

В.І. Лавріненко, докт. техн. наук, професор, завідувач відділу
Інститут надтвердих матеріалів ім. В. М. Бакуля НАН України, м. Київ
В.Ю. Солод, канд. техн. наук, доцент, перший проректор
Дніпровський державний технічний університет МОН України, м. Кам'янське

НОВІТНІ ДОСЛІДЖЕННЯ В НАПРЯМКУ ВПЛИВУ ЗВ'ЯЗУЮЧОГО ТВЕРДИХ СПЛАВІВ НА ЇХ ТРИБОЛОГІЧНІ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ (ОГЛЯД)

Спечені тверді сплави створені майже сторіччя тому, але із різними новітніми модифікаціями продовжують утримувати передові позиції в інструментальному виробництві. Нагадаємо, що тверді сплави спікають з зерен карбідів вольфраму (титану, танталу), що зв'язані між собою зв'язуючим (кобальтом, нікелем, залізом). Особливістю спечених пластин твердих сплавів є те, що у них після спікання формується поверхневий шар із підвищеним складом зв'язуючого. Так, для твердого сплаву Т5К10 у поверхневому шарі фіксується 16,5 % за масою кобальту, а у глибинних шарах – 9,5 %. Або, наприклад, в спеченій пластині з безвольфрамового твердого сплаву існує початковий градієнт концентрації фаз, а саме, в поверхневому спеченому шарі, товщиною 50 мкм спостерігається підвищена концентрація нікелю, причому відношення поверхневої концентрації до внутрішньої для сплаву КНТ16 складає 2,4–2,7, а для сплаву ТН20 – 3,3–3,6. Такий градієнт концентрації фаз викликаний тим, що в період спікання розплав металу витискається з внутрішніх на периферійні області. Разом з тим, як було свого часу показано в [1], для пластин з твердих сплавів існує проблема втрати зв'язуючого (кобальту, нікелю) з поверхневого шару в процесі шліфування пластин, коли зішліфовується спечений поверхневий шар із підвищеним вмістом зв'язуючого. Чи має для нас це значення? Так, має, адже підвищений вміст зв'язуючого (нікелю, кобальту) пластифікує поверхневі шари, збільшує – міцність під час згинання, коефіцієнт Пуассона та лінійного термічного розширення, корозійну стійкість, а також зносостійкість пластин при різанні. Тобто роль вмісту зв'язуючого у поверхневому шарі твердих сплавів є важливою для підвищення зносостійкості виробів з твердих сплавів.

Нас зацікавило, а чи звертається у новітніх дослідженнях увага про роль зв'язуючого, насамперед кобальту, коли дослідники мають справу з твердими сплавами і на що саме вони звертають увагу при різному температурному впливові на вироби з твердих сплавів чи на покриття WC-Co.

Для отримання якісних виробів з твердого сплаву складної форми в статті [2] пропонується новий процес «хімічної поліровки з потовщенням зрушенням» (C-STP) із застосуванням реагенту Фентона зі швидкістю, що вдвічі перевищує швидкість звичайної поліровки. На рис. 1 наведений механізм видалення матеріалу з сплаву карбід вольфраму–кобальт з суспензією Фентона в процесі C-STP.



Рис. 1. Механізм видалення матеріалу з сплаву карбід вольфраму з кобальтом методом C-STP з реагентом Фентона [2]

На першому етапі елемент Co на поверхні сплаву карбід вольфраму з кобальтом спочатку окислюється до $\text{Co}(\text{OH})_2$ за рахунок сильного окислювача OH, оскільки він має більш низький реакційний потенціал, ніж WC. В подальшому деяка частина WC окислюється до WO_3 . Крім того, реакційний шар, що утворюється на верхній поверхні, є рихлим, що означає, що його легше видалити, ніж сплав карбіду вольфраму і кобальту. На другому етапі завдяки абразивним частинкам $\text{Co}(\text{OH})_2$ на поверхневому шарі твердого сплаву швидко видаляється. На третьому етапі видаляється елемент Co, який є зв'язуючою фазою в твердому сплаві. Між твердою фазою WC зникають зв'язки, тому зерна WC і його рихлі оксиди відносно легко видаляються абразивними частинками. Як бачимо, автори [2] звертають увагу саме на кобальт, як елемент, на який важливо вплинути для досягнення кращої ефективності поліровки твердого сплаву.

В статті [3] аналізуються характеристики пошкодження кромки різального інструмента з твердого сплаву WC-Co після прецизійного шліфування. Характеристики пошкодження кромки включали крихітні тріщини і безперервні зубчасті руйнування кромки. Результати свідчать, що помітно підвищився вміст елементу C і елементу W на поверхні (з 28,35 % до 34,29 % і 54,51–61,06 % відповідно). Збільшення зерен WC і зменшення вмісту Co призводить до зниження міцності та появи тріщин. Тобто, зменшення вмісту кобальту в поверхневому шарі є негативним.

Для покращення якості ріжучих доліт застосовуються різні методи термообробки. З них криогенна обробка (КТ) вважається ефективним методом підвищення терміну служби різних матеріалів різального інструмента. В статті [4] оцінювався вплив криогенної обробки при різних продуктивності витримки (12, 24 і 36 годин) на твердість і зносостійкість породоруйнівних доліт WC–6%Co. Доля фази β -Co значно знизилася за рахунок криогенної обробки. При цьому спостерігалася підвищення твердості на 13–24 %, що пов'язано з переходом від гранецентрованого кубічного α -кобальту до гексагонального щільноупакованого ϵ -кобальту. Крім того, коефіцієнт тертя підвищується (на 16,64 %), а також збільшується твердість до 2212 HV. Глибока криогенна обробка (DCT) доліт з цементованого карбіду (WC–Co) розглядалася також і в статті [5]. Результати показали, що кращий час DCT для твердості, міцності на згин і абразивної стійкості WC–Co склав 12 год. Виділення фази η ($\text{Co}_6\text{W}_6\text{C}$), перетворення мартенситної фази (α -Co в ϵ -Co) і підвищення залишкового напруження тиску (RCS) WC після DCT поліпшили твердість, міцність на згин і знизили швидкість зносу WC–Co. Як бачимо і тут дослідники звертають увагу на кобальт і його перетворення.

WC–Co із CVD-алмазним покриттям застосовуються в різальних інструментах. В дослідженні [6] вивчався вплив невеликих змін розміру зерна підкладки WC на морфологію, якість і адгезію алмазних покриттів. Результати свідчать, що покриття на підкладці WC з більш дрібним зерном (# 1) більш гладенькі і однорідні з більш високою густиною зародкоутворення, в той час як покриття на підкладці WC з більш крупним зерном (# 2) більш грубі з більш крупними кристалами алмаза. Покриття на підкладці WC з більш дрібним зерном показали більш низькі залишкові напруження і кращу адгезію. Дослідження підтверджує, що мікроструктура підкладки, навіть при невеликих змінах в розмірі зерна WC і в прожилках Co, суттєво впливають на морфологію алмазного покриття, якість кристалів, чистоту фази і міцність зчеплення. Ці ефекти пояснюються взаємодією між розміром зерна WC, середньою довжиною вільного пробігу Co і сміжністю WC.

Покриття компонентів трансмісії гребного гвинта WC–Co сприяє гарному сполученню м'яких і твердих фаз. В дослідженні [7] використані багатошарові композитні покриття FeCoNiW Co–WC із наднизьким коефіцієнтом тертя (0,17) і швидкістю зносу ($7,22 \times 10^{-7} \text{ мм}^3 \cdot \text{Н}^{-1} \cdot \text{м}^{-1}$). Багатий кобальтом твердий фазовий скелет сприяє зниженню коефіцієнта тертя. Однорідний і тонкий твердий фазовий скелет, багатий кобальтом, гарантує, що покриття демонструє надійні трибологічні характеристики. Тобто, і ці дослідження звертають увагу на позитивні ролі зв'язуючого (кобальту) у покращенні трибологічних і протизносних характеристик застосованого виробу.

Список літератури:

1. Лаврінченко В.І., Новіков М.В. Надтверді абразивні матеріали в механообробці: енциклопедичний довідник / Заг. ред. акад. НАН України М.В. Новікова. Київ: IHM НАН України, 2013. 456 с.
2. Mechanism of material removal in tungsten carbide-cobalt alloy during chemistry enhanced shear thickening polishing / Jiahuan Wang, Zewei Tang, Saurav Goel, Yu Zhou, Yanfei Dai, Jinhu Wang, Qiankun He, Julong Yuan, Binghai Lyu. *Journal of Materials Research and Technology*. Volume 25, July–August 2023, Pages 6865–6879.
3. Analysis of large edge breakage of WC–Co cemented carbide tool blades emerging in precision grinding process / Li Wei, Ju Wen-Liang, Long Gui, Wang Bo, Mohammad S. Alsoufi, Ammar Elsheikh, Ahmed Mohamed Mahmoud Ibrahim. *Journal of Materials Research and Technology*. Volume 19, July–August 2022, Pages 3916–3929.
4. Microstructure evolution, phase formation, mechanical and tribological response of deep cryogenically treated hard WC–6%Co cutting bits / Moganapriya Chinnasamy, Rajasekar Rathanasamy, Biswajit Samanta, Samir Kumar Pal, Sathish Kumar Palaniappan, Roja Rani Korrayi, Padmakumar Muthuswamy, Shibayan Roy. *Journal of Materials Research and Technology*. Volume 27, November–December 2023, Pages 1293–1306.
5. Wear characteristics and micro-cutting damage model of cemented carbide by deep cryogenic treatment / Weiguang Zhang, Jun Tian, Xiaowei Wu, Yu Zheng, Jingyun Yuan, Mingfang Zheng. *Journal of Materials Research and Technology*. Volume 32, September–October 2024, Pages 2279–2295.
6. Xiaoling Wang, Xiang Wu, Kang Lu, Jinwen Ye. Influence of cemented carbide substrate microstructure on CVD diamond coating characteristics. *Diamond and Related Materials*. Volume 152, February 2025, 111886.
7. Achieving ultra-low coefficient of friction of FeCoNiW multi-bonded composite coatings by Co-coated WC / Xinyao Li, Xiufang Cui, Yajie Guan, Di Chen, Sen Ma, Ziyu Song, Zhongtao Dai, Litong Feng, Guo Jin, Bingwen Lu. *Tribology International*. Volume 201, January 2025, 110244.