

ПРОЦЕС АБРАЗИВНОЇ ОБРОБКИ ЯК ФРИКЦІЙНА ВЗАЄМОДІЯ: ОСОБЛИВОСТІ ТА ЕЛЕМЕНТНИЙ СКЛАД ЧАСТИНОК ШЛАМУ НА РІЖУЧІЙ ПОВЕРХНІ АЛМАЗНИХ КРУГІВ

Авторами показано¹, що процес абразивної обробки слід розглядати як фрикційну взаємодію різнорідних матеріалів і, при цьому, ця взаємодія може визначатися контактом зерна і оброблюваного матеріалу, а також у переважній більшості процесів абразивної продуктивної обробки, існують інші контактні процеси: взаємодія зв'язки круга зі стружкою (шламом), взаємодія шламу з оброблюваним матеріалом. Крім того, масопереніс при фрикційному контакті круга в процесі шліфування викликає інтерес для оцінки зміни характеристик фрикційного контакту і формування відповідного стану робочого шару шліфувальних кругів. Разом з тим, яка саме частка шламу затримується на ріжучій поверхні алмазного круга для різних оброблюваних матеріалів в літературі майже не досліджена.

Тому, в даній роботі нами наведені дослідження по наявності шламу на ріжучій поверхні алмазних кругів при обробці різних інструментальних матеріалів та за різних умов їх обробки. Методично це оцінювалося по аналізу елементного складу обробного матеріалу, що затримується при шліфуванні на ріжучій поверхні круга. Для цього, алмазний круг після процесу шліфування розташовували у камеру рентгенівського мікроаналізатора «Camscan-4DV» і аналізували склад елементів інструментального матеріалу на його ріжучій поверхні. Досліджувалися процеси алмазної обробки керамік (ВOK60, ВOK71, Si₃N₄+В₄С, ВOK85С) та твердих сплавів: вольфрамових (Т15К6, ВК6) і безвольфрамових (ТН20, КНТ16).

Нашими дослідженнями за допомогою гранулометра «CILAS» було встановлено, що розміри частинок шламу розподіляються наступним чином: основна маса шламу складається з дрібних частинок від 1 до 3 мкм і з більш крупних частинок, які коливаються для різних матеріалів від зернистості 32–48 до 96–128 мкм. Наведене вище свідчить про те, що дрібний шлам, який утворюється при шліфуванні, проходячи шлях від утворення до повторного надходження в зону шліфування разом з охолоджувальною рідиною, перетворюється, і частина його може компактуватися в більш крупні частинки.

Аналіз даних по розподілу величини частинок шламу свідчить, що він реалізується у вигляді частинок різної зернистості. Причому зустрічаються достатньо крупні частинки шламу, які є наслідком як виколот оброблюваного матеріалу, так і компактування шламу. Тверді сплави, чисто нітридні або оксидні кераміки дають переважно частинки від 32 до 128 мкм, причому із зміщенням в бік більшого діапазону – 96–128 мкм. Змішані оксидно-карбідні кераміки також переважно фіксуються в цьому ж діапазоні, але пік зернистості компактів зміщується тут вже в бік менших діапазонів. Звернемо увагу на те, що шлам змішаних нітридно-карбідних керамік (Si₃N₄+В₄С) фактично не компактується.

Відомо, що знос алмазних кругів при шліфуванні інструментальних матеріалів переважно визначається абразивною дією шламу на зв'язку круга². Враховуючи вказаний вище поділ шламу на різну крупність, можливо припустити, що на поверхні робочого шару круга можуть залишатися вказані вище дрібні частинки шламу і відбувається своєрідне шаржування зв'язки та затримка частинок шламу у нерівностях алмазних зерен. Виникають питання: а скільки власне затримується частинок шламу на робочій поверхні при різних умовах обробки, чи є це саме оброблюваним матеріалом, і де більше затримується, на зв'язці чи зернах?

Спробуємо відповісти на ці питання для різних інструментальних матеріалів, умов обробки і зв'язуючих алмазних кругів. Нашими дослідженнями встановлено, що при обробці з охолодженням твердого сплаву ВК6 кругами на металополімерній зв'язці за різних умов на ріжучому шарі круга затримується від 18,1 до 48,5% за масою твердого сплаву. При шліфуванні твердого сплаву Т15К6 кругами на полімерних зв'язках без охолодження на поверхні круга затримується 10,5% за масою, а при шліфуванні з охолодженням – 12,7% твердого сплаву. При шліфуванні безвольфрамового твердого сплаву (БВТС) КНТ16 без охолодження кругами на полімерній зв'язці на поверхні круга затримується біля 15% за масою шламу сплаву. Як бачимо, реально на ріжучій поверхні алмазного круга при шліфуванні затримується в межах від 10 до 20% за масою шламу.

Експерименти проводили при шліфуванні кругом 11V9 100×2×10 сплаву ВК6 з двома основними компонентами W та Со, щоб уникнути похибок від впливу інших компонентів, які могли би бути у складі зв'язки кругів. У якості основних показників враховували вміст W та Со, на ріжучій поверхні круга і співвідношення W до Со. Базовим експериментом виявлено, що при середніх режимах шліфування сплаву ВК6, коли нема переваги силового або теплого факторів, співвідношення W до Со складає приблизно 18.

¹ Лаврінченко В.І., Солод В.Ю. Процес абразивної обробки як фрикційна взаємодія різнорідних матеріалів // Сверхтвердые материалы. – 2018. – № 2. – С. 82–88.

² Лаврінченко В.І., Новіков М.В. Надтверді абразивні матеріали в механообробці: енциклопедичний довідник / Під загальною ред. академіка НАНУ М.В. Новікова. – К.: ІНМ НАН України, 2013. – 456 с.

Це значення і вважали за базове. Була сформульована робоча гіпотеза про те, що відхилення від цього базового значення є небажаним, оскільки перевищення величини цього співвідношення вказує на переважання карбіду вольфраму, або те, що кобальт зв'язується з елементами зв'язки або алмазом і видаляється зі шламом. Це може бути пов'язане з підвищеними механічними навантаженнями у зоні різання, що призводять до «відколю» WC з твердого сплаву. Викладений вище підхід дозволяє оцінювати характеристику круга по мірі впливу на елементний стан шламу. Оскільки у реальному сплаві ВК6 співвідношення $W/Co \approx 16$, то на наш погляд, при шліфуванні необхідно прагнути таких умов, при яких співвідношення W/Co буде знаходитись у діапазоні 16–18. Проілюструємо це наступним. Були застосовані три круги форми 11V9 100×2×10×32–AC6M 125/100–100 на металополімерній зв'язці MO2 і двома її модифікаціями, які мали на порядок підвищений знос у порівнянні із базовим складом. Дослідження при продуктивності обробки твердого сплаву ВК6 у 500 мм³/хв. виявили, що на базовій зв'язці MO2, круг має відносні витрати алмазів у 5,4 мг/г, а співвідношення W/Co на поверхні зв'язки дорівнює 17,9. В той же час на поверхні модифікованої зв'язки MO2-1 співвідношення дорівнює 9,7, а знос круга – 46,1 мг/г, на поверхні зв'язки MO2-2 – $W/Co = 47,8$, а знос круга 53,0 мг/г і спостерігається руйнація робочого шару. Таким чином, як мале значення W/Co , так і велике, є індикатором, що відбиває роботу круга. При малих значеннях відношення W/Co спостерігається підвищений знос круга, але аналогічний ефект спостерігаємо і при великих значеннях співвідношення, але у даному випадку відбувається і руйнування алмазовмісного шару, що викликано тепловою деструкцією полімерів, які входять до складу зв'язки MO2.

Тепер розглянемо це і для твердих сплавів з наявністю в них карбіду титану. На наступному етапі нами досліджувався елементний склад поверхні алмазного круга при шліфуванні твердого сплаву T15K6 та безвольфрамового твердого сплаву КНТ16, які саме і містять карбід титану. Як засвідчили наші дослідження, при шліфуванні твердого сплаву T15K6 із застосуванням алмазного круга на полімерній зв'язці із алмазними зернами D70 спостерігається наступний розподіл складових твердого сплаву (табл. 1). Як бачимо фактично на ріжучій поверхні круга залишається шлам твердого сплаву. Єдина тенденція, яка може вгадатися, це те, що при шліфуванні без охолодження карбід титану затримується у меншій мірі, ніж при шліфуванні з охолодженням.

Таблиця 1 – Розподіл складових оброблюваного твердого сплаву T15K6 на робочій поверхні круга

Контролюєма поверхня	Розподіл складових твердого сплаву (% за масою)		
	WC	TiC	Co
Вихідні дані по сплаву T15K6	79,0	15,0	6,0
Шліфування з охолодженням			
На зв'язці	77,2	15,7	7,1
На алмазному зерні	75,4	16,9	7,7
Шліфування без охолодження			
На зв'язці	79,0	13,0	8,0

На наступному етапі вяснимо де більше затримується шлам, на зв'язці чи зернах. Розберемо це питання на прикладі алмазної обробки шаруватої кераміки ВОК85, що є поєднанням трьох шарів ВОК60–ТН20–ВОК60, та окремо обробки кераміки ВОК60 і безвольфрамового твердого сплаву ТН20. Спектральний аналіз різальної поверхні круга при роздільній обробці кераміки та сплаву ТН20 дозволив виявити, що нікель та оксид алюмінію у меншій мірі затримуються на поверхні зерна, карбід титану – в більшій. Якщо умовно прийняти наявність всіх елементів шламу, що знаходяться на ріжучій поверхні круга за 100%, то методом рентгенівського мікроаналізу з цих 100% на алмазних зернах виявлено 14% алюмінію, 16% – нікелю та від 26 до 40% титану. У цілому ж, від 60 до 86 % титану, нікелю та алюмінію від загального 100%-го вмісту елементів на ріжучій поверхні круга при роздільному шліфуванні утримується на поверхні зв'язки. Шліфування трьохшарового композиту ВОК85С перпендикулярно перехідним зонам, коли алмазні зерна проходять при різанні послідовно кераміку – твердий сплав – кераміку, відрізняється тим, що практично весь титан (від 50 до 70%) його вмісту на ріжучій поверхні круга знаходиться на алмазних зернах, в свою чергу, алюміній розподіляється більш рівномірно. При цьому слідів нікелю у спектрі алмазу не виявлено.

Таким чином, наведені дослідження дозволяють стверджувати, що за рахунок масоперенесення змінюється стан контактних поверхонь і по аналізу елементів шламу матеріалу, що піддається обробці, на ріжучій поверхні круга можливо, в певній мірі, оцінювати працездатність алмазних кругів.