання 1400 °С за 30 хв дії навантаження не привело до підвищення густини сплавів до максимального значення.*

**Ключові слова:** твердий сплав, тиск, густина, спікання, температура

В роботі наведено результати аналізу впливу зовнішнього одноосьового статичного тиску (0,6 та 0,7 МПа) різної тривалості дії на густину після спікання у вакуумі попередньо спечених при різних режимах карбидовольфрамових твердих сплавів ВК20 та ВН20 відповідно до кобальтової (80% WC + 20% Co) та нікелевої зв'язок (80% WC + 20% Ni) при температурах 1400 та 1460 °С. Відмінність наведеного методу одержання сплавів від широко використовуваного методу гарячого пресування полягає в тому, що при спіканні

твердосплавної заготовки під тиском не застосовується графітова прес-форма, яка призводить до надлишкового науглецювання заготовки. Крім того, використання графітової форми, як правило, погіршує умови праці та підвищує собівартість виробів. Однією із відмінностей наведеного методу одержання сплаву є прикладання тиску тільки до торця циліндричної заготовки. За такої схеми навантаження заготовка, яка спікається, деформується з утворенням так званої «бочки».

Мета роботи – дослідити вплив різної величини одноосьового тиску на зміну густини попередньо спечених карбидовольфрамових твердих сплавів ВК20 та ВН20 відповідно з кобальтовою та нікелевою зв'язками, при спіканні у вакуумі при температурах 1400 та 1460 °С.

Марки вихідних порошкових сумішей, особливості та тривалість підготовки їх з метою одержання досліджуваних зразків та їх розміри, значення середнього розміру зерна карбиду вольфраму, особливості визначення кількості загального вуглецю, особливості випалювання каучуку та нормалізуючі добавки наведено в [1–3].

Параметри спікання вказаних сплавів під дією зовнішнього одноосьового напруження були такими:

- напруження стискання при кінцевому спіканні (0 – 0,7 МПа);
- температура випалювання каучуку у МВС (1060 °С);
- температура нормалізуючого спікання у МВС (1150 °С);
- температура попереднього спікання у МВС (1250 °С);
- температура повторного попереднього спікання у вакуумі (1350 °С);
- температура кінцевого спікання у вакуумі (1350, 1400 та 1460 °С).

Зовнішній вигляд циліндричного зразка, попередньо спеченого у відповідних режимах у МВС та вакуумі і вільно кінцевоспеченого у середовищі вакууму, показано на рис. 1, а, а спеченого у вакуумі під впливом одноосьового тиску з різним ступенем осадження по вертикальній осі – на рис. 1, б.



Рис. 1. Типовий зовнішній вигляд твердосплавного зразка, спеченого в вакуумі після попереднього спікання у МВС (а), а також зразка, кінцевоспеченого (з утворенням форми «бочка») у вакуумі під впливом одноосьового тиску з різним ступенем усадки (б)

Залежності густини сплавів, попередньо спечених за різними варіантами, під дією різного зовнішнього напруження стиску та різною тривалістю, яка не перевершує 30 хв, при кінцевому спіканні у вакуумі при різних температурах наведені на рис. 2–10.

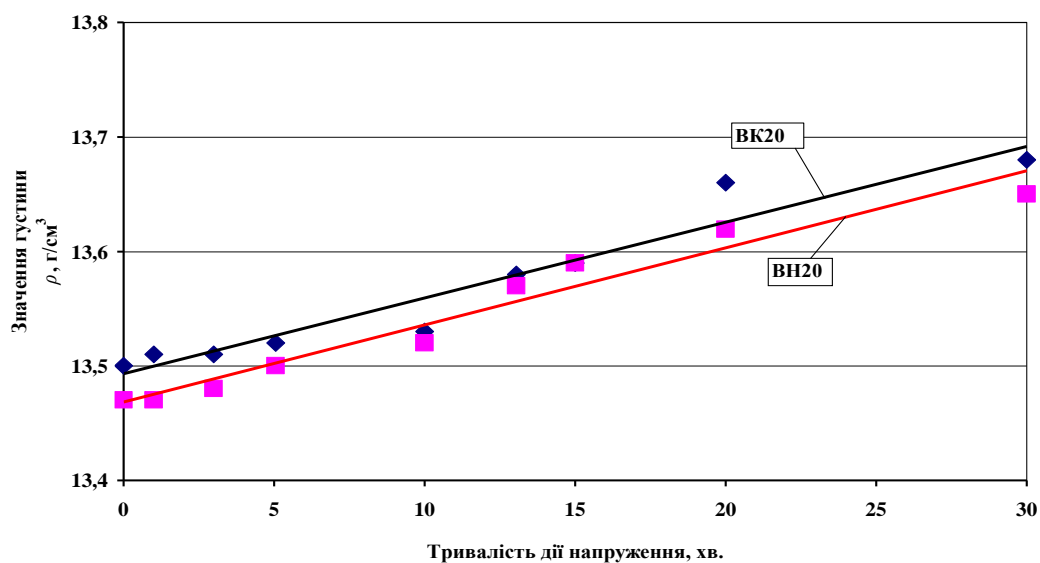


Рис. 2. Залежність густини, попередньо спечених за першим варіантом твердих сплавів ВК20 та ВН20 під дією напруження стиску 0,7 МПа, від тривалості дії напруження при кінцевому спіканні у вакуумі при температурі 1400 °С

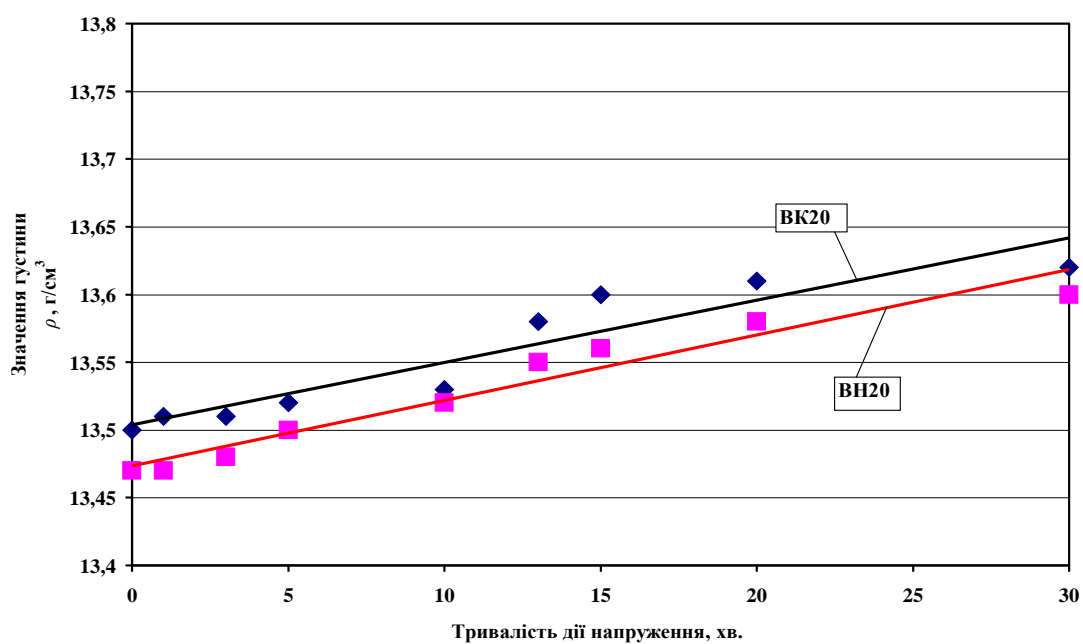


Рис. 3. Залежність густини твердих сплавів ВК20 та ВН20, попередньо спечених за другим варіантом під дією напруження стиску 0,7 МПа, від тривалості його дії при кінцевому спіканні у вакуумі при температурі 1400 °С

З наведених на рис. 2 та 3 графіків видно, що ускладнення варіанта попереднього спікання сплавів призводить до зниження інтенсивності процесу ущільнення.

Досягнення максимального значення густини сплавів спостерігається при підвищенні температури спікання з 1400 °С (рис. 2, 3) до 1460 °С (рис. 4, 5) і проходить при зниженні напруження стиску з 0,7 до 0,6 МПа.

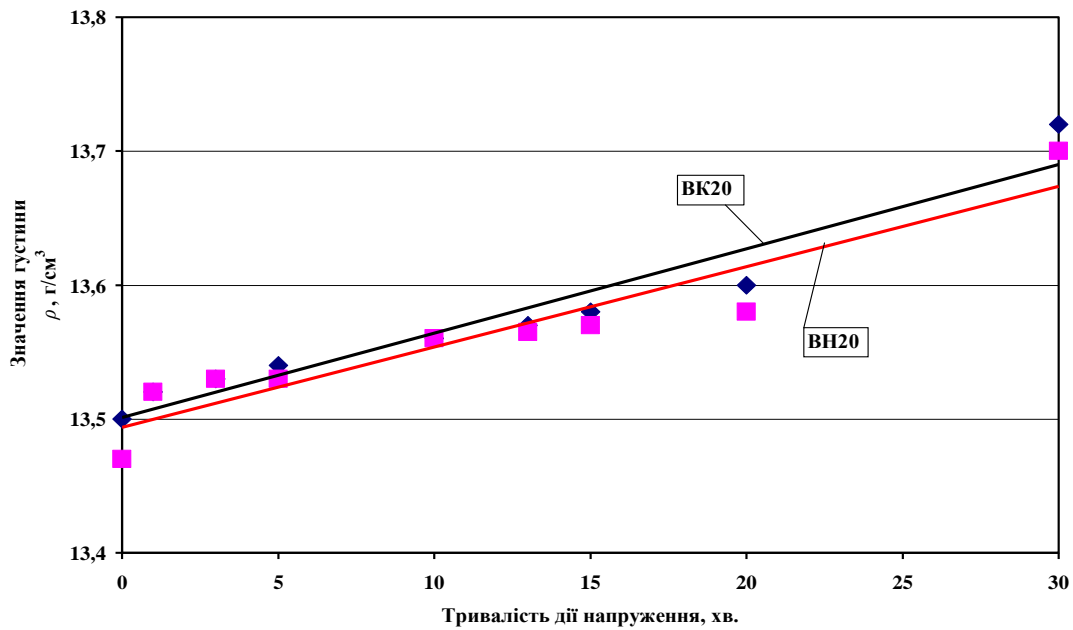


Рис. 4. Залежність густини твердих сплавів ВК20 та ВН20, попередньо спечених за першим варіантом під дією зовнішнього напруження стиску 0,6 МПа, від тривалості дії напруження при кінцевому спіканні у вакуумі при температурі 1460 °С

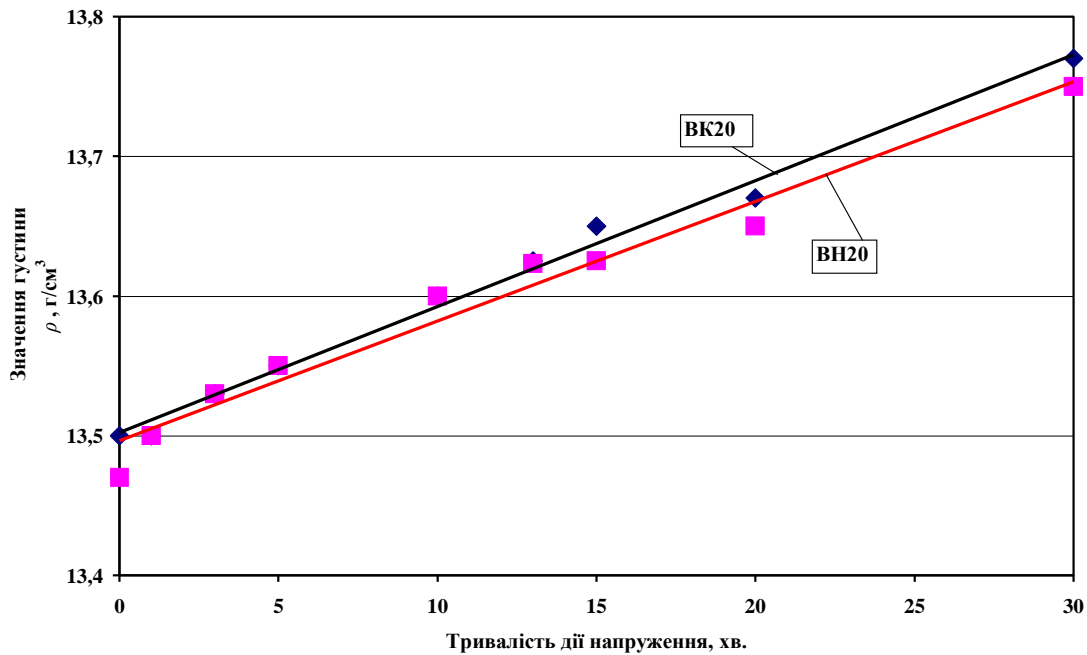


Рис. 5. Залежності густини твердих сплавів ВК20 та ВН20, попередньо спечених за другим варіантом під дією зовнішнього напруження стиску 0,6 МПа, від тривалості його дії при кінцевому спіканні у вакуумі при температурі 1460 °С

Інтенсивність підвищення значення густини залежно від тривалості дії напруження стиску сплавів, попередньо спечених за першим варіантом, не змінилась (рис. 4 та 6). Однак

ускладнення варіанта попереднього спікання сплавів призвело до зростання інтенсивності підвищення значення густини більш ніж у півтора рази (рис 3, 5).

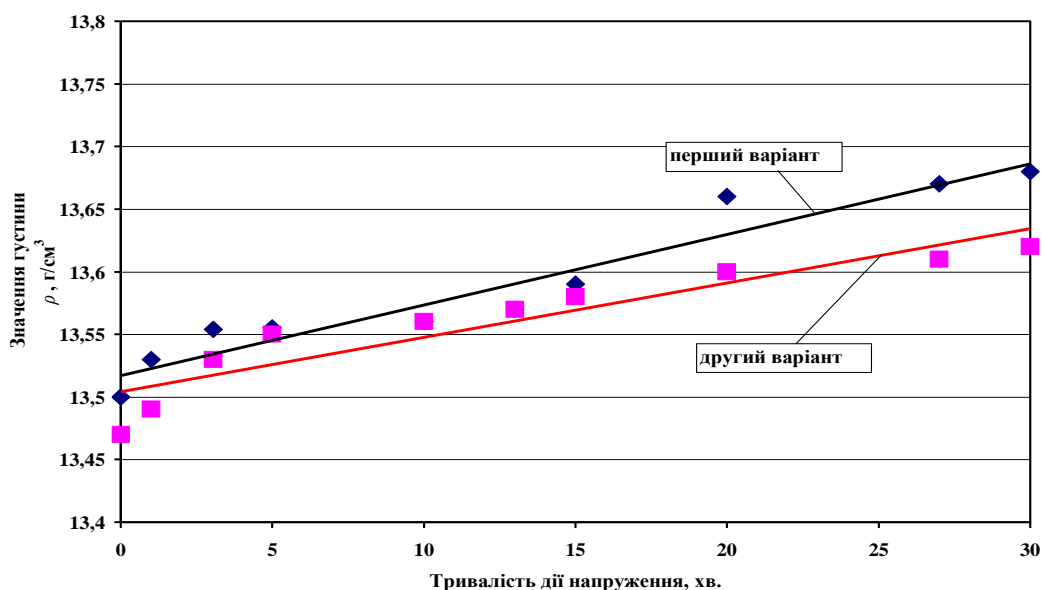


Рис. 6. Залежності густини, попередньо спеченого за 1 та 2 варіантами твердого сплаву BK20 під дією зовнішнього напруження стиску 0,6 МПа, від тривалості його дії при кінцевому спіканні у вакуумі при температурі 1400 °C

Із аналізу рис. 6–8, де наведені особливості ущільнення твердого сплаву BK20 при його спіканні при температурах 1400 та 1460 °C під дією зовнішнього напруження стиску 0,6 МПа та 0,7 МПа різної тривалості дії, впливає, що при переході попереднього спікання сплаву від першого до другого варіанту інтенсивність процесу ущільнення зменшується у 1,2 рази.

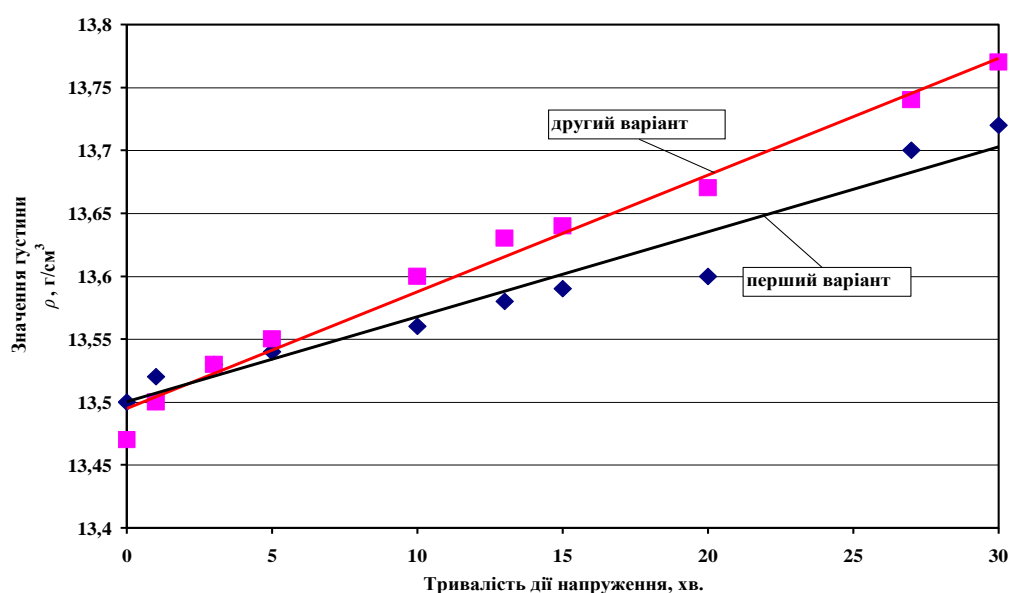


Рис. 7. Залежність густини попередньо спеченого за першим та другим варіантами твердого сплаву BK20 під дією зовнішнього напруження стиску 0,6 МПа, від тривалості дії напруження стиску при кінцевому спіканні у вакуумі при температурі 1460 °C

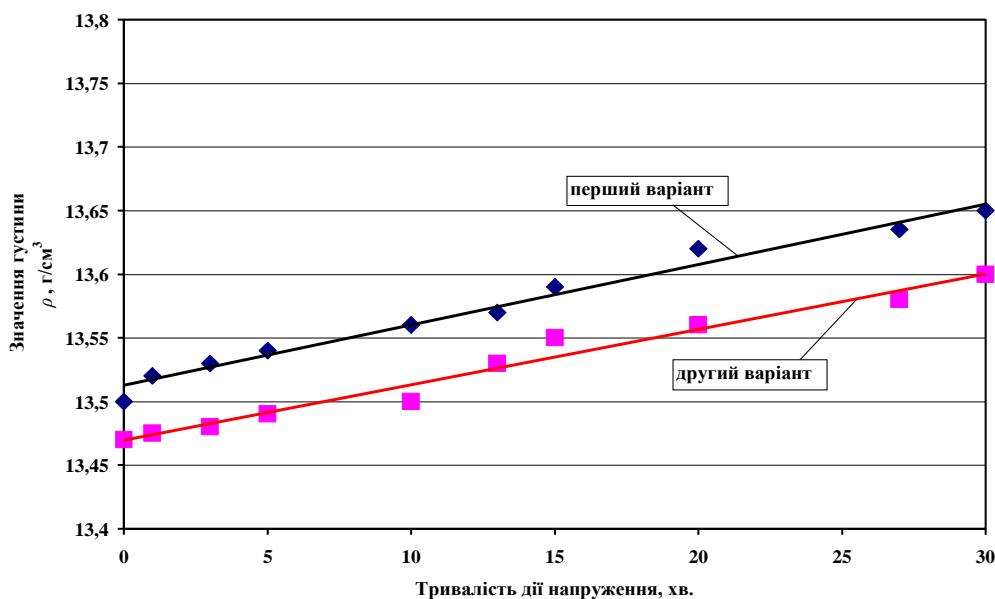


Рис. 8. Залежність густини сплаву ВН20, попередньо спеченого під дією напруження стиску 0,7 МПа за 1 та 2 варіантами, від тривалості дії напруження стиску при кінцевому спіканні у вакуумі при температурі 1400 °C

З ростом тривалості дії напруження стиску до 30 хв густина зростає від майже однакових значень при спіканні сплаву за першим варіантом без дії зовнішнього напруження стиску до значень, що перевищують густину сплаву, спеченого за другим варіантом.

Майже аналогічна картина спостерігається при спіканні твердого сплаву ВН20 за першим та за другим варіантами при температурі 1460 °C (рис. 9).

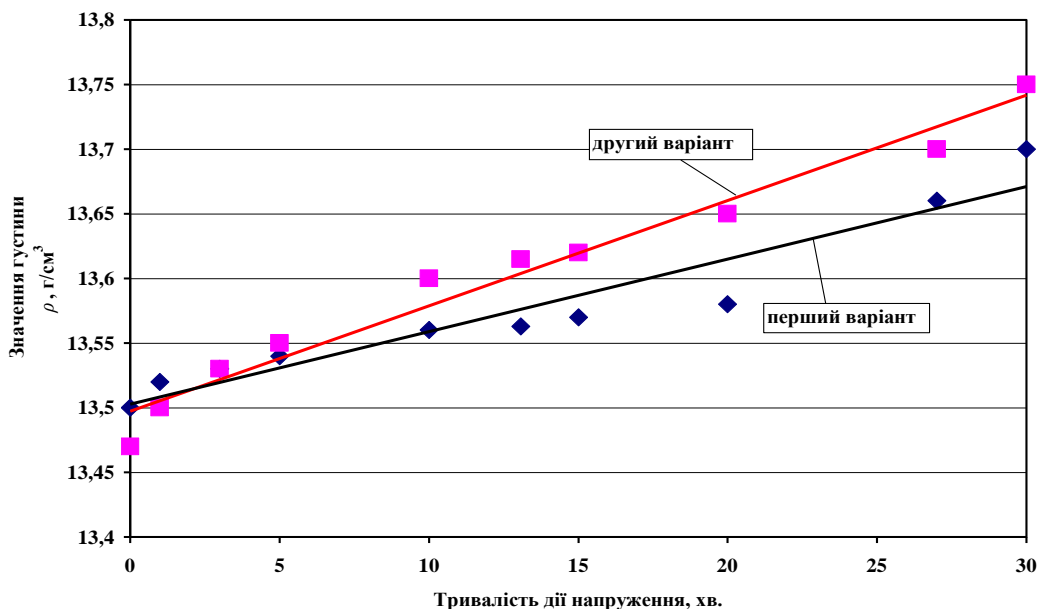


Рис. 9. Залежність густини сплаву ВН20, попередньо спеченого під дією напруження стиску 0,6 МПа за 1 та 2 варіантами, від тривалості дії напруження стиску при кінцевому спіканні у вакуумі при температурі 1460 °C

Якщо при температурі спікання 1400 °С інтенсивність збільшення густини сплаву майже дорівнює інтенсивності збільшення тривалості дії зовнішнього напруження стиску, то при температурі спікання 1460 °С, та зростанні тривалості дії напруження до 30 хв абсолютні значення густини зростають від майже однакових значень при спіканні сплаву за першим варіантом без дії зовнішнього напруження стиску до значень, що перевищують густину сплаву спеченого за другим варіантом.

### Висновки

1. Зростання значень густини сплавів попередньо спечених при температурі 1400 °С по обох варіантах спостерігається при дії зовнішнього напруження стиску 0,6 МПа тривалістю у 1 хв.

2. Максимальні значення густини сплавів VK20 та VN20 спостерігаються при спіканні при температурі 1460 °С та тривалості дії зовнішнього напруження стиску 0,6 МПа у 30 хв і становлять відповідно 13,77 г/см<sup>3</sup> та 13,75 г/см<sup>3</sup>.

3. Підвищення дії зовнішнього напруження стиску до 0,7 МПа тривалістю рівній 30 хв при температурі спікання 1400 °С не забезпечило максимального значення густини сплавів.

*Исследовано влияние величины одноосевого давления на плотность предварительно спеченных карбидовольфрамowych цилиндрических образцов из твердых сплавов VK20 и VN20 соответственно с кобальтовой и никелевой связками, при спекании в вакууме при температурах 1400 и 1460 °С. Отличие приведенного способа получения сплавов от широко используемого метода горячего прессования заключается в том, что при спекании твердосплавной заготовки под давлением не применяется графитовая пресс-форма, которая приводит к избыточному науглероживанию заготовки. Приведены параметры спекания указанных сплавов под действием внешнего одноосного давления: напряжение сжатия (от 0 до 0,7 МПа) при окончательном спекании, температура выпаливания каучука, а также температуры предварительного, повторно-предварительного и окончательного спеканий сплавов в МВС.*

*Построены графики зависимости плотности сплавов, предварительно спеченных по различным вариантам, от продолжительности действия напряжения сжатия при конечном спекании в вакууме при разных температурах. Максимальные значения плотности сплавов VK20 и VN20, которые составили соответственно 13,77 и 13,75 г/см<sup>3</sup>, получены при спекании при температуре 1460 °С и продолжительности действия (в течение 30 мин.) напряжения сжатия 0,6 МПа. Повышение указанного напряжения до максимального (0,7 МПа) при температуре спекания 1400 °С за 30 мин. действия нагрузки не привело к повышению плотности сплавов до максимального значения.*

**Ключевые слова:** твердый сплав, давление, плотность, спекание, температура

**V. P. Bondarenko, M. O. Yurchuk, S. I. Shestakov, A. M. Baranovsky**

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

### **THE EFFECT OF THE DURATION OF EXTERNAL UNIAXIAL COMPRESSION ON THE DENSITY OF HARD ALLOYS VK20 AND VN20 DURING THEIR FINAL SINTERING IN VACUUM**

*The influence of the uniaxial pressure on the density of previously sintered wolfram carbide cylindrical specimens from VK20 and VN20 hard alloys with cobalt and nickel ligaments, respectively, during sintering in vacuum at temperatures of 1400 and 1460 °C was investigated. The difference between the above method of producing alloys and the widely used method of hot pressing lies in the fact that during sintering of the carbide blank under pressure, a graphite mold is not used, which leads to excessive carburization of the blank. The parameters of sintering of these alloys under the action of external uniaxial pressure are given: compression stress (from 0 to 0.7 MPa) during final sintering, rubber ejection temperature, as well as temperature of preliminary, re-preliminary and final sintering of alloys in a methane-hydrogen environment.*

*Graphs were plotted for the density of alloys previously sintered in different variants as a function of the duration of the compression stress during final sintering in vacuum at different temperatures. The maximum density values of the VK20 and VN20 alloys, which were 13.77 and 13.75 g/cm<sup>3</sup>, respectively, were obtained by sintering at a temperature of 1460 °C and an external compressive stress of 0.6 MPa (for 30*

minutes). Increase the specified voltage to the maximum (0.7 MPa) at a sintering temperature of 1400 °C in 30 minutes the action of the load did not lead to an increase in the density of the alloys to the maximum value.

**Key words:** hard alloy, compression, density, sintering, temperature

### Література

1. Бондаренко В. П., Юрчук Н. А. Спекание твердого сплава VK15 под действием сжимающего напряжения // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения: сб. науч. тр. – К.: ИСМ им. В. Н. Бакуля НАН Украины, 2005.– Вып. 8. – С. 249–255.
2. Бондаренко В.П., Юрчук М.О. Результати дослідження впливу умов спікання твердого сплаву ВН 20 (80% WC + 20% Ni) у вакуумі під зовнішнім одноосьовим тиском на його усадку та густину // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения: сб. науч. тр. – К.: ИСМ им. В. Н. Бакуля НАН Украины, 2017.–Вып. 20. – С. 430–439.
3. Бондаренко В.П., Юрчук М.О. Вплив зовнішнього одноосьового стиску на структуру та властивості попередньо спеченого твердого сплаву ВН 20 (80% WC + 20% Ni) при кінцевому спіканні у вакуумі // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения: сб. науч. тр. – К.: ИСМ им. В. Н. Бакуля НАН Украины, 2018. –Вып. 21. – С. 352–360.

Надійшла 21.06.19

### References

1. Bondarenko, V. P., & Yurchuk N. A. (2005). Spekaniye tverdogo splava VK15 pod deystviyem szhimayushchego napryazheniya [Sintering of hard alloy VK15 under the action of compressive stress]. *Porodorazrushaiushchii i metaloobrabatyvaiushchii instrument – tekhnika i tekhnologiya ego izgotovleniya i primeneniia*. – *Rock Destruction and Metal-Working Tools – Techniques and Technology of the Tool Production and Applications, Vol. 8*, 249–255 [in Ukrainian].
2. Bondarenko V. P., & Yurchuk M. O. (2017). Rezultaty doslidzhennya vplyvu umov spikannya tverdoho splavu VN 20 (80% WC + 20% Ni) u vakuumi pid zovnishnim jednoosovym tyskom na yoho usadku ta hustynu [Results of the study of the influence of the conditions of sintering of a solid alloy VH 20 (80% WC + 20% Ni) in a vacuum under external uniaxial pressure on its shrinkage and density]. *Porodorazrushaiushchii i metaloobrabatyvaiushchii instrument – tekhnika i tekhnologiya ego izgotovleniya i primeneniya*. – *Rock Destruction and Metal-Working Tools – Techniques and Technology of the Tool Production and Applications, Vol. 20*, 430–439 [in Ukrainian].
3. Bondarenko V. P., & Yurchuk M. O. Vplyv zovnishnoho jednoosovoho stysku na strukturu ta vlastyvosti popередno spechenoho tverdoho splavu VN 20 (80% WC + 20% Ni) pry kintsevomu spikanni u vakuumi [Influence of external single tanning on structure and function of previously cleaned solid alloy VN 20 (80% WC + 20% Ni) at the end of victory success]. *Porodorazrushaiushchii i metaloobrabatyvaiushchii instrument - tekhnika i tekhnologiya ego izgotovleniya i primeneniya*. – *Rock Destruction and Metal-Working Tools – Techniques and Technology of the Tool Production and Applications, Vol. 21*, 352–360 [in Ukrainian].