

© С.О. Шипунов¹

¹Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ СКЛАДУ ТВЕРДОСПЛАВНИХ ВСТАВОК ДЛЯ АРМУВАННЯ ПОРОДОРУЙНІВНОГО ІНСТРУМЕНТУ НА МЕЖУ МІЦНОСТІ ПРИ ВИГІНІ

© S. Shypunov¹

¹Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine

RESEARCH ON THE INFLUENCE OF THE COMPOSITION OF CARBIDE INSERTS FOR REINFORCING A POROUS DESTRUCTIVE TOOL ON THE LIMIT OF BENDING STRENGTH

Мета. Встановити залежність між складом твердосплавних вставок і їхньою межею міцності при вигині для оптимізації складу матеріалу породоруйнівного інструменту.

Методика. Методика дослідження базується на поєднанні експериментального, аналітичного та математичного підходів. Теоретична підготовка: огляд літератури з хімічного складу та механічних властивостей твердих сплавів й вибір оптимальних варіантів складу для дослідження. Експериментальна частина: синтез сплавів різного складу та формування твердосплавних вставок не стандартних розмірів. Використання статистичних методів для побудови моделей залежності між складом сплаву та його межею міцності.

Результати. Розроблено нову методику визначення межі міцності при вигині для твердого сплаву яку реалізовано в новій конструкції спеціального лабораторного стенду. Вдосконалена методика визначення межі міцності при поперечному вигині для твердих сплавів повністю підтверджена у виробничих умовах та дозволила лише за рахунок виключення підготовчого алмазного шліфування заощаджувати на витратах для купівлі алмазного інструменту та на часі для шліфування.

Наукова новизна. Полягає у вивченні взаємозв'язку між складом твердосплавних вставок та структурними особливостями матеріалу й робить статтю актуальною як для фундаментальної науки, так і для промислової практики, сприяючи розвитку інноваційних підходів у створенні матеріалів із покращеними характеристиками.

Практична значимість. Дана методика підтвердила оптимізований склад твердого сплаву для досягнення балансу між міцністю та зносостійкістю. Розроблені рекомендації щодо оптимального складу твердих сплавів для породоруйнівного інструменту, що підвищить його зносостійкість, довговічність та ефективність.

Ключові слова: свердловина, коронка, межа міцності на вигин, твердосплавна вставка, породоруйнівний інструмент, твердість.

Вступ. Дослідження впливу складу твердосплавних вставок на межу міцності при вигині є важливим напрямом у вдосконаленні породоруйнівного інструменту. Воно дозволяє підвищити зносостійкість, міцність та продуктивність бурових і ріжучих інструментів, що використовуються в гірничій та будівельній промисловості. [1]

Основні аспекти дослідження:

1) Склад твердосплавних вставок:

Основними компонентами є карбіди (найчастіше WC, TiC, TaC, NbC) та зв'язуючі метали (кобальт, нікель, залізо).

2) Вплив концентрації кожного компонента на властивості твердосплаву:

Карбіди забезпечують твердість і зносостійкість.

Зв'язуючі метали відповідають за пластичність і ударну в'язкість.

Тестування межі міцності при вигині зазвичай проводять за допомогою три-точкового вигину. Аналіз результатів для виявлення залежностей між складом матеріалу та міцністю. [2–4]

Результати таких досліджень можуть бути використані для створення нових типів армованих твердих сплавів, що забезпечують більш високу продуктивність і триваліший термін служби породоруйнівного інструменту. Це особливо актуально для роботи в екстремальних умовах, таких як великі глибини, високий тиск або абразивне середовище.

Основна частина. На кафедрі нафтогазової інженерії та буріння НТУ «Дніпровська політехніка» була розроблена нова методика випробування зразків твердого сплаву (металокераміки) на межу міцності при вигині [5].

Дана методика поширюється на тверді спечені сплави з вмістом сполучного металу до 30% (за масою) та встановлює метод визначення межі міцності при поперечному згині при температурі 20–23 °С.

Метод полягає у руйнуванні зразка, що вільно лежить на двох опорах, силою, прикладеною в середині прольоту, в умовах короткочасного статичного навантаження.

Зразки повинні мати форму циліндра круглого перерізу з розмірами, наведеними у таблиці 1.

Таблиця 1

Характеристика зразків

Тип зразка	Довжина, мм	Діаметр, мм
А	35 ± 1	$8 \pm 0,25$
В	20 ± 1	$8 \pm 0,25$

Відтворюваність однакова для обох типів.

Шліфування зразків не потрібно так як їхня форма виключає появи перекосу при встановленні на стенд. На поверхні зразків, що підлягають випробуванню, не повинно бути тріщини або інших дефектів, видимих без збільшувальних приладів.

Як випробувальні машини застосовують гідравлічні преси.

Дозволяється застосовувати й інші машини, які забезпечують статичний режим навантаження з похибкою трохи більше 1 %.

Пристрій для випробувань повинен мати дві циліндричні опори, що вільно лежать, і одну вільно лежачу навантажувальну циліндричну опору діаметром ($6 \pm 0,2$) мм кожна. Різниця між діаметрами двох нерухомих опор має бути не більше 0,05 мм. Довжина опор має бути не менше 10 мм (рис. 1).

Опори повинні бути виготовлені з твердого сплаву на основі вольфраму карбіду, що містить до 20 % (за масою) сполучного металу. Шорсткість поверхні опор має бути не більше Ra 0,63 мкм.

Опори, на які встановлюють зразок, повинні бути розташовані паралельно на відстані одна від одної ($30 \pm 0,5$) мм для довгих зразків (типу А) та ($14,5 \pm 0,5$) мм – для коротких зразків (типу В). Точність вимірювання прольоту, що використовується для розрахунку, повинна бути не нижче 0,2 мм для довгих зразків та 0,1 мм для коротких зразків.

Для вимірювальних приборів, що використовуються для калібрування стандарту, похибка повинна складати не більше $\pm 0,01$ мм.

Зразок повинен бути поміщений горизонтально на опори так, щоб його поздовжня вісь була перпендикулярна до поздовжніх осей опор.

Навантажувальну опору плавно опускають до зіткнення зі зразком.

Відхилення лінії або точки навантаження від середини прольоту не повинно перевищувати 0,5 мм для довгих зразків і 0,2 мм для коротких зразків.

Напругу у зразку збільшують з рівномірною швидкістю, що не перевищує $100 \text{ Н/мм}^2\text{с}$ (переміщення траверси – 2 мм/хв), що відповідає збільшенню навантаження зі постійною швидкістю 300 Н/с для довгих зразків та 800 Н/с – для коротких зразків до руйнування.

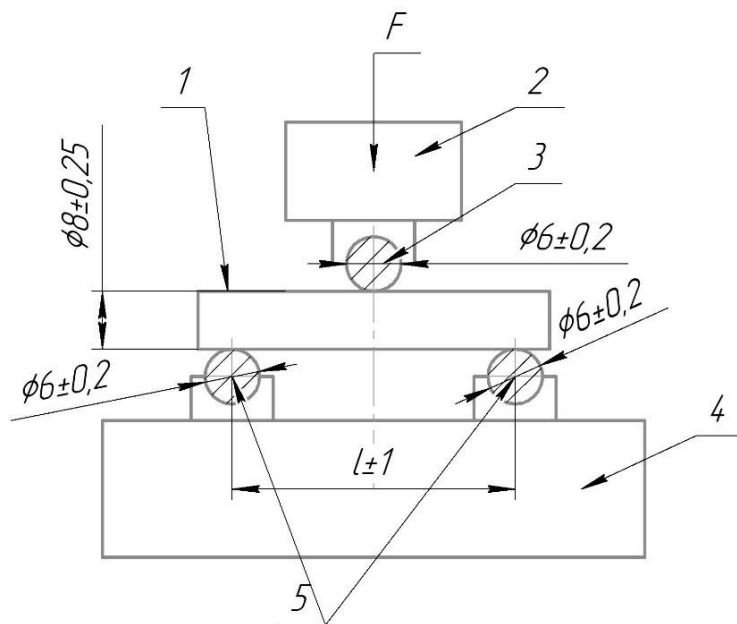


Рис. 1. Схема стенда: 1 – зразок твердого сплаву; 2 – рухливий поршень; 3 – циліндрична навантажувальна опора; 4 – нижня плита преса; 5 – циліндричні нерухомі опори, що вільно лежать

Межа міцності при поперечному вигині (R_{bm}), Н/мм^2 (кгс/мм^2), обчислюють за формулою без урахування впливу можливої пластичної деформації

$$R_{bm} = \frac{8 \cdot F \cdot l}{\pi \cdot D^3},$$

де F – найбільша сила, що відповідає моменту руйнування зразка, Н (кгс); l – відстань між осями опор, мм; D – діаметр зразка, мм.

Результати обчислень округляють до 10 Н/мм^2 (1 кгс/мм^2).

Випробування вважають недійсним, якщо місця зламу з боку розтягування при згині відстане від лінії навантаження більш ніж на 5 мм для довгого зразка та 2,5 мм – для короткого зразка.

За показник межі міцності при поперечному згинанні партії приймають середнє арифметичне значення визначень, округлене до 10 Н/мм² (1 кгс/мм²). При цьому кількість придатних зразків для розрахунку має бути не меншою за п'ять. Якщо кількість придатних зразків менше п'яти, то проводять повторні випробування на такій кількості зразків. Повторні випробування є остаточними.

Результати випробувань заносять до протоколу, форму якого наведено в табл. 2.

Попередньо була проведена тарування гідравлічного пресу за допомогою динамометра механічного на стиск ДОСМЗ-5 (межа вимірів 50kN (5000 кг)) (рис. 2).

Таблиця 2

Результати випробувань

Марка сплаву	<i>D</i> , мм	Розмір зерна середній, мкм	Щільність, г/см ³	<i>R_{bm}</i> , МПа (Н/мм ²)
ВК-6	8	2	14,9	2200
ВК-6	8	6	14,9	2000
ВК-7	8	2	14,8	2350
ВК-7	8	6	14,8	2200
ВК-8	8	2	14,7	2500
ВК-8	8	6	14,7	2300
ВК-9,5	8	2	14,6	2650
ВК-9,5	8	6	14,6	2400
ВК-11	8	2	14,4	2700
ВК-11	8	6	14,4	2500
ВК-15	8	2	14,0	3000
ВК-15	8	6	14,0	2700



Рис. 2. Загальний вигляд динамометр механічний на стиск ДОСМЗ-5 (межа вимірів 50kN (5000 кг))

Технічні характеристики приладу динамометр ДОСМ-3-5:

Межі вимірів:

- найбільший – 50,0кН;
- найменший – 5,0кН;

Ціна найменшого розподілу шкали від найбільшої межі виміру – не більше 0,2 %;

Розмах показань динамометра (різниця між найбільшим та найменшим показаннями з трьох вимірів) для зростаючих та спадних навантажень не перевищує:

- від 10 % до 20 % – трохи більше 0,5 % вимірюваного значення;
- понад 20 % до 100 % – трохи більше 0,3 % вимірюваного значення;

Значення різниці показань динамометра ДОСМ-3-5 при навантаженні і розвантаженні при 50 % навантаженні не більше 0,8% вимірюваного значення.

Поріг чутливості динамометра трохи більше 0,02 % найбільшої межі виміру.

Метрологічні характеристики не перевищують межі, що допускаються, після перевищення найбільшої межі вимірювань на 10%.

При розвантаженні динамометра ДОСМ-3-5 неповернення покажчика на нульову позначку трохи більше 0,5 розподілу.

Дорогоцінні матеріали не містяться.

Маса:

- динамометра – не більше 3,4 кг;
- футляра – не більше 1,4 кг.

Повний середній рядок служби динамометра – 12 років.

Після отримання результатів тарування пресу за допомогою таблиці перерахунку показників з паспорту динамометра ДОСМ-3-5 була отримана залежність (рис. 3) фактичного навантаження від показників на манометрі з коефіцієнтом детермінації $R^2 = 0,9996 \approx 1$.



Рис. 3. Результати тарування гідравлічного пресу

Залежність межі міцності від вмісту кобальту та розмір зерна карбїду вольфраму наведено у вигляді графічної залежності на рис. 4.

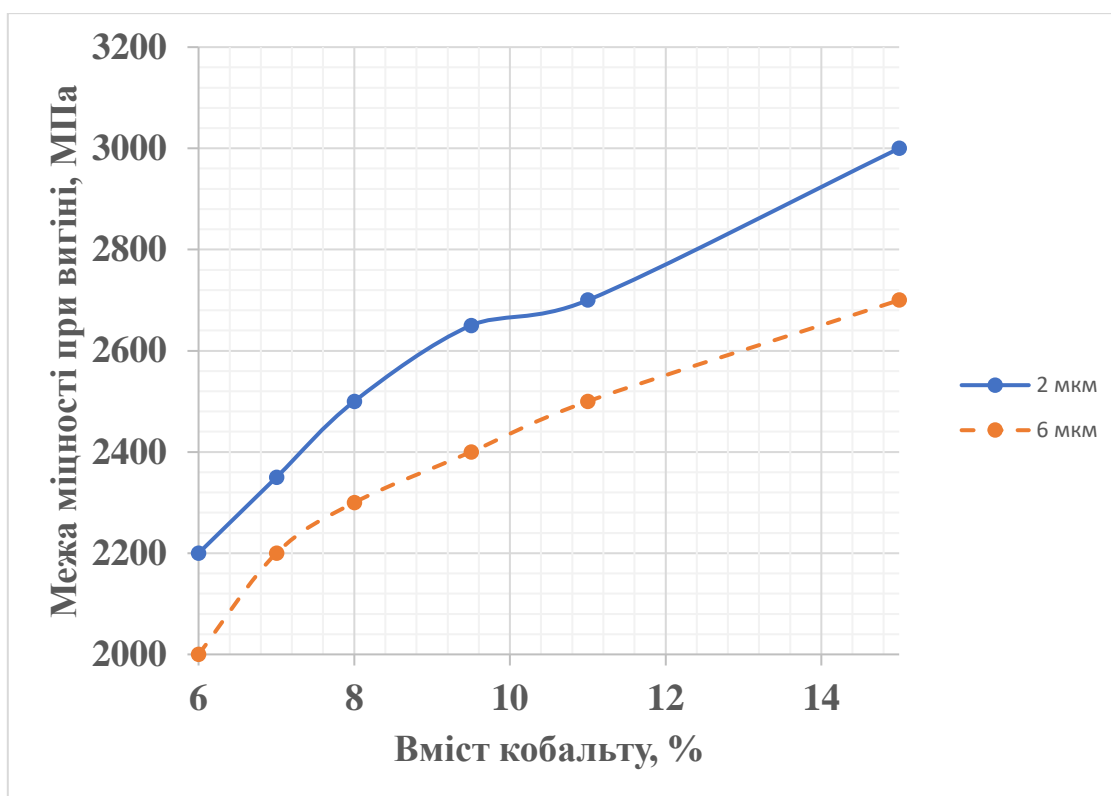


Рис. 4. Залежність межі міцності від вмісту кобальту та розмір зерна карбіду вольфраму

По залежності межі міцності від вмісту кобальту та розмір зерна карбіду вольфраму видно пропорційне збільшення межі міцності при вигині від вмісту кобальту. Це відноситься як до вставки з розміром карбіду вольфраму 2 мкм та й 6 мкм. Але по залежності видно більш активне зростання межі міцності на вигин для меншого за розміром зерна карбіду вольфраму.

Так, зменшення розміру зерен карбіду вольфраму (WC) у складі твердосплавних вставок справді значно впливає на зростання межі міцності при вигині. Цей ефект обумовлений кількома ключовими чинниками.

Причини підвищення міцності при зменшенні розміру зерна:

1) Збільшення кількості меж зерен: при зменшенні розміру зерен карбіду вольфраму збільшується площа меж між зернами, що є бар'єром для руху дислокацій. Це підвищує опір матеріалу до пластичної деформації.

2) Рівномірність розподілу напружень: дрібнозерниста структура сприяє рівномірному розподілу навантажень, зменшуючи локальні концентрації напружень, які можуть спричинити тріщиноутворення.

3) Зміцнення за рахунок мікроструктурних особливостей: у дрібнозернистих матеріалах зменшується середня відстань між карбідами, що підвищує міцність матриці та зменшує ймовірність руйнування.

4) Зменшення дефектів у структурі: у дрібнозернистих матеріалах кількість мікротріщин і пор значно менша, що зменшує ймовірність зародження та розвитку тріщин.

Висновки.

1. Дослідження впливу складу твердосплавної вставки на межу міцності при вигині показали, що зі зростанням вмісту кобальту прямопропорційно збільшується й межа міцності. Для твердосплавної вставки до складу якої входять менші за розміром карбіди вольфраму межа міцності зростає більш активно.

2. Вдосконалена методика визначення межі міцності при поперечному вигині для твердих сплавів повністю підтверджена у виробничих умовах та дозволила лише за рахунок виключення підготовчого алмазного шліфування заощаджувати на витратах на алмазний інструмент та час шліфування.

Перелік посилань

1. Владимирський, І.А., & Холявко, В.В. (2019). *Механічні властивості та конструкційна міцність матеріалів: Лаборатор. практикум: навч. посіб. для студентів спец. 132 «Матеріалознавство»*. Київ.
2. Hrytsai, Y., Koval, I., & Sushynskiy, V. (2010). *Формування структури і властивостей композитив самофлюсівний сплав – плавлені карбіди вольфраму та ніобію*.
3. Koval, I., & Marynenko, S. (2018). Вплив високого тиску і температури на структуру та властивості твердого сплаву. *Journal of Materials Science*, 2(8), 21–29.
4. Koval, I., Sushynskiy, V., Marynenko, S., Vodrova, L., & Kramar, H. (2010). Вплив легуючих нанодобавок карбіду вольфраму на технологічні властивості сплавів системи TiC-VC-NiCr. *Technical Sciences and Technologies*, 15(1), 21–28.
5. Коровяка Є.А. & Шипунов С.О (2024). Вдосконалення методики визначення межі міцності при поперечному вигині для твердих сплавів. *Наукова весн : Матеріали XIV Міжнар. науково-техн. конф. аспірантів та молодих вчен., м. Дніпро, 27 берез. 2024 р.*

ABSTRACT

Purpose. To establish the relationship between the composition of carbide inserts and their bending strength to optimize the material composition of the rock-blasting tool.

The methods. The research methodology is based on a combination of experimental, analytical and mathematical approaches. Theoretical training: review of the literature on the chemical composition and mechanical properties of hard alloys and the selection of optimal composition options for research. Experimental part: synthesis of alloys of different composition and formation of hard alloy inserts of non-standard sizes. The use of statistical methods to build models of dependence between the composition of the alloy and its strength limit.

Findings. A new method of determining the bending strength limit for a hard alloy has been developed, which is implemented in a new design of a special laboratory stand. The improved method of determining the transverse bending strength limit for hard alloys has been fully confirmed in production conditions and allowed to save on costs for the purchase of a diamond tool and on the time for grinding only due to the exclusion of preparatory diamond grinding.

The originality. It consists in studying the relationship between the composition of carbide inserts and the structural features of the material and makes the article relevant both for fundamental science and for industrial practice, contributing to the development of innovative approaches in creating materials with improved characteristics.

Practical implementation. Optimized hard alloy composition to achieve a balance between strength and wear resistance, evaluation of the impact of introducing alloying elements or matrix modification. Recommendations on the optimal composition of hard alloys for a rock-breaking tool, which will increase its wear resistance, durability and efficiency, have been developed.

Keywords: *well, bit, bending strength, carbide insert, rock-breaking tool, hardness.*