

А.М. Кузей, к.т.н., зав. лаб.

В.Я. Лебедєв, к.т.н., зав. лаб.

Фізико-технічний інститут НАН Білорусі

АЛМАЗНО-АБРАЗІВНІ ІНСТРУМЕНТИ НА МЕТАЛОКЕРАМІЧНИХ ТА ОРГАНІЧНИХ ЗВ'ЯЗКАХ ДЛЯ ОБРОБКИ ТВЕРДИХ СПЛАВІВ І НЕМЕТАЛІЧНИХ МАТЕРІАЛІВ

Наведені результати досліджень і розробок алмазно-абразивних композитів та інструментів на їхній основі для високопродуктивної обробки твердих сплавів, функціональної кераміки, неметалічних матеріалів, у тому числі природних алмазів. Виконано дослідження впливу складу алмазометалічних композицій і режимів пресування на їх фізико-механічні властивості й експлуатаційні показники алмазних кругів на їхній основі. Описано досвід ФТІ НАН Білорусі зі створення системи сертифікації алмазних інструментів.

Значна частина зв'язок алмазноабразивного інструмента розроблена на основі системи Cu-Sn. При розробці алмазноабразивного інструмента, як правило, виходять із припущення, що функція зв'язок полягає в утриманні алмазних зерен і одночасному її зносі зі швидкістю, що забезпечує оголення нових зерен замість тих, які спрацювалися (викрошилися). Останнє досягається у вузькому діапазоні режимів обробки одного матеріалу. Для алмазноабразивних композицій на металевих зв'язках на основі Cu-Sn, Al-Cu-Sn, які працюють при підвищеній продуктивності обробки, застосовують штучні методи відновлення здатності. Проте, металеві характеристики порошкової системи Cu-Sn оптимальні для досягнення високого рівня алмазомісткості: взаємодія в системі протікає в інтервалі 650–750 °С, оксиди на частках відновлюються в цьому ж температурному інтервалі, кінетичних обмежень взаємодії не існує. Металеві зв'язки на основі систем Co-Cu, Fe-Ni-Cu-Sn, Co-Cu-WC тощо схильні до окислювання при спіканні, що приводить до зниження міцності й алмазоутримання. Ефективність інструмента (здатність до роботи в широкому діапазоні режимів і навантажень при низькій питомій витраті алмазів, можливість обробки широкої групи матеріалів) може бути підвищена, якщо зв'язки, крім функції алмазоутримання, будуть володіти власною абразивною здатністю. Об'єктом дійсного дослідження обрані алмазометалічні композиції (зв'язки), що представляють собою матрицю з алюмінієвого сплаву з дисперсними включеннями часток V_4C , Al_{12} , Si. Зв'язки одержували таким способом: суміші з порошоків V_4C , алюмінієвого сплаву системи Al-Si, нікелю спікали при 1100–1250 °С, мололи, відсівали частки фракції – 100–50. В другій серії експериментів готували шихту з V_4C порошку сплаву Al-Cu (25 % мас.)-Zn (20 % мас.)-Si (5 % мас.)-Sn (4 % мас.), тобто, за складом відповідно до зв'язки марки M1-01. Як сполучні використовували скло системи $N_2O \cdot P_2O_5 \cdot Si_2$. Вміст V_4C в шихті становив 15–30% об. Вміст сполучних становив 10–30 % об. Із шихти пресували брикети діаметром 30 мм, висотою 10 мм, які потім спікали при 500–600 °С і пресували при тиску 30 і 50 МПа. Структуру композиційних матеріалів досліджували методами електронної скануючої мікроскопії. Аналіз мікроструктур композицій, що отримані при взаємодії в системі V_4C -Ni-Al-Si, показує, що основним продуктом є AlB_{12} , SiC. Рідка фаза утворюється в результаті реакції $Ni \rightarrow NiB$ р-р^x на границях розподілу V_4C і часток нікелю. Наступне змішування з розплавом алюмінію супроводжується виділенням часток AlB_{12} (β). Дальша взаємодія відбувається згідно з механізмом «розчинення-осадження». Не прореагувавши частки V_4C змочені нікельалюмінієвим розплавом. Внаслідок взаємодії утворюється композиційний матеріал, який являє собою суміш часток V_4C (не прореагувавших), кристалів AlB_{12} , SiC у матриці з алюмінійнікелевого сплаву. В залежності від концентрації нікелю (20–40 % мас.) матричний сплав інтерметалідом на основі Al_3Ni або алюмінієвим сплавом зі структурою $\alpha_{TB} + Al_3Ni$. Наступне спікання та гаряче пресування таких конгломератів ($\alpha_{TB} + Al_3Ni + V_4C + SiC$) зі склом призводить до утворення метало-керамічних композиційних матеріалів із твердістю HRC_e 30–45 (табл. 1).

В інтервалі температур 550–600 °С зв'язка знаходиться у в'язкопластичному або рідкому стані (600 °С). Зміна кольору скла показує, що при спіканні краплини скла розчиняють оксидні плівки. Найвища твердість композицій, спечених при 600 °С, обумовлена тим, що в матриці α-твердого розплаву утворюються осередки рідкої фази (при плавленні евтектики

$\alpha_{\text{ТВ}} + \text{Si}$), що підвищують технологічну пластичність конгломерату. Незначний вплив концентрації нікелю на твердість композицій, спечених при 600 °С, показує, що твердість композицій, отриманих спіканням порошку конгломерату, обумовлена двома факторами: структурою конгломерату – дисперсними (5–20 мкм) частками (B_4C , AlB_{12} , SiC , Al_3Ni) і формуванням щільного брикету з низькою пористістю. Останнє обумовлено існуванням значних (30–55 % об.) об'ємів в'язкої (рідкої) фази (табл. 1).

Таблиця 1

*Вплив режимів виготовлення на твердість композиційних матеріалів.
Тиск гарячого пресування 50 МПа*

Концентрація до опалювання, %	Вміст скла в композиції, %	Твердість HRC _e	
		Температура спікання, °С	
		550	600
$\text{B}_4\text{C}(10)\text{-Ni}(30)\text{-Al}$	10	26	28
$\text{B}_4\text{C}(15)\text{-Ni}(30)\text{-Al}$	10	26	30
$\text{B}_4\text{C}(20)\text{-Ni}(30)$	10	30	30
$\text{B}_4\text{C}(10)\text{-Ni}(30)\text{-Al}$	30	30	30
$\text{B}_4\text{C}(15)\text{-Ni}(30)\text{-Al}$	30	40	43
$\text{B}_4\text{C}(20)\text{-Ni}(30)\text{-Al}$	30	40	45
$\text{B}_4\text{C}(20)\text{-Ni}(20)\text{-Al}$	30	38	44
$\text{B}_4\text{C}(20)\text{-Ni}(15)\text{-Al}$	39	38	44

Твердість композицій, отриманих пресуванням шихти на основі алюмінієвого сплаву та нікелю (зв'язка М1-01) наведені в табл. 2.

Таблиця 2

*Вплив режимів виготовлення на твердість композиційних матеріалів.
Тиск гарячого пресування 30 МПа*

Концентрація, % $\text{B}_4\text{C}\text{-Al}$ сплав (М1-01)	Вміст скла, %	Твердість HRC _e	
		Температура спікання, 480 °С	
$\text{B}_4\text{C}(10)\text{-Al}$	10	20	
$\text{B}_4\text{C}(15)\text{-Al}$	10	20	
$\text{B}_4\text{C}(20)\text{-Al}$	10	24	
$\text{B}_4\text{C}(10)\text{-Al}$	30	26	
$\text{B}_4\text{C}(15)\text{-Al}$	30	29	
$\text{B}_4\text{C}(20)\text{-Al}$	30	30	

Нижчі показники твердості обумовлені грубою структурою композиції, а також неповною взаємодією скла з алюмінієвим сплавом. В інтервалі температур 480–520 °С в'язкість скла висока (температура початку розтікання 500–510 °С) і деформація брикета обумовлена пластичною течією алюмінієвого сплаву, що знаходиться у твердо-рідкому стані. Розвинута мікроструктура композицій на основі конгломератів, присутність дисперсних, голкоподібних часток B_4C , AlB_{12} , SiC різної міцності, крихких часток Al_3Ni , B_4C , пластичної матриці $\alpha_{\text{ТВ}}$ розчину забезпечує висока алмазовмісткість і одночасно знос матриці. Питома витрата алмазу під час обробки твердого сплаву (круг 12А2 150×20×3×32, АІ-6 100/80, 100 %) становить 4,7–5 мг/см³ при продуктивності обробки 900 мм³/хв. (становить 7). Присутність у структурі композиції твердих, крихких часток (у тому числі прошарків скла) забезпечує рівномірний знос зв'язки не тільки при обробці твердого сплаву, але й алмазу («алмазот»). Питома витрата алмазу під час круглого шліфування алмазота становила 47–49 мг/мм³ при продуктивності обробки 6 мм³/хв. і залишалася постійною протягом усього часу обробки. Таким чином, металокерамічні зв'язування дозволяють, хоча і не в повному обсязі, виконати суперечливі вимоги до зв'язок алмазоабразивного інструмента, а саме: забезпечення високої міцності утримання різальних часток, у матриці зв'язки та оптимальної швидкості її руйнування, адаптованої до умов обробки. При виготовленні алмазних інструментів, особливо на модифікованих і металокерамічних зв'язках необхідно суворо дотримуватись технологічних режимів на всіх етапах. Поява нових зв'язок та інструментів ставить задачу створення і методичної бази для їхнього контролю і випробувань. Досвід роботи й аналіз сучасного стану технології механічної обробки різанням показує, що різальний інструмент має все більш істотний вплив на рівень технології поверхні. Значною мірою рівень технології визначається якістю різальних інструментів і, особливо, алмазних і абразивних, найчастіше застосовуваних

на фінішних операціях. Фінішні операції найбільш значимі у формуванні експлуатаційних властивостей поверхонь і деталей машин у цілому. В даний час механічна обробка різанням залишається найбільш універсальною технологією виготовлення деталей машин. Це обумовлено як все більш зростаючими вимогами до точності розмірів і якості оброблених поверхонь деталей, так і застосуванням сучасних конструкційних матеріалів з високими фізико-механічними властивостями. Умови роботи інструмента ставлять все більш високі вимоги до його працездатності і стійкості, які, у свою чергу, значною мірою залежать від стабільності властивостей інструментального матеріалу і стану його робочих поверхонь. Досвід роботи із випробування інструментів виявив значне моральне старіння нормативних вимог до них. Позначився і тиск виробників до вимог стандартів на продукцію, що призвело до різкого відставання якості різальних інструментів, виробництва країн СНД від рівня провідних світових виробників. Істотні недоліки технології виробництва виявляються при експлуатації й різального алмазного інструмента. На пострадянському просторі виробництво алмазних кругів налагодили ряд підприємств і фірм. Але низькі рівні технологічної підготовки виробництва і кваліфікації персоналу призвели до появи на ринку алмазної продукції, що не витримує не тільки вимог держстандарту за експлуатаційними показниками, але і вимоги безпечної роботи держстандарту. Звичним при експлуатації такого інструмента є порушення цілісності алмазозносного шару (відколювання, викришування і виривання великих блоків), а також відклеювання усього шару від корпусу круга (особливо на кругах форми 12A2 на органічній, рідше – на металевих зв'язках). Для захисту ринку від недоброякісної продукції і з метою підвищення конкурентоздатності республіканських виробників у Республіці Білорусь (РБ) у рамках Державної науково-технічної програми «Алмази» організовано Орган із сертифікації металевих і неметалічних матеріалів і виробів на їхній основі, у тому числі й алмазо-технічної продукції. Орган координує роботу низки дослідницьких лабораторій. Завершується робота з внесення алмазного та іншого різального інструменту в перелік продукції, що підлягає обов'язковій сертифікації в РБ. Актуальною ця проблема для РБ є сьогодні і тому, що різальний інструмент у багатьох країнах (у першу чергу алмазо-абразивний) входить у перелік продукції, що підлягає обов'язковій сертифікації, а нормативно-методична база його випробувань застаріла. У Фізико-технічному інституті НАН Білорусі виконаний комплекс досліджень і розробок, на базі яких організовано випробувальний центр алмазо-абразивного та лезового інструмента, атестований 23 лютого 2000 р. у Національній системі акредитації на компетентність і технічну незалежність (атестат № ВУ/112.02.1.0.0368). Зараз випробувальний центр ФТІ є єдиним у країні комплексним центром зі створення, дослідження та випробування, у тому числі і сертифікації, нових і традиційних різальних алмазо-абразивних і лезових інструментів. Для забезпечення діяльності випробувального центра відповідно до вимог Національної Системи сертифікації (СТБ 5.1.04.96) і Системи акредитації (СТБ 941.0–941.5), розроблений комплект нормативно-методичної документації. Центр оснащено серією стендів конструкції і виробництва ФТІ НАН Білорусі, атестованими для випробувань і сертифікації алмазних і абразивних кругів діаметром 125–1200 мм на безпечність, механічну міцність з'єднання корпусу круга з алмазним прошарком, а також на механічну міцність корпусу. Сьогодні у центрі виконуються науково-дослідницькі і дослідно-технологічні роботи з удосконалення методології й апаратної бази випробувань лезвійно- й алмазно-абразивно різальних інструментів.

КУЗЕЙ Анатолій Михайлович – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, завідувач лабораторією Фізико-технічного інституту НАН Білорусі.

Наукові інтереси:

- композиційні матеріали;
- міжфазові взаємодії на межах розділу.

ЛЕБЕДЕВ Володимир Яковлевич – кандидат технічних наук, завідувач лабораторією Фізико-технічного інституту НАН Білорусі.

Наукові інтереси:

- алмазно-абразивні та лезвійні інструменти із ПСТМ: розробка, дослідження, працездатність, випробування та сертифікація.