

Національна академія наук України
Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля

Кваліфікаційна наукова праця
на правах рукопису

ВАСИЛЬЧУК ОЛЕКСАНДР СЕРГІЙОВИЧ

УДК 620.22-419: 620.193.44

ДИСЕРТАЦІЯ

**«Визначення впливу вмісту алмазів в композиційних алмазовмісних
матеріалах, що отримані електроспіканням, на зносостійкість
функціональних елементів породоруйнівних інструментів»**

Спеціальність 132 – «Матеріалознавство»

(13 – «Механічна інженерія»)

Подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей,
результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

 Васильчук О.С.

Науковий керівник: Майстренко Анатолій Львович, доктор технічних наук,
професор, член-кореспондент НАН України

Київ – 2023

АНОТАЦІЯ

Васильчук О.С. Визначення впливу вмісту алмазів в композиційних алмазовмісних матеріалах, що отримані електроспінанням, на зносостійкість функціональних елементів породоруйнівних інструментів.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 132 – Матеріалознавство. – Інститут надтвердих матеріалів ім. В. М. Бакуля Національної академії наук України, Київ, 2023.

Дисертаційне дослідження виконано впродовж 2018–2023 рр. в Інституті надтвердих матеріалів ім. В. М. Бакуля Національної академії наук України. Подається на захист в Інституті надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля Національної академії наук України, Київ, 2023.

Дослідження присвячене розв’язанню важливої задачі - встановлення впливу вмісту алмазів композиційних алмазовмісних матеріалів на основі металевої матриці отриманих електроспінанням під тиском на зносостійкість з метою визначення впливу концентрації, зернистості композиційних алмазовмісних матеріалів (КАМ) електроспінанням під тиском, на зносостійкість функціональних елементів породоруйнівних інструментів. В результаті виконання даної наукової роботи отримано наступні наукові результати:

Проведено інтенсивне резистивне електроспінання композиційних алмазовмісних матеріалів на основі металевої зв’язки Ni(94)-Sn(6) та алмазами марки AC300 розміром 630/500, 500/400, 200/160 та концентрацією 100%, 50%, 25%, що дає широкий вибір застосування цих елементів для породоруйнівних інструментів. Також, були отримані зразки із покриттям хрому нанесені на алмази методом грануляції та з карбідом хрому нанесеним PVD методом. Встановлені параметри спікання даних композицій в залежності від вмісту алмазів та покриттів. Розроблено технологічну інструкцію процесу елетроспінання під тиском функціональних елементів для породоруйнівних інструментів.

В умовах різання Торезького пісковика функціональними елементами визначено, що при концентрації 100% та зернистості алмазів 630/500 інтенсивність зношування становить 103,3 мг/км, але більшої зносостійкості у 2,5 рази - 45,7 мг/км можна досягти при збільшенні площі різальних алмазів на контактній поверхні, тобто шляхом використання порошків алмазів меншої зернистості 200/160, які мають в 2 рази більшу питому площу поверхні. Введено нове поняття «ступінь армування алмазами» - відношення площі поверхні ріжучих алмазів до площі контактуючої поверхні, що об'єднує концентрацію та зернистість алмазів. Воно дозволяє відійти від двох параметрів – концентрації та зернистості алмазів, та об'єднати їх в один, який є характеристикою розподілу ріжучих алмазів, які взаємодіють із гірською породою.

Розраховано, що при вильоті алмазів зернистістю 400/315 над зв'язкою на 80-180 мкм при навантаженні максимальна величина компоненти напружень становить 300-520 МПа. При досягненні вильоту алмазу 135 мкм величина максимальних напружень досягає межі текучості 270 МПа матеріалу зв'язки, після якої з'являється вірогідність випадіння алмазів.

Встановлено, що теплопровідність більша на 4-10 % для зразків із покриттями карбіду хрому PVD методом в порівнянні зі зразками з алмазами без покриттів, що може свідчити про підвищення міжфазної провідності шляхом формування адгезійної взаємодії між алмазом та покриттям.

Розроблено пристрій для збору всієї маси продуктів руйнування КАМ та гірської породи. Розроблено методику магнітної сепарації магнітної складової в загальному продукті руйнування гірської породи та зв'язки КАМ та показано, що загальний шлам поділяється в магнітному полі на фракції, які розрізняються за питомою магнітною сприйнятливістю від $(3,9-8,8) \cdot 10^{-8}$ до $(1500-9500) \cdot 10^{-8}$ м³/кг, тобто у 370 разів. До складу магнітної фракції увійшли частинки зруйнованої зв'язки КАМ та залізовмісні частинки породи, що було підтверджено на електронно-скануючому мікроскопі.

За допомогою рентгено-флюоресцентної спектрометрії встановлено, що вміст металевих частинок КАМ в загальній масі шламу коливається від

0,120...0,741 % мас. в залежності від ступеня армування алмазами робочої поверхні функціональних елементів.

Встановлено, що середній розмір проекцій частинок шламу становить 17...54 мкм, однак також було проведено дослідження частинок розміром більше як 200 мкм і в загальному продукті зношування середній розмір частинок може досягати 225...357 мкм в залежності від ступеня армування робочої поверхні алмазами КАМ. Ці дані дають підстави для більш глибокого розуміння механізмів руйнування породи та зношування елементів КАМ.

За допомогою методу колориметрії вперше із загального шламу відокремлено металеві частинки зношування зв'язки КАМ, та встановлені розподіли їх розмірів які становлять 80...225 мкм в залежності від ступеня армування КАМ. Також, на підставі аналізу форм частинок зв'язки за формами прийнятих можливих базових фігур-аналогів (БФА) та їх проекцій формоподібності показано, що у виділених частинках переважають частинки трикутної та трапецієвидної форми, що свідчить про крихкий механізм відколювання частинок зв'язки від масиву КАМ..

Методами оптичного та контактного профілографування досліджена топографія зношування робочих поверхонь функціональних елементів з КАМ з різним ступенем армування робочих поверхонь та відповідні до них поверхні руйнування гірської породи. Спряження отриманих профілограм та вимірювання розподілу відстаней між поверхнями пар тертя показало, що середня відстань між ними $\langle h \rangle_{\text{прош}}$ змінюється від 17 до 110 мкм, а оцінка щільності шламу у фільтраційному каналі визначає діапазон зміни щільності від 0,208 до 0,831 г/см³, тобто дає підставу оцінити присутність шламу в прошарку у стані вільного абразиву. Однак для КАМ з алмазами 200/160 з концентрацією 100% розмір прошарку зменшується до 17-34 мкм, що характерно для блокування шламу в фільтраційному каналі й умовам зашламовування функціонального елементу КАМ та критичним умовам експлуатації інструменту. Оптичні зображення після різання дає підставу зробити висновок, що переважає руйнування КАМ закріпленим абразивом.

Вперше, з використанням атомно-силового мікроскопа NT-206V, досліджено формування мікротріщини втоми в поверхневому шарі зв'язки КАМ під дією частинок шламу, які переміщуються в прошарку між поверхнями пари тертя відносно поверхні зв'язки, утворюючи нормальні контактні зусилля частинок шламу на поверхню зв'язки, внаслідок циклічної дії яких у поверхневому шарі зв'язки ініціюються мікротріщини втоми, які розповсюджуються вглиб масиву вставки та призводять до крихкого відколу фрагментів зв'язки від масиву вставки КАМ.

Розроблено «Технологічну інструкцію на виготовлення вставок електроспінанням під тиском (ЕСТ) із композиційних алмазовмісних матеріалів (КАМ) для бурового інструменту» (ТІ 25000.00857) виготовлення методом інтенсивного резистивного електроспінання під тиском КАМ для бурового інструменту та були виготовлені вставки використовуються в ПрАТ «Науково-дослідне і конструкторське бюро бурового інструменту» в бурових інструментах в якості функціональних елементів калібраторів КЛСВ-210, КЛСВ-212, КЛСВ-215,9; лопатів пристроїв ПВУ-114, ПВУ-138 - для вирізання вікон в обсадних колонах діаметром 146 і 168 мм; та бурильних головок К212,7/100ТКЗ..

Ключові слова: композиційний алмазовмісний матеріал, металева зв'язка, алмаз, покриття, шлам, інтенсивність зношування, ступінь армування, зернистість, концентрація, щільність, математична модель.

ABSTRACT

Vasylchuk O.S. Determination of the effect of diamond content in composite diamond-containing materials obtained by electrosintering on the wear resistance of functional elements of rock-blasting tools.

Dissertation for the degree of Doctor of Philosophy in specialty 132 - Materials Science. - V. Bakul Institute of Superhard Materials of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, 2023.

The dissertation research was carried out during 2018–2023 at the V. Bakul Institute of Superhard Materials of the National Academy of Sciences of Ukraine. Submitted for defense at the V. Bakul Institute of Superhard Materials of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, 2023.

The study is dedicated to solving an important problem - establishing the influence of the diamond content of composite diamond-containing materials based on a metal matrix obtained by electrosintering under pressure on the wear resistance in order to determine the influence of the concentration, granularity of composite diamond-containing materials (CDM) by electrosintering under pressure, on the wear resistance of functional elements of rock-blasting tools. As a result of this scientific work, the following scientific results were obtained:

Intensive resistive electrosintering of composite diamond- containing materials based on the Ni (94) -Sn (6) metal bond and diamonds of the AS300 brand with sizes 630/500, 500/400, 200/160 and concentrations of 100%, 50%, 25% was carried out, which gives a wide choice of application of these elements for rock-destructive tools.. Also, samples were obtained with chromium coating applied to diamonds by the granulation method and with chromium applied by the PVD method. The sintering parameters of these compositions are established depending on the diamond content and coatings. A technological instruction for the process of electrosintering under pressure of functional elements for rock-destructive tools has been developed.

In the conditions of cutting Torez sandstone with functional elements, it was determined that with a concentration of 100% and a diamond grain size of 630/500, the intensity of wear is 103.3 mg/km, but 2.5 times greater wear resistance - 45.7 mg/km can be achieved with an increase in area of cutting diamonds on the contact surface, i.e. due to the use of diamond powders of smaller grain size 200/160, which have 2 times greater specific surface area. A new concept of "diamond reinforcement degree" was introduced - the ratio of the surface area of cutting diamonds to the area of the contact surface, which combines the concentration and grain size of diamonds. It allows you to move away from two parameters - concentration and grain size of diamonds, and combine them into one, which is a characteristic of the distribution of cutting diamonds that interact with the rock.

It is calculated that when diamonds with a grain size of 400/315 are ejected above the bond by 80-180 microns under load, the maximum value of the stress component is 300-520 MPa. When reaching a diamond dropout of 135 μm , the value of the maximum stresses reaches the yield point of 270 MPa of the bond material, after which the probability of diamond fallout appears .

It was established that thermal conductivity is 4-10% higher for samples with PVD chromium coatings compared to diamond samples without coatings, which may indicate an increase in interphase conductivity due to the formation of adhesive interaction between the diamond and the coating

A device has been developed for collecting the entire mass of products of CDM destruction and rock. The method of magnetic separation of the magnetic component in the general product of rock destruction and CDM bonds was developed, and it was shown that the general slurry is divided in a magnetic field into fractions that differ in specific magnetic susceptibility from $(3.9-8.8) \cdot 10^{-8}$ to $(1500-9500) \cdot 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$, i.e. 370 times. The composition of the magnetic fraction included particles of the destroyed CDM bond and iron-containing rock particles, which was confirmed by an electron scanning microscope.

With the help of X-ray fluorescence spectrometry, it was established that the content of metal particles of CDM in the total mass of sludge varies from 0.120 to

0.741% by mass. Depending on the degree of diamond reinforcement, working surface of functional elements.

It was established that the average size of the projections of sludge particles is 17...54 μm , but a study of particles larger than 200 μm was also conducted, and in the general wear product, the average particle size can reach 225...357 μm , depending on the degree of reinforcement of the working surface with CDM diamonds. These data give reasons for a deeper understanding of rock destruction mechanisms and wear of CDM elements.

With the help of the colorimetry method, for the first time, metal particles of CDM bond wear were separated from the general sludge, and their size distributions were established, which are 80...225 μm depending on the degree of CDM reinforcement. Also, on the basis of the analysis of the shapes of bond particles based on the shapes of accepted possible basic figure-analogs (BFA) and their projections of shape similarity, it is shown that triangular and trapezoidal particles predominate in the selected particles, which indicates a fragile mechanism of detachment of bond particles from the array CDM.

Using the methods of optical and contact profiling, the wear topography of the working surfaces of functional elements from CDM with different degrees of reinforcement of the working surfaces and corresponding rock failure surfaces were investigated. Conjugation of the obtained profilograms and measurement of the distribution of distances between the surfaces of friction pairs showed that the average distance between them $\langle h \rangle$ varies from 17 to 110 μm , and the estimation of the sludge density in the filtration channel determines the range of density changes from 0.208 to 0.831 g/cm^3 , i.e. gives reason to estimate the presence of sludge in the layer in the state of free abrasive. However, for CDM with diamonds 200/160 with a concentration of 100%, the size of the interlayer is mixed to 17-34 μm , which is typical for sludge blocking in the filtration channel and the conditions of silting of the functional element of the CDM and critical conditions of tool operation. Optical images after cutting give reason to conclude that the destruction of CDM by fixed abrasive prevails.

For the first time, using the NT-206V atomic force microscope, the formation of a fatigue micro-crack in the surface layer of the CDM bond was investigated under the action of sludge particles that move into the interlayer between the surfaces of the friction pair relative to the bond surface, forming normal contact forces of the sludge particles on the ligament surface, as a result of the cyclic action of which fatigue micro-cracks are initiated in the surface layer of the ligament, which spread deep into the insert massif and lead to brittle chipping of the ligament fragments from the CDM insert massif.

"Technological instructions for the manufacture of inserts by electrosintering under pressure (EST) from composite diamond-containing materials (CDM) for drilling tools" (TI 25000.00857) were developed by the method of intensive resistive electric sintering under pressure of DAM for drilling tools, and the manufactured inserts are used in PrJSC «Research and design bureau of drilling tools in drilling tools» as functional elements of calibrators KLSV-210, KLSV-212, KLSV-215,9; blades of PVU-114, PVU-138 devices - for cutting windows in casing columns with a diameter of 146 and 168 mm; and drill heads K212.7/100TKZ.

Keywords: composite diamond-containing material, metal bond, diamond, coating, slurry, intensity of wear, degree of reinforcement, granularity, concentration, density, mathematical model.

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Публікації у фахових виданнях України

1. Виноградова О.П., Майстренко А.Л., Шмегера Р.С., Манохін А.С., Ільницька Г.Д., Олійник Н.О., Петасюк Г.А., Ткач В.М., Васильчук О.С., Бологова Л.М. Аналіз продуктів зношування композиційного алмазовмісного матеріалу. *Породоразрушающий инструмент из сверхтвердых материалов и технология его применения*. 2019, 22, 93-102.

Особистий внесок здобувача: підготовка та проведення інтенсивного резистивного електроспікання дослідних зразків, випробування експериментальних зразків, виконання мікроскопічних досліджень, дослідження гранулометричних та морфометричних характеристик, формулювання висновків.

2. Васильчук О.С., Майстренко А.Л., Петасюк Г.А., Олійник Н.О., Ільницька Г.Д., Виноградова О.П., Закора А.П., Базалій Г.А. Розподілення частинок за розмірами та магнітні характеристики шламу, який отримують при обробці пісковіку функціональними елементами з КАМ на металевих зв'язках. *Інструментальне матеріалознавство*. 2020, 23, 72-78.

Особистий внесок здобувача: підготовка та проведення інтенсивного резистивного електроспікання дослідних зразків, випробування експериментальних зразків, виконання мікроскопічних досліджень, дослідження гранулометричних та морфометричних характеристик, розробка методики виокремлення магнітної фракції від гірської породи, формулювання висновків.

3. Майстренко А.Л., Петасюк Г.А., Ільницька Г.Д., Олійник Н.О., Закутевський О.І., Закора А.П., Виноградова О.П., Васильчук О.С., Базалій Г.А. Вплив ступеня армування порошком алмазу функціональних елементів з КАМ на характеристики продуктів руйнування гірської породи. *Міжвузівський збірник «НАУКОВІ НОТАТКИ»*. 2021, 71, 277-281.

Особистий внесок здобувача: підготовка та проведення інтенсивного резистивного електроспікання дослідних зразків, випробування експериментальних зразків, дослідження фізико-механічних характеристик, виконання мікроскопічних досліджень, дослідження гранулометричних та морфометричних характеристик, формулювання висновків.

4. Васильчук О.С., Майстренко А.Л., Петасюк Г.А., Олійник Н.О., Ільницька Г.Д., Виноградова О.П., Закора А.П., Закутевський О.І., Базалій Г.А., Ковтун М.Ф. Дослідження впливу абразивної складової експериментальних вставок з КАМ для породоруйнівного інструменту на характеристики продуктів руйнування гірської породи. *Інструментальне матеріалознавство*. 2021, 24, 288-296. *Особистий внесок здобувача: підготовка та проведення інтенсивного резистивного електроспікання дослідних зразків, випробування експериментальних зразків, дослідження гранулометричних та морфометричних характеристик, формулювання висновків.*

Публікації у виданнях, що входять до міжнародної науково-метричної бази Scopus, Web of Science.

5. Vasylchuk O.S., Maystrenko A.L., Petasyuk G.A., Vynohradova O.P., Ilnitska G.D, Oleinyk N.O, Zakutevskyi O.I, Zakora A.P., Manohin A.S. Wear of Diamond Composite Materials during Rock Destruction. *Journal of Friction and Wear*. 2021, 42, 454–460.

Особистий внесок здобувача: підготовка та проведення інтенсивного резистивного електроспікання дослідних зразків, випробування експериментальних зразків, виконання мікроскопічних досліджень, дослідження гранулометричних та морфометричних характеристик, формулювання висновків.

6. Майстренко А.Л., Бондаренко М.О., Антонюк В.С. , Петасюк Г.А., Виноградова О.П. , Васильчук О.С., Закора А.П., Закутевський О.І., Олійник Н.О. Інтенсивність зношування функціональних елементів із композиційних алмазовмісних матеріалів під час роботи інструментів в процесі руйнування гірської породи. *Надтверді матеріали*. 2023, 3, 59-68.

Особистий внесок здобувача: підготовка та проведення інтенсивного резистивного електроспікання дослідних зразків, випробування експериментальних зразків, виконання мікроскопічних досліджень, дослідження гранулометричних та морфометричних характеристик, формулювання висновків.

Матеріали конференцій

7. Vynohradova O.P., Maystrenko A.L, Vasylchuk O.S. The mechanism of wear of diamond-containing composite in drilling tools. *International scientific and technical internet conference “innovative development of Resource-saving technologies of Mineral mining and processing”*. December 14, 2018, 218-220.

Особистий внесок здобувача: підготовка та проведення інтенсивного резистивного електроспікання дослідних зразків, випробування експериментальних зразків, дослідження гранулометричних та морфометричних характеристик, формулювання висновків.

8. Виноградова О.П., Васильчук О.С., Стельмах О.У., Манохін А.С., Петасюк Г.А., Майстренко А.Л. Геометричні параметри частинок продуктів зношування матричного матеріалу у породоруйнівних елементах із композиційного алмазовмісного матеріалу, вилучених методом магнітної сепарації зі шламу. *Матеріали міжнародної конференції «Проблеми геоінженерії та підземної урбаністики», КПП ім. Ігоря Сікорського. - 29-31 травня 2019 року.* 2019, 86-88.

Особистий внесок здобувача: підготовка та проведення інтенсивного резистивного електроспікання дослідних зразків, випробування експериментальних зразків, виконання мікроскопічних досліджень, дослідження гранулометричних та морфометричних характеристик, розробка методики виокремлення магнітної фракції від гірської породи, формулювання висновків.

9. Васильчук О.С., Майстренко А.Л., Олійник Н.О., Ільницька Г.Д., Базалій Г.А., Закора А.П., Виноградова О.П., Петасюк Г.А. Характеристики порошку алмазу, який застосовують в КАМ для руйнування гірської породи, та шламу

руйнування. Зб. робіт Міжнародної наукової конференції «Матеріали для роботи в екстремальних умовах – 9», НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», 18-19 грудня 2019, Інженерно-фізичний факультет, Київ, Україна. 2019, 25-28.

Особистий внесок здобувача: виконання мікроскопічних досліджень, дослідження гранулометричних та морфометричних характеристик, формулювання висновків.

10. Vasylchuk O.S., Maystrenko A.L., Oliinyk N.O., Ilnitska G.D., Petasyuk G.A., Vynohradova O. P., Bazaliy G.A., Zakora A.P. Магнито-фракционный состав и морфометрические характеристики шлама, полученного при обработке песчаника функциональными элементами из КАМ. 6-th international conference «HighMatTech-2019». 2019, 110-113.

Особистий внесок здобувача: підготовка та проведення інтенсивного резистивного електроспікання дослідних зразків, випробування експериментальних зразків, виконання мікроскопічних досліджень, дослідження гранулометричних та морфометричних характеристик, розробка методики виокремлення магнітної фракції від гірської породи, формулювання висновків.

11. Васильчук О.С., Майстренко А.Л., Олійник Н.О., Ільницька Г.Д., Виноградова О.П., Базалій Г.А. Дослідження магніто-фракційного складу та оцінка ефективності розділення в магнітному полі продуктів руйнування гірської породи функціональними елементами з алмазо-вмісного композиційного матеріалу на металевих з'язках. *Якість, стандартизація, контроль: Теорія та практика: Матеріали 20-ї Міжнародної науково-практичної конференції, 07–11 вересня 2019 р., м. Одеса. – Київ: АТМ України. 2019, 94-96.*

Особистий внесок здобувача: підготовка та проведення інтенсивного резистивного електроспікання дослідних зразків, випробування експериментальних зразків, виконання мікроскопічних досліджень, розробка методики виокремлення магнітної фракції від гірської породи, дослідження гранулометричних та морфометричних характеристик, формулювання висновків.

12. Васильчук А.С., Майстренко А.Л., Олейник Н.А., Ильницкая Г.Д., Петасюк Г.А., Базалий Г.А., Закора А.П., Виноградова Е.П. Влияние интенсивности износа породоразрушающих элементов из КАМ на изменение магнито-фракционного состава шлама и его морфометрических характеристик. *Современные вопросы производства и ремонта в промышленности и на транспорте: Материалы 20-го Международного научно-технического семинара, 23–28 марта 2020 г., г. Тбилиси. – Киев : АТМ Украины. 2020, 26-29.*

Особистий внесок здобувача: підготовка та проведення інтенсивного резистивного електроспікання дослідних зразків, випробування експериментальних зразків, дослідження гранулометричних та морфометричних характеристик, формулювання висновків.

13. Vasylchuk O.S., Maystrenko A.L., Oliinyk N.O., Ilnitska G.D., Petasyuk G.A., Vynohradova O. P., Bazaliy G.A., Zakora A.P. Magnetic-fraction composition and morpho-metric characteristics of the sludge, obtained during the processing of the sandstone by functional elements from composite diamond-containing materials. *7-th International Samsonov Conference “Materials Science of High Melting Compounds” (MSHMC).- (May 25-28, 2020 Kyiv, Ukraine).* 2020, 63.

Особистий внесок здобувача: підготовка та проведення інтенсивного резистивного електроспікання дослідних зразків, випробування експериментальних зразків, дослідження гранулометричних та морфометричних характеристик, формулювання висновків.

14. Васильчук О.С., Майстренко А.Л., Олійник Н.О., Ільницька Г.Д., Закора А.П., Виноградова О.П., Базалій Г.А. Аналіз шламу, який отримують при обробці пісковика функціональними елементами з КАМ на металевих зв'язках. *Матеріали Міжнародної наукової конференції «Матеріали для роботи в екстремальних умовах».– 10–11 грудня 2020, Київ. 2020, 60-63.*

Особистий внесок здобувача: підготовка та проведення інтенсивного резистивного електроспікання дослідних зразків, випробування експериментальних зразків, дослідження гранулометричних та морфометричних характеристик, формулювання висновків.

15. Васильчук О.С., Майстренко А.Л., Олійник Н.О., Петасюк Г.А., Виноградова О.П., Ільницька Г.Д., Базалій Г.А. Вплив абразивної складової КАМ на формування характеристики крупності шламу, який отримують при обробці гірської породи. *Тези конференції «Сучасні питання виробництва і ремонту в промисловості і на транспорті»* .- березень 2021 р., м. Львів. 2021, 76-78.

Особистий внесок здобувача: підготовка та проведення інтенсивного резистивного електроспікання дослідних зразків, випробування експериментальних зразків, дослідження гранулометричних та морфометричних характеристик, формулювання висновків.

16. Васильчук О.С., Майстренко А.Л., Петасюк Г.А., Ільницька Г.Д., Олійник Н.О., Закора А.П., Виноградова О.П., Базалій Г.А., Закутевський О.І. Вплив ступеня армування порошком алмазу функціональних елементів з КАМ на характеристики продуктів руйнування гірської породи. *Матеріали 21-ї Міжнародної науково-технічної конференції «Інженерія поверхні та реновація виробів»* 07–11 червня 2021 р., м. Свалява. 2021, 85-87.

Особистий внесок здобувача: підготовка та проведення інтенсивного резистивного електроспікання дослідних зразків, випробування експериментальних зразків, дослідження фізико-механічних характеристик, дослідження гранулометричних та морфометричних характеристик, формулювання висновків.

17. Vynogradova O., Vasylchuk O., Zakora A., Petasyuk G., Garashchenko V. The analysis of nature of damage of the matrix material, used in production of diamond drilling and stone-working tools during the destruction of a rocks. REnergy- and resource-saving technologies of developing the raw-material base of mining regions multi-authored monograph / reviewers: Mihaela TODERAS, Khavalbolot KELGENBAI, Dimitar ANASTASOV. – Petroșani, Romania : UNIVERSITAS Publishing 2021, 344-357.

Особистий внесок здобувача: підготовка та проведення інтенсивного резистивного електроспікання дослідних зразків, випробування

експериментальних зразків, виконання мікроскопічних досліджень, формулювання висновків.

18. Oliinyk N., Maystrenko A., Petasyuk G., Ilnytska H., Vynohradova O., Zakora A., Zakutevskyi O., Vasylchuk O., Bazaliy G., Kovtun M. Influence of the reinforcing component of experimental inserts made of a composite diamond-containing material on the characteristics of the products of destruction of rocks. *HighMatTech-2021 5-7 October 2021, Kyiv, Ukraine Book of Abstracts*. 2021, 19.

Особистий внесок здобувача: підготовка та проведення інтенсивного резистивного електроспікання дослідних зразків, випробування експериментальних зразків, дослідження гранулометричних та морфометричних характеристик, формулювання висновків.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ	21
ВСТУП	22
РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ДОСЛІДЖЕНЬ З ТЕХНОЛОГІЙ СПІКАННЯ, ТЕРТЯ ТА ЗНОШУВАННЯ КОМПОЗИЦІЙНИХ АЛМАЗОВМІСНИХ МАТЕРІАЛІВ	27
1.1. Особливості властивостей композитів які використовуються в породоруйнівних інструментах	27
1.2 Технології, які використовуються для консолідації композиційних алмазовмісних матеріалів	28
1.2.1. Вільне ізотермічне спікання	29
1.2.2 Вакуумне спікання	29
1.2.3 Компресійне спікання	30
1.2.4 Реакційне спікання	30
1.2.5 Гаряче пресування композиційних алмазовмісних матеріалів	31
1.2.6 Спікання КАМ вибухом	33
1.2.7 Електророзрядне спікання	33
1.2.8 Динамічне спікання	34
1.2.9 Одержання композиційних алмазовмісних матеріалів інфільтрацією рідкої фази металів	34
1.2.10 Метод електрохімічного осадження алмазовмісних покриттів	35
1.3 Дослідження зношування композиційних алмазовмісних матеріалів	35
1.3.1 Класифікація видів зношування.	36
1.3.2 Дослідження механізмів зношування КАМ	49
Список використаних джерел до 1 розділу	51
РОЗДІЛ 2. МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ КОМПОЗИЦІЙНИХ АЛМАЗОВМІСНИХ МАТЕРІАЛІВ	57
2.1 Метод інтенсивного електроспікання КАМ	57
2.2 Метод грануляції алмазів	58
2.3 Рентгено-фазовий аналіз	59

	18
2.4 Вимірювання теплопровідності КАМ	59
2.5 Гідростатична щільність та пористість КАМ.	60
2.6 Профілометрія робочих поверхонь (механічна, оптична та лазерна спекл-інтерферометрія)	61
2.6.1 Механічна профілометрія	61
2.6.2 Оптичний метод	63
2.6.3 Метод лазерної спекл-інтерферометрії	64
2.7 Трибологічні випробування (експериментальні методи випробування КАМ на зносостійкість).	65
2.8 Гранулометрія шламу (морфометричні характеристики шламу).	68
2.9 Визначення морфометричних та гранулометричних характеристик матеріалу зв'язки КАМ методом колориметрії.	69
2.10 Формулювання мети та задач дослідження	77
Список використаних джерел до 2 розділу	78
РОЗДІЛ 3. ЕЛЕКТРОСПІКАННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ЕЛЕМЕНТІВ	
3 КАМ НА МЕТАЛЕВІЙ ЗВ'ЯЗЦІ	81
3.1 Підготовка до електроспікання функціональних елементів породоруйнівних інструментів з різною зернистістю та концентрацією алмазів	81
3.2 Спікання дослідних вставок алмазовмісного композиту із різною концентрацією та зернистістю алмазів.	82
3.2.1 Методика електроспікання КАМ під тиском	82
3.2.2 Аналіз складу спечених зразків КАМ	84
3.3 Аналіз напруженого стану зерна алмазу у зв'язці КАМ при взаємодії з гірською породою	89
3.3.1 Комп'ютерна модель взаємодії зерна алмазу на КАМ з гірською породою	89
3.3.2 Аналіз впливу ступеня виступання алмазного зерна над металевою зв'язкою на зміну напруженого стану, які призводять до його викиду зі зв'язки	93

	19
3.4 Визначення теплопровідності функціональних елементів КАМ	98
Висновки до 3 розділу	100
Список використаних джерел до 3 розділу	100
РОЗДІЛ 4. ДОСЛІДЖЕННЯ ІНТЕНСИВНОСТІ ЗНОШУВАННЯ	
ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ЕЛЕМЕНТІВ З КАМ	103
4.1 Експериментальне дослідження точіння блоків гірської породи з відбором продуктів руйнування та визначенням складових сили різання	103
4.2 Дослідження впливу параметрів процесу руйнування гірської породи функціональним елементом з алмазовмісного матеріалу на гранулометричні характеристики шламу	106
4.2.1 Дослідження впливу ступеня армування алмазами робочих поверхонь елементів з КАМ на інтенсивність їх зношування	106
4.3 Профілографічний аналіз топографії контактуючих поверхонь зношування функціональних елементів алмазовмісних породоруйнівних інструментів в процесі руйнування гірської породи	111
4.4 Оцінка розмірів каналу між поверхнями пари тертя та щільності шламу в каналі. Класифікація механізмів взаємодії робочої поверхні вставки з гірською породою.	113
Висновки до розділу 4	116
Список використаної літератури до 4 розділу	117
РОЗДІЛ 5. ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОДУКТІВ РУЙНУВАННЯ ГІРСЬКОЇ ПОРОДИ	
ФУНКЦІОНАЛЬНИМИ ЕЛЕМЕНТАМИ З КОМПОЗИЦІЙНИХ	
АЛМАЗОВМІСНИХ МАТЕРІАЛІВ	120
5.1 Аналіз елементного, хімічного та фазового складу продуктів руйнування гірської породи та матричного матеріалу експериментальних функціональних елементів з КАМ на металевій основі.	121
5.2 Дослідження зміни магнітофракційного складу шламу під впливом різної інтенсивності зношування експериментальних функціональних елементів з КАМ на металевій основі	126

5.3 Дослідження гранулометричного складу продуктів зношування алмазо-вмісного композиту та продуктів руйнування гірської породи	130
5.4. Елементний та магнітнофракційний склад продуктів руйнування гірської породи та матричного матеріалу функціональних елементів з КАМ на металевій зв'язці	135
5.5 Дослідження впливу ступеня армування алмазами на гранулометричні характеристики продуктів зношування матеріалу зв'язки КАМ	143
5.6. Формулювання моделі механізму зношування алмазовмісних композитів в процесі руйнування гірської породи	148
Висновки до 5 розділу	156
Список використаної літератури до 5 розділу	157
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	164
ДОДАТКИ	166
Додаток А. СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ	165
Додаток Б	173
Додаток В	185

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

КАМ – композиційний алмазовмісний матеріал.

АС – алмаз синтетичний.

PVD – метод фізичного нанесення покриття.

БФА – базові фігури-аналоги.

SPS – метод іскрового плазмового спікання.

EDS – метод спікання електророзрядним ущільненням.

ЕСІ – метод електронної спекл-інтерферометрії.

ЦКС – метод цифрової кореляції спекл-зображень.

АСА – метод адсорбційно-структурного аналізу.

АСМ – атомно-силовий мікроскоп.

q – густина, г/см³.

I – інтенсивність зношування, мг/км.

E – модуль пружності, ГПа.

ν – коефіцієнт Пуассона.

G – модуль зсуву, ГПа.

σ_s – межа текучості, МПа.

E_t – дотичний модуль пластичності, МПа.

$\langle h \rangle_{\text{прош}}$ – висота прошарку між поверхнею КАМ та гірською породою.

h_p – висота вильоту алмазу над зв'язкою, мкм.

$S_{\text{ал}}$ – площа розкритих алмазів, які взаємодіють (ріжуть) з гірською породою, мм².

$S_{\text{вст}}$ – площа робочої поверхні, яка взаємодіє з гірською породою, мм².

$\langle s \rangle_a / \langle S \rangle_{\text{вст}}$ – ступінь армування алмазами поверхні композиційного алмазовмісного матеріалу.

χ – питома магнітна сприйнятливність, м³/кг.

$\langle W \rangle_{\text{сер}}$ – середня вільна відстань між алмазами, мкм.

ВСТУП

Актуальність роботи. В сучасному світі гірнича та видобувна промисловість є важливою складовою економіки багатьох країн. При цьому одним з ключових факторів успіху є використання ефективних породоруйнівних інструментів. Для зменшення вартості матеріалів та робіт необхідно підвищувати продуктивність та ефективність руйнування гірських порід, в наслідок чого виникає потреба розробляти нові матеріали та інструменти з високими фізико-механічними властивостями, здатні до руйнування гірської породи з максимальною точністю та мінімальним зношуванням та зносостійкістю.

Композиційні алмазовмісні матеріали з металевою зв'язкою (КАМ) є однією з основних груп матеріалів у цій галузі. Дослідження властивостей та механізмів зношування композиційних алмазовмісних матеріалів на основі металевих зв'язок є важливою задачею в науково-технічній сфері. Розробка методу оцінювання взаємозв'язку складових характеристик структури та зносостійкості матеріалів є ключовою для покращення їх властивостей та ефективного застосування в гірничій промисловості.

Зносостійкість КАМ залежить від багатьох факторів, таких як розмір та концентрація зерен алмазу, тиск та температура спікання, тривалість витримки та інші. Оцінювання зношування таких матеріалів зазвичай обмежувались визначенням втрати маси КАМ або висоти зносу робочої кромки, однак сам процес зношування недостатньо вивчений. Тому дослідження спрямовані на визначення закономірності впливу структури та фізико-механічних властивостей композиційних алмазовмісних матеріалів з металевою зв'язкою на інтенсивність їх зношування при руйнуванні гірської породи є актуальним.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами й темами. Роботу виконано в Інституті надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України в рамках відомчої тематики НАН України: «Встановлення механізмів зношування композиційних алмазовмісних матеріалів на металевих зв'язках при руйнуванні гірської породи» (ДР №0119U100584).

Мета роботи полягає у визначенні впливу концентрації та зернистості алмазів в композиційних алмазовмісних матеріалах із металевою зв'язкою Ni-Sn, отриманих електроспінанням, на зносостійкість функціональних елементів породоруйнівних інструментів.

Для реалізації поставленої мети необхідно розв'язати **наступні задачі**:

1. Визначити вплив розміру та концентрації зерен алмазу, температури спікання в межах 750-850 °С, тривалості витримки та тиску від 150 до 300 МПа на зносостійкість алмазовмісних композитів на металевих зв'язках в системі Ni-Sn при електроспінанні;

2. Встановити залежності між інтенсивністю зношування композиційних алмазовмісних матеріалів на металевих зв'язках, що отримані електроспінанням, параметрами їх концентрації, зернистості;

3. Виконати моделювання напруженого стану між алмазом та зв'язкою КАМ для визначення умов виризу алмазів із зв'язки в залежності від висоти виступання алмазів над зв'язкою

4. Провести випробування функціональних елементів породоруйнівного інструменту з функціональними елементами з алмазовмісного матеріалу отриманого методом електроспінання.

5. Виконати гранулометричні та морфометричні дослідження продуктів руйнування гірської породи та зношування функціональних елементів КАМ;

6. Виконати дослідження механізму зношування алмазовмісного матеріалу на металевих зв'язках для породоруйнівного інструменту;

Об'єкт дослідження – композиційні алмазовмісні матеріали на основі металевої матриці Ni(94%)-Sn(6% мас.), що отримані електроспінанням під тиском.

Предмет дослідження – визначення впливу комбінації вмісту алмазів АС300 зернистості 200/160...630/500 та концентрації алмазів 25...100% ум. в КАМ з металевою зв'язкою Ni-Sn, на зносостійкість функціональних елементів в породоруйнівному інструменті, що отримані електроспінанням.

Методи дослідження: електроспікання КАМ під тиском, оптичної мікроскопії, сканувальна електронна мікроскопія, атомно-силова мікроскопія, оптичної та контактної профілометрії поверхні, магнітної сепарації, колориметрії, рентгено-флюоресцентної спектрометрії, гранулометрії та морфометрії, математичне моделювання напружено-деформованого стану, визначення фізико-механічних та теплофізичних властивостей матеріалів, визначення інтенсивності зношування зразків КАМ.

Наукова новизна:

1. В умовах різання Торезького пісковика функціональними елементами КАМ визначено, що інтенсивність їх зношування залежить не від зернистості армуючих алмазів, а від площі їх поверхонь на контактній площині функціонального елемента.

2. Введено нове поняття «ступінь армування алмазами» робочої поверхні функціонального елемента із КАМ, яке визначається відношенням площі поверхонь ріжучих зерен алмазів до площі контактної поверхні функціонального елемента, тобто об'єднує вміст алмазів та їх зернистість в КАМ в одній характеристиці армування робочої поверхні функціонального елемента породоруйнівного інструменту.

3. Використовуючи метод колориметрії у досліджених зразках продуктів руйнування гірської породи та зношування елементів КАМ з вмістом частинок зв'язки від 0,120 до 0,741 % мас., вперше виділені частинки зв'язки КАМ, розміри яких визначені в межах 116...245 мкм, причому серед морфометричних форм частинок зношування зв'язки переважають форми з гострими кутами, характерними для крихкого руйнування.

4. На підставі дослідження поверхонь зношування функціональних елементів на атомно-силовому мікроскопі визначений механізм утворення тріщин втоми, які утворюються в результаті циклічного навантаження поверхонь зв'язки КАМ шламом, та їх розвиток в поверхневих шарах КАМ до відшарування фрагментів зв'язки.

Практичне значення отриманих результатів:

1.Розроблено «Технологічну інструкцію на виготовлення вставок електроспіканням під тиском (ЕСТ) із композиційних алмазовмісних матеріалів (КАМ) для бурового інструменту» (ТІ 25000.00857);

2.Вставки із композиційних алмазовмісних матеріалів для бурового інструменту, виготовлені електроспіканням під тиском використовуються в бурових інструментах ПрАТ «Науково-дослідне і конструкторське бюро бурового інструменту».

Особистий внесок здобувача. В дисертаційній роботі наведені результати досліджень, які були виконані при безпосередній участі автора. Особистий внесок автора полягає в: проведенні літературного та патентного оглядів, проведення змішування та навіски порошків, пресування та безпосереднього електроспікання вставок композитів; визначення густини; проведенні аналізу впливу параметрів електроспікання на структуру КАМ; виготовлені гранульовані алмази, розраховано параметри ступеня армування КАМ. Автором були проаналізовані результати досліджень параметрів шламу, топографії поверхонь КАМ та гірської породи, проведені розрахунки, пояснені явища та закономірності.

Автором спільно з м.н.с. А.С. Беляєвим виконано дослідження впливу вмісту алмазів на теплопровідність КАМ. Спільно з к.т.н. В.А. Дуткою виконали комп'ютерне моделювання напруженого стану, в залежності від розкриття алмазу. Автором спільно з к.т.н. А.П. Закорою та к.т.н. О.П. Виноградовою проведено випробування композитів на зносостійкість зі збором шламу. Розроблено конструкцію системи для відбору всіх продуктів руйнування гірської породи та зношування КАМ від часу різання гірської породи. Спільно з д.т.н. Г.А. Петасюком визначено гранулометричні характеристики шламу та виділено методом колориметрії частинки зруйнованої зв'язки. Спільно з к.т.н. Г.Д. Ільницькою та к.т.н. Н.О. Олійник розроблено метод магнітної сепарації зруйнованого шламу на магнітні складові. Спільно з завідувачем науково-дослідної (експериментальної) лабораторії вимірjuвальної техніки НН ММІ НТУУ «КПІ ім. І. Сікорського» О.О. Пліваком досліджена топографія поверхонь

відпрацьованих функціональних елементів КАМ та гірської породи. Аналіз фазового складу частинок шламу виконано спільно з д.ф.-м.н. В.М. Ткачем. Спільно із завідувачем лабораторії Інституту сорбції та проблем ендоекології НАН України к.т.н. Закутевським О.І., методом рентгено-флюоресцентної спектроскопії з використанням приладу "X-Ray Fluorescence Spectrometer Elvax", проведено комплексне експериментальне дослідження шламу.

Постановку задач дисертаційної роботи та аналіз отриманих закономірностей проведено разом з науковим керівником членом-кореспондентом НАН України, д.т.н., професором А.Л. Майстренком.

Апробація матеріалів дисертації. Основні результати дисертації були представлені на 7 конференціях: Матеріали міжнародної конференції «Проблеми геоінженерії та підземної урбаністики», КПІ ім. Ігоря Сікорського (29-31 травня 2019 року, Київ); Міжнародна наукова конференція «Матеріали для роботи в екстремальних умовах – 9», НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського (18-19 грудня 2019, Київ); 20-а Міжнародна науково-практична конференція «Якість, стандартизація, контроль: теорія та практика» (7-11 вересня 2019 року, Одеса); 7-а Міжнародна Самсонівська конференція «Матеріалознавство тугоплавких сполук» (25-28 травня 2020 року, Київ); Міжнародна наукова конференція «Матеріали для роботи в екстремальних умовах – 10» (10-11 грудня 2020 року, Київ); Міжнародна науково-технічна конференція «Інженерія поверхні та реновація виробів» (7-11 червня 2021 року, Свалява).

Публікації. За матеріалами дисертаційної роботи опубліковано 18 наукових праць, серед яких 2 статті у виданнях, що належать до наукометричних баз, 4 статті у фахових виданнях, 1 колективна монографія, 8 публікацій за матеріалами конференцій.

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається з анотації, вступу, 5 розділів, загальних висновків, 133 літературних посилань, 3 додатків. Загальний обсяг роботи складає 185 сторінки друкованого тексту (обсяг основного тексту – 146 сторінки, з додатками – 165 сторінки), дисертація містить 51 рисунок, 21 таблицю.

РОЗДІЛ 1.

ОГЛЯД ДОСЛІДЖЕНЬ З ТЕХНОЛОГІЙ ЕЛЕКТРОСПІКАННЯ, ТЕРТЯ ТА ЗНОШУВАННЯ КОМПОЗИЦІЙНИХ АЛМАЗОВМІСНИХ МАТЕРІАЛІВ

1.1. Особливості властивостей композитів які використовуються в породоруйнівних інструментах

Важливу роль в створенні породоруйнівних інструментів відіграють композиційні алмазовмісні матеріали, які виготовляють в основному на металевих зв'язках. Як відомо, тільки за винятком полірувальних інструментів, у яких функціональні елементи виконані на полімерних зв'язках, температури полімеризації яких значно нижче рівня прояву негативного впливу теплового фактора на властивості міцності алмазів, усі інші види інструментів, у переважній більшості, виготовляються на основі металевих зв'язок [1].

До композиційних алмазовмісних матеріалів (КАМ) існує ряд вимог. Одним з перших, це змочування алмазів, потім відносно невисока температура спікання, високі міцність, твердість, теплопровідність і зносостійкість. Застосування композиційних алмазовмісних матеріалів для обробки високо абразивних середовищ обумовило необхідність введення додатково до складу зв'язок різних твердих дисперсних додатків, таких як порошки карбіду бору, вольфраму або титану, реліту, оксиду алюмінію й інших включень, що підвищують в остаточному підсумку опір абразивному зношуванню. Але головним критерієм у концепції вибору зв'язок, саме для композиційного алмазовмісного матеріалу, все-таки залишається принцип рівності інтенсивності зношування алмазів і зв'язки, принцип, який лежить в основі теоретичного або емпіричного обґрунтування необхідного рівня твердості й зносостійкості зв'язки в кожному конкретному випадку [1-5]. Ця умова згодом стала визначальною й у виборі відповідного технологічного способу й параметрів режиму спікання композита в цілому.

Умови взаємодії в системі «алмаз - зв'язка» також займають досить вагоме місце в загальній концепції якості композиційних алмазовмісних матеріалів. Ця якість досягається не тільки добром відповідних компонентів зв'язки, що забезпечують її взаємодію з алмазом, але й за допомогою спеціальних покриттів, які наносяться різними способами на поверхні алмазів. При формуванні покриттів перевага віддається карбідо-утворюючим металам [6].

Основне призначення зв'язки – утримання зерен алмаза на поверхні робочого шару інструмента протягом усього періоду їх активної взаємодії з оброблюваним матеріалом, а потім поступове вскриття нових шарів зерен [2,7]. Виходячи із цього відзначимо, що найважливішим моментом формування композиційних алмазовмісних матеріалів на металевій зв'язці є дотримання співвідношення зносостійкості зерна алмаза та інтенсивності зношування зерен і зв'язки [2].

Аналіз взаємозв'язку алмазоутримання із властивостями зв'язок показав, що найбільш імовірна кореляція з міцністю зв'язки, оскільки в основі процесу вириву зерна лежить об'ємна деформація зв'язки. Показники пластичності зв'язок – ударна в'язкість і відносне ущільнення при стиску – практично не впливають на міцність закріплення зерен алмаза (коефіцієнт кореляції r_0 становить відповідно 0,079 і 0,172). Твердість, найбільше часто, використовують для оперативного контролю якості зв'язок. При цьому в межах одного складу зв'язок твердість може служити критерієм оцінки алмазоутримання. На відміну від міцності алмазоутримання зносостійкість зв'язки корелює із твердістю незалежно від матеріалу зв'язки. Це відповідає загальноприйнятим вимогам про взаємозв'язок твердості й зносостійкості для матеріалів з гомогенною структурою [8].

1.2 Технології, які використовуються для консолідації композиційних алмазовмісних матеріалів

Композиційні алмазовмісні матеріали отримують спіканням порошків металів та алмазів, шляхом злиття порошків шихти в суцільний каркас. Цей

процес відбувається за допомогою поверхневої пластичної деформації, дифузії між атомами, хімічних реакцій, зміни механізмів перенесення маси, утворення нових фаз, випаровування з вільних поверхонь та конденсації на границях зерен [9]. В процесі спікання, в якій присутня рідка фаза, рідина збирається в краплі, утворюючи границі з малою вільною енергією. Утворення твердої фази, відбувається при розчиненні дрібних зерен та утворення великих кристалів речовини, шляхом розчинення гострих кутів, затягування тріщин в зернах, після чого утворюється щільна та однорідна структура.

Спікання КАМ базується на методах порошкової металургії, до яких входять: гаряче та гаряче ізостатичне пресування; вільне спікання у вакуумі або захисному середовищі (водню, азоту та ін.); електрохімічного осадження та просочення в газовому середовищі. Розглянемо коротко інформацію про ці методи.

1.2.1. Вільне ізотермічне спікання

Спікання відбувається під дією температури, тиску й хімічної взаємодії компонентів, із утворенням рідкої фази при плавленні компонентів. В результаті утворюються гетерофазні компоненти.

Процес вільного ізотермічного спікання складається з трьох етапів [10]: перший етап – перегрупування часток, в процесі якого рідка фаза заповнює порожнини між частинками; другий етап – процес розчинення – осадження; третій етап – твердофазне спікання. Головним недоліком даного методу порівняно з методами електроспікання є тривале перебування алмазів під дією високих температур, що в результаті приводить до їх графітизації та зниження міцності алмазів.

1.2.2 Вакуумне спікання

Метод полягає в рідкофазному спіканні у вакуумі на основі адгезійно-активних компонентів до алмаза [11, 12]. Спікання відбувається протягом декількох годин при температурі 0,8-1,0 від температури плавлення зв'язки. Перевагами даного методу є міцне закріплення алмазних зерен в зв'язці, можливість одержання інструменту різноманітної конструкції, можливість варіації пористості у зв'язці від 0 % до 25 %. Також, має міцні гетерофазні границі. Є одним із основних методів виготовлення сучасного породоруйнівного інструмента. До недоліків слід віднести взаємодію алмазу з високою температурою та тривалий час спікання в порівнянні з методами електроспікання.

1.2.3 Компресійне спікання

Процес спікання, також відбувається з утворенням рідкої фази, під дією газів (зазвичай гелій, аргон), що подається під тиском в камеру, які можуть активувати хімічну реакцію або захищати матеріали, що спікаються від окислення. Перевагою даного методу є вища щільність й кращі механічні характеристики в порівнянні з методом вільного спікання. [12,13].

Для спікання використовують спеціальні камери високого тиску, в яких можна керувати робочими температурами. В таких камерах існує ізоляція стінок для запобігання їх перегріву. Нагрівання здійснюється за допомогою молібденових або вольфрамових нагрівачів. Температура спікання складає 1800-2000 С, а тиск – 6-8 МПа [12]. Для запобігання окислення зв'язки використовують інертні гази за допомогою індукційного нагрівання. Сам процес поділяється на дві стадії: перша – завершується утворення закритих пор при тиску 0,5-1 МПа, другий – тиск збільшується й забезпечується ефект об'ємного стиснення. До недоліків слід віднести нижчу щільність виробів в порівнянні з виробами виготовленими методом гарячого пресування.

1.2.4 Реакційне спікання

Суть методу полягає в пресуванні суміші порошків різного гранулометричного складу із заповненням капілярних пор, в процесі реакції синтезу утворюються хімічні сполуки, що входять до складу матеріалу та відбувається ущільнення й зміцнення матеріалу. Реакція проходить на площі поверхонь великих зерен, що ущільнює заготовку і зменшує пористість матеріалу [15]. Матеріали після реакційного спікання наближаються по фізико-механічним властивостям до гарячопресованим, однак, технологічний процес є значно простішим й дешевшим. Пресування відбувається гідравлічним, газостатичним, інжекторним та іншими методами, брикети можуть мати різноманітні габарити і форми [16].

При рідкофазному спіканні застосовують активатори спікання, які формують аморфну або кристалічну міжзеренну фазу, що утворює компактний виріб.

У процесі спікання ущільнення відбувається при проходженні хімічної реакції при високих температурах, між твердим і газовим або рідким реагентом.

Кількість продукту реакції повинен бути більшим обсягу твердого реагенту, що введений в пресформу для створення реакції синтезу. Один з реагентів повинен надходити зовні, тільки в цьому випадку проходить ущільнення. Процес є самозагасаючим, площа границі тверда фаза – газ зменшується в процесі спікання.

1.2.5 Гаряче пресування композиційних алмазовмісних матеріалів

Оскільки коефіцієнти самодифузії компонентів композиційних матеріалів малі, виникає необхідність використовувати методи гарячого або гарячого ізостатичного пресування для консолідації цих матеріалів. Метод гарячого ізостатичного пресування проходить при всебічному пресуванні, що дозволяє отримувати вироби з рівномірною щільністю по всьому виробу. Щільність виробів при гарячому пресуванні є більш високою ніж при вільному спіканні.

Тому вироби виходять з кращими експлуатаційними характеристиками та меншою залишковою пористістю.

Для спікання використовують графіт високої щільності. Застосовуючи більш високі тиски (до 50 МПа) при пресуванні, дозволяє знизити температуру спікання. Частіше для нагрівання заготовки пропускають струм через пресформу або непрямым від індукційного нагрівача.

Основними недоліками даного методу є: складне обладнання; обмеженість при пресуванні через графітові пресформи; зменшення міцності зерен алмаза через тривалий час дії високих температур; втрата маси алмазів, через хімічну взаємодію з матеріалами зв'язки. Найбільша втрата міцності алмазів спостерігається при вільному спіканні та гарячому пресуванні, а найменша при гарячому пресуванні при високому тиску або імпульсному спіканні [17].

Для спікання КАМ на основі металевих матриць застосовують в основному методи вакуумного спікання, інфільтрації або ізотермічного спікання з допресовкою, то для КАМ на основі твердосплавних матриць (Твесал, Славутич) традиційно застосовують метод гарячого пресування в графітових пресформах.

КАМ, зокрема Славутич і Твесал спікається в графітових пресформах при температурі 1400 °С, під тиском 0,5 МПа та тривалістю 10-20 хв, що негативно впливає на алмази, тому КАМ спікають в середовищі аргону при температурі 800 °С.

Було також реалізована попередня грануляція алмазів в твердому сплаві, потім їх холодне брикетування в сталевих пресформах з наступним гарячим пресуванням в графітових пресформах. Грануляція алмазів дозволяє упаковувати алмази більш рівномірно в пресформі, що забезпечить рівномірну інтенсивність зношування КАМ в умовах контакту з гірською породою.

Гаряче пресування було основним методом для отримання щільних і зносостійких КАМ. Метод гарячого пресування КАМ розробляли Бакуль В.М., Вовчановський І.Ф., Ципін Н.В., Сімкіна Є.С. Бронштейн Д.Х. та ін.. [18-21].

1.2.6 Спікання КАМ вибухом

Спікання даним методом проводиться в сталевих контейнерах ударними хвилями, які генерують енергією вибуху вибухової речовини. Тиск складає порядку 18-24 ГПа та тривалістю 20 мкс, а температура становить 1300 °С. Через малу тривалість дії високих температур, властивості алмазів залишаються на вихідному рівні. Даний метод описаний в роботах Трефілова В.І., Новікова Н.В., Ковтуна В.І. і Майстренко А.Л. [22,23], а також Андрєєва В.Д. і Лукаша В.А.[24].

1.2.7 Електророзрядне спікання

Електроспікання КАМ під тиском реалізується за допомогою резистивного нагрівання брикета, як і відомі методи електроспікання [25-29], однак при більш високій силі струму та значно вищому тиску. В результаті це дозволяє скоротити час спікання та запобігти деградації алмазів.

Спосіб електророзрядного спікання був розроблений 1982 році Андрєєвим В.Д. та Переясловим В.П. [30-34]. Шихту попередньо пресують в апараті високого тиску при тиску 0,2...2 ГПа, після чого пропускають електричний розряд через пресований зразок. Частота розряду становить 3-5 кГц, що забезпечує прогрівання периферії циліндричних заготовок. Спікання триває близько 600 мкс.

За допомогою даного методу виготовляють спікають сплави ВК6, ВК8, ВК15, ВК20 [35]. Однак, для ВК6 та ВК8 після спікання спостерігалася нерівномірність структури, значна пористість, розшарування заготовок, що обмежило використання зразків з малим вмістом кобальту. При виготовленні вставок діаметром 5 мм і висотою 4 мм на основі суміші ВК15 щільність становила 93-95 % від теоретичної. При дослідженні структури спостерігалось збереження розмірів зерен карбиду вольфраму у вихідному рівні 0,5-3 мкм. Спікання зразків з більш дрібними зернами алмазів зернистістю 160/125 показали відсутність впливу електророзрядного спікання на їх властивості та розміри, однак через незначну тривалість спікання, вироби отримують з нижчою щільністю.

В напрямку електророзрядного спікання розроблено ряд нових перспективних методів: метод SPS (Spark Plasma Sintering) і аналог FAST (Field Assisted Sintering Technology), а також – EDS (Electric Discharge Compaction) [36]. Для активації процесів консолідації та процесів ущільнення в даних методах застосовують додаткове фізичне поле (електричне, електростатичне, мікрохвильове, магнітне і т.д.) [28,29].

Швидке нагрівання реалізується за допомогою імпульсного електроструму та ефекту плазми, що з'являється в іскровому розряді. Через малу тривалість спікання, не розповсюджується ріст зерен та отримати рівноважний стан, що дозволяє створювати матеріали з субмікронним чи нанорозмірним зерном [37].

Основними недоліками є відносно малий тиск при пресуванні до 100 МПа, нерівномірність розподілу струму через спресований брикет. З позитивних сторін, це невелика по часу дія активних металів до алмазів.

1.2.8 Динамічне спікання

Для мінімізації тривалості спікання були присвячені наступні роботи Андреева В.Д., Аносова Ю.В. та Переяслова В.П. [30]. Для спікання КАМ використовували ударний стиск між ковадлами Бріджмена, які стискають зі швидкістю 1-2 м/с з одночасним пропусканням струму напругою 400 В від розряду конденсаторної батареї.

1.2.9 Одержання композиційних алмазовмісних матеріалів інфільтрацією рідкої фази металів

Спікання КАМ даним методом базується на інфільтрації рідкої фази у каркасні суміші із порошку алмазів та тугоплавких металів у захисному газовому середовищі.

Даний метод інфільтрації рідкої фази називають методом просочування під дією капілярних та гравітаційних сил, в умовах вакууму під тиском, ультразвуком

або магнітодинамічної обробки. Розрізняють інфільтрацію під тиском, при якій інфільтрація проходить під тиском, який перевищує атмосферний. При вакуумному просоченні заповнення пор рідкою фазою металу відбувається через відмінність між атмосферним тиском та тиском, що утворюється в порах, ця різниця не перевищує однієї атмосфери [38].

1.2.10 Метод електрохімічного осадження алмазовмісних покриттів

Алмазно-гальванічне покриття створюють в процесі електролітичного осадження металу в осад алмазів, що зіштовхуються з катодом і прикріплюються до нього. Катодом, є деталь яка виготовляється і розміщена в гальванічну ванну. Алмази розміщають біля катода за допомогою спеціального пристосування, що запобігає поширенню по всій ванні та не заважає проникненню електроліту на катод. Перший шар нікелю прикріплює алмази, після чого проводиться осадження основного електролітичного металу.

Даний метод став доступний для формування алмазних інструментів з рівномірним нанесенням алмазного шару на інструменти складної форми. Даний метод допускає застосування зерен алмазів різної зернистості. Як правило даним методом утворюють алмазоносні шари, товщиною приблизно рівною зернистості алмазів. Перевагою при виготовленні КАМ даним методом є збереження вихідних властивостей алмазів, але мають значно нижче утримання алмазів в порівнянні з іншими методами виготовлення КАМ. При виготовленні КАМ даним методом, вироби можуть мати різні фізико-механічні властивості. Для зв'язки використовують метали нікелю, хрому, міді та інші, а алмазні зерна рівномірно розподіляються в робочому шарі [40, 41].

1.2.11 Метод інтенсивного резистивного електроспінання.

1.3 Дослідження зношування композиційних алмазовмісних матеріалів

Зношуванням називають процес руйнування та відділення матеріалу з поверхні твердого тіла. Знос є результатом зношування, що визначається в одиницях об'єму, довжини, маси. Кількісно характеризується швидкістю зношування – відношення значення зносу до інтервалу часу, протягом якого він виник, або інтенсивністю зношування – відношення зносу до пройденого шляху, на якому відбулося зношування, або обсягу виконаної роботи. Розрізняють миттєву і середню швидкість зношування.

Під зносостійкістю розуміють властивості матеріалів, що створюють опір зношуванню в деяких умовах тертя, що оцінюються величиною, оберненою швидкістю або інтенсивністю зношування [42].

1.3.1 Класифікація видів зношування.

Найбільш поширеною є класифікація видів зношування по характеру взаємодії на поверхні тертя і процесів, що протікають на ній: механічне зношування – абразивне; гідроабразивне; гідроерозійне; кавітаційне; втомне; зношування при заїданні. Корозійно-механічне – окислення; зношування при фретінг-корозії; електрокорозійне

При абразивному зношуванні матеріалу відбувається в результаті різання або дряпання твердими частинками. Тверді частинки можуть бути в закріпленому або вільному стані. При гідроабразивному зношуванні абразивне зношування відбувається в результаті дії твердих частинок, що рухаються з потоком рідини.

Зношування при терті відбувається при контактній взаємодії деталей (модулей) і при їх русі. Зношування відрізняється від об'ємного руйнування тим, що обумовлене наступними його особливостями. Деформаційні процеси при терті протікають в тонких (відносно тонких) поверхневих шарах матеріалів, що характеризуються високим ступенем нерегулярності будови внаслідок рельєфу поверхонь, недосконалості кристалічної будови, наявності великої кількості дефектів, різних хімічних з'єднань матеріалів з навколишньою атмосферою й адсорбційних шарів молекул навколишньої атмосфери.

Руйнування відбувається в приграничному шарі, що характеризується розривом швидкості в приграничному матеріалі з інтенсивним масо- і теплообміном. Приграничний шар, що утворюється в процесі тертя, за властивостями, суттєво, відрізняється від властивостей взаємодіючих матеріалів. Продукти руйнування не завжди можуть покинути область контакту і продовжують приймати участь в складному процесі формування приграничного шару.

Відмінною рисою абразивного зношування є участь в процесі твердих частинок, що мають різноманітну структуру, форму, розмір, твердість, міцність, незначною адгезією до поверхонь в яких виникає тертя. Терті в присутності абразивних частинок характеризується не стаціонарністю контактів твердих частинок зі зношуваною поверхнею, широким спектром і високою концентрацією напружень, фізико-хімічною активацією поверхонь твердих тіл.

По характеру силової дії на поверхні пари тертя, абразивне тертя розрізняють:

- а) ковзання деталі по монолітному абразиву;
- б) кочення деталі по абразиву;
- в) удар частинками абразиву;
- г) удар деталі по монолітному абразиву;
- д) дія потоку абразивних частинок на поверхню деталей (гідро-абразивне зношування);
- е) ковзання деталі в масі абразивних частинок;
- ж) взаємодія з'єднаних деталей в контакті з абразивними частинками.

Кожен вид взаємодії обумовлює властиве йому напружено-деформований стан, ступінь активізації і наступне руйнування поверхні деталі. Руйнування поверхні може бути результатом одноактної взаємодії абразиву з поверхнею (зрізання стружки) або багатократного процесу деформації поверхонь, класифікувати матеріали по їх здатності чинити опір абразивному зношуванню, неможливо [42].

Дослідження зношування матеріалів по корундовому полотну, проведені Хрущовим М.М. [43], показали, що відносно зносостійкість чистих металів в не наклепаному стані і сталей в відпаленому стані прямо пропорційна твердості матеріалу. Процеси абразивного зношування залежать від форми і розміру абразивних частинок, можливості їх закріплення в матеріалі. Якщо співвідношення між твердістю матеріалу і абразиву менше 0,5 можливе пряме руйнування матеріалу, при більше 0,7 одноактне руйнування матеріалу малоймовірне і процес переходить в багатоцикловий. Міцність абразивних частинок зі зменшенням їх розмірів збільшується, особливо інтенсивно зі 100 мкм.

Стійкість до абразивного зношування залежить від складу та структури поверхневих шарів металів. Оптимальна зносостійкість досягається при високому опорі матеріалу стисканню, зсуву, значній силі молекулярно-механічного зчеплення структурних складових, поєднання твердості і в'язкості при відсутності крихкості; високої теплопровідності; при невеликій різниці температур коефіцієнтів розширення фаз, високої насиченості і рівномірності мікророзподілу легуючих компонентів, стійкості до корозії.

Гідроабразивне зношування відбувається в умовах ударної взаємодії твердих частинок на поверхні тіла. Зношування може приймати різні форми в залежності від властивостей матеріалів і кута атаки абразивних частинок, включаючи крихке руйнування (у випадку зношування силікатного скла), мікрорізання (при зношуванні міді), пластичне відтискання та виникнення та ріст мікротріщин.

Інтенсивність зношування залежить від кута атаки, швидкості потоку, концентрації, розміру, твердості абразивних частинок, співвідношення твердості поверхні матеріалу і абразивних частинок. Зі зменшенням кута атаки знижується можливість величина ударного імпульсу, збільшується можливість мікрорізання та утворення канавок на поверхні.

Збільшення твердості сталей в цілому благополучно впливає на опір зношуванню, однак одночасно збільшується небезпека крихкого руйнування. Найбільш, зносостійкими являються хромисті чавуни, карбідочавуни.

Методи визначення зношування. Поверхня двох контактуючих тіл (матриці та гірської породи) є хвилеподібною та шорсткою. Під впливом стискаючих напружень шорсткість поверхні змінюється внаслідок неоднорідності механічних властивостей поверхні. Поверхня матриці та гірської породи контактує на окремих малих площинах. Кількість контактів залежить від навантаження та шорсткості поверхні.

При руйнуванні гірської породи велике значення має абразивна здатність породи та бурового інструменту (композиційного алмазного матричного матеріалу), міцність алмазів, адгезія між матрицею та алмазом і твердість матричного матеріалу. На адгезійні властивості впливає наявність оксидних плівок, що значно знижує зчеплення матриці та породи. Окиси утворюються зазвичай швидко. Всі плівки є крихкими, особливо коли досягають значної довжини. Плівка окису має іншу твердість ніж метал або сплав. На поверхні металу практично миттєво утворюється плівка з окисів товщиною 1-1,2 нм. Окислення починається відбуватись в окремих активних місцях поверхні металу. Адгезійна взаємодія є недостатньо вивчена. Оптимальну структуру матриці забезпечують такі параметри як: міцність, пластичність, твердість, температуропровідність. В складних сплавах забезпечується додаванням в'язкої та зміцнювальної фази, твердого розчину та дисперсної зміцнювальної фази.

Нагрівання контактів зазвичай супроводжується дифузійними процесами, надзвичайно полегшені високою температурою та пластичним плином металу.

Механізм руйнування твердих тіл залежить від виду матеріалу, виду та значення навантаження, що викликає руйнування. Складність визначення механізму зносу є те, що матеріал матриці змінює свої властивості в робочому процесі.

Про оцінку зношування. Частинки зношування можуть мати форму пелюсток або дуже маленьких утворень – у вигляді пилу, що облуплюється від

поверхні тертя, що являє собою надмірно крихкий матеріал внаслідок перенаклепу, окислення чи дифузійного легування.

Зношування – процес відділення матеріалу в результаті багатократного порушення фрикційних зв'язків. З цього визначення випливає, що одною з найбільш істотних характеристик зносостійкості являється здатність поверхневих шарів протистояти повторним деформаціям.

Внаслідок хвилястості і шорсткості поверхонь дотику двох твердих тіл завжди є дискретним, тобто відбувається в окремих точках. В точках дотику виникають високі удільні навантаження, що приводить до взаємного заглиблення нерівностей. Так як нерівності мають неоднакову висоту, то відповідно вони будуть заглиблюватись на різну глибину. В залежності від глибини заглиблення і геометричної форми нерівностей має місце різний характер порушення фрикційних зв'язків: пружне відтиснення, пластичне відтиснення, різання, що своєю чергою суттєво впливає на величини коефіцієнта тертя і зношування поверхонь. Якщо відомий розподіл нерівностей по висоті і величина зближення, то легко визначити, на яку глибину заглибляться різні нерівності. Через це, питання про визначення зближення і фактичної площі дотику являється цілком важливим при розгляді тертя та зношування.

Дві накладені поверхні доторкаються одна до одної в трьох точках. Під впливом прикладеного навантаження окремі контактуючі нерівності стискаються: через них передається навантаження на хвилястий на півпростір, що викликає стискання цих хвиль. Під впливом навантаження дві поверхні зближуються і все більша і більша кількість окремих виступів доторкаються одна до одної; одночасно розширюється і площа стискання вершин хвиль (нерівностей).

Розрізняють 3 підходи у визначенні площі контакту:

1. Номінальну (геометричну) площу контакту – геометричне місце всіх можливих фактичних площадок контакту; Площа контакту характеризується розмірами дотичних тіл;

2. Контурна площа контакту, що являє собою площу, що утворена об'ємним стисканням тіл, що обумовлено хвилястістю. На контурній площі

розташовані фактичні площі контакту. Величина контурної площі залежить від геометричного обрису, так і від навантаження;

3. Фактична (фізична) площа дотику являє собою суму фактичних малих площадок контакту тіл. Фактична площа являє собою функцію геометричного обрису окремих нерівностей і діючого на неї навантаження. Відносна площа контакту при наявності хвилястості визначається трьома безрозмірними параметрами: відношення удільного навантаження до модуля пружності, що характеризує навантаження і властивості матеріалу; відношенням радіуса виступу до максимальної висоти і відношенням радіуса хвилі до її довжини.

Для визначення площі контакту використовують три групи методів:

- 1 - у випадку коли обидві площини не прозорі (реальні);
- 2 - у випадку коли обидва є прозорими;
- 3 - у випадку коли одне із тіл являється прозорим.

Для визначення площі контакту використовують флуоресцентні фарби, мідні сплави, срібні плівки.

Дослідження процесу зношування. Фрикційні властивості залежать від природи матеріалів так і від конструкції вузла тертя і режиму роботи. Фактори, які впливають на тертя та зношування поділяють на три групи:

1. Фізико-механічні властивості матеріалів;
2. Навантаження, швидкість та температура, що виникає в процесі тертя тобто експлуатаційні фактори які впливають на фізико-механічні властивості матеріалів;
3. Конструкційні властивості матеріалів до яких відносять умови тепловідводу, розподілення температурних полів, епюра навантажень, зазори між спряженими деталями.

Відповідно факторів, які впливають на тертя та зношування дослідження потрібно проводити в чотири етапи:

1-етап. Фізико-механічні випробування матеріалів, що включають визначення їх властивостей та прогнозування фрикційних властивостей;

2-етап. Дослідження матеріалів на тертя та зношування в лабораторних умовах, що включає оцінку впливу фізико-механічних властивостей на фрикційні властивості матеріалів.

3-етап. Стендові випробування на зношування, що включає оцінку впливу конструкторських особливостей вузла тертя.

4-етап. Натурні випробування включають визначення взаємного впливу різних умов, оцінки надійності і довго тривалості роботи механізму в цілому.

Оцінка фізико-механічних властивостей матеріалів пар тертя. Сучасний стан теорії зношування дозволяє прогнозувати фрикційні властивості матеріалів, виходячи фізико-механічних властивостей матеріалів.

Твердість. Визначає величину взаємного вдавлювання поверхонь між собою, деформуючи одна одну. Для фрикційних матеріалів більш м'який матеріал повинен окремо більше вдавлюватись на жорсткий матеріал.

Адгезійні властивості матеріалів необхідний для визначення коефіцієнта тертя.

Класифікація лабораторних установок для випробування на зношування. Машини розділяють на дві групи: поступового руху та поступово-обертового руху. В середині кожного класу машини розділяють на дві групи: машини торцевого тертя та машини тертя по утвореній поверхні. При поступовому та поступово-обертовому русі характеристики руйнування суттєво відрізняються. В результаті поступально-обертового руху виникає значне зношування [42].

Методи вимірювання зношування. Найбільш поширеним методом визначення зношування є метод визначення лінійного зношування. Вимірюючи розміри елементів пар тертя до та після випробувань і визначення лінійних розмірів, судять про лінійних зношування. Для вимірювання лінійних розмірів користуються мікрометрами, контактними приладами з індуктивними або дротяними датчиками і безконтактними з пневматичними датчиками. Також, при вимірюванні зношування до деталі прикріплюють голку профілографа для вимірювання зношування в часі. Також, зношування можна визначати через

втрату ваги. Вагове зношення виражають в г/см^3 тоді легко перейти від лінійного до вагового зношування.

Інструменти для вимірювання, мікрометри, індикаторні прилади використовують для визначення величини зношування. Похибка для невеликого зносу буває відносно великою, а іноді такою як і величина зношування.

Метод штучних баз. В основі методу закладено визначення величини лінійного зношування по зміні розмірів звужувального заглиблення, який був зроблений на зношуваній поверхні, профіль якої відомий. Такі заглиблення мають вигляд піраміди або конуса, пробурене конічне заглиблення, шліфувана лунка, витирання, вирізання. Всі ці методи об'єднані в метод штучних баз, який включає метод відбитків, метод вирізання лунок та ін.

Метод відбитків. Базується на вимірюванні твердості вдавлуванням алмазної піраміди або іншого індентору в поверхню для якої необхідно визначити зношування. Для визначення зношування необхідно вимірювати діагональ, розміщену перпендикулярно до напрямку ковзання.

Для гідроабразивного зношування була розроблена установка ПВ-12, яка дозволяла проводити експерименти при різних кутах атаки, зразок закріплюють на диск до якого кріпляться патрубки, що мають у верхній частині сопла. Всередині патрубка розміщена пружина по якій рухаються абразивні частинки з водою. Далі суспензія рухається по горизонтальним трубам і витікає із сопел. Зносостійкість визначається відношенням часу дії до зношеного матеріалу. При застосуванні кварцового піску для дослідження зношування встановили залежність, що гідроабразивна зносостійкість металів прямо пропорційна твердості. Тверді вольфрамові сплави піддаються малому гідроабразивному зносу при низькому вмісті кобальту.

Метод визначення зношування прошарком абразивних частинок шляхом тертя зразка об внутрішню поверхню обертального кільця при наявності абразивної суспензії. Широке застосування знайшов метод який включає ковзання абразиву між роликком та плоским зразком. Основними параметрами, які визначають тертя по абразивному шару: схема, зусилля, швидкість і шлях тертя;

твердість матеріалу абразиву, розмір зерен, кількість абразиву, матеріал пари тертя, матеріал еталонного зразка; конфігурація і розмір досліджуваного зразка; конфігурація і розміри досліджуваного зразка; склад охолоджувальної рідини.

В розробці методу оцінки зносостійкості матриць при терті по абразивному шару був проведений відповідний цикл досліджень. В якості матеріалу еталонного зразка використовували чисту мідь. Притир виготовляли з сірого чавуну шляхом механічної обробки. Абразивом слугує електрокорунд. Абразивна суспензія вводиться в обертальну чашу певної маси порошку електрокорунду і об'єму води. Перед початком випробувань вимірюють довжину зразка за допомогою мікрометра. Випробування виконують експериментальним шляхом і контролюють кількість обертів по числу обертів кільцевого притира при умові, що мінімальний знос по довжині дорівнюватиме 0,2 мм. Лінійний знос визначають при повторному вимірюванні. Інтенсивність зношування визначається відношенням величини абсолютного зношування до пройденого шляху. В результаті експериментів метали по зносостійкості розмістились в порядку зміни твердості.

В процесі зношування матеріалів вільним абразивом зерна здійснюють складний рух: ковзання, обертання, перекочування, поки не займуть стійкого положення. Якщо зерно закріпиться в притирі або сили зв'язку між зернами будуть перевищувати сили їх зчіплювання з матеріалом, то в цьому випадку можлива не тільки пластична деформація, яка пов'язана з вдавлюванням зерен в матеріал, але й мікрорізання поверхневого шару.

Для вивчення зносостійкості матриць їх виготовляли шляхом гарячого пресування каркаса та зв'язки, просочення каркаса зв'язкою. В якості каркаса застосовують карбід вольфраму. При просоченні дрібнозернистого карбіду вольфраму міддю, при бурінні дрібні частинки оголюються і випадають. При литті карбіду вольфраму зносостійкість складає (10 км/мм), а при гарячому пресуванні (0,7 км/мм). В наслідок тертя по абразивному прошарку виникає рівномірне конхкоїдальне руйнування матриці. В результаті заглиблення абразивних зерен у матрицю в ній утворюються маленькі кратероподібні

заглиблення та борозни. В матриці в якій містяться зерна реліту подібно зернам алмазу закривають примикаючи до нього ділянки матриці від інтенсивного зношування. Зносостійкість твердих сплавів, що містять 3-4% кобальту, є невисокою через крихкість. Тверді сплави з 15-20 % вмісту кобальту мають в 4 рази меншу зносостійкість ніж ВК6. Велике зношування пов'язане з вмістом кобальтової фази. Зношування матеріалів вільним абразивом підтверджує положення, що механізм абразивного зношування визначається співвідношенням твердості абразиву та досліджуваного матеріалу. Одним з основних факторів, що це визначає є міцність абразивних зерен.

Метод визначення зношування закріпленими абразивними частинками. Для визначення застосовують шліфувальні шкурки та круги. Дослідження проводять на плоских та циліндричних поверхнях. Складністю випробувань є те що необхідно підбирати шліфувальні круги по твердості. Після експериментів круг необхідно корегувати для видалення продуктів зношування, встановлення геометрії та різальної здатності поверхні тертя. Інтенсивність зношування об шліфувальний круг перевищує зношування у виробництві. Тому даний метод застосовується для визначення зношування в екстремальних умовах. Метод визначення зношування об шліфувальну шкурку застосовують частіше, оскільки він дозволяє отримати більш достовірні дані і також може бути використаний при фізико-хімічному аналізі. Однак даний метод має цілий ряд недоліків: складність різання та монтажу шкурки, випробування проходить не по всій площі шкурки та обмеженість швидкості тертя. Для матриць (зв'язок) при визначенні зношування використовують машину АИ-1, де в якості абразиву використовують шліфувальні шкурки. Шкурку натягують на валик. Максимальна швидкість тертя зразка 2 м/с. Дослідження на вплив швидкості тертя на інтенсивність зношування проведені на електрокорундовій шкурці. Тиск на зразку –1 МПа. Зношування ведеться при швидкості – 1 м/с. Також була проведена оцінка впливу розміру абразивних зерен на інтенсивність зношування. Зусилля, яке прикладене до зразка рівномірно розподіляється на різну кількість зерен в залежності від зернистості абразиву. Також досліджувався вплив тиску прикладений на зразок. Встановлено, що

інтенсивність зношування металів змінюється прямо пропорційно прикладеному тиску на зразок.

Суть методу закріпленого абразиву полягає в терті зразка по абразивній шкурці. Для точних даних по зношуванні досить ефективним є зіставлення зносостійкості матеріалів в різних умовах. Порівнюючи результати зносостійкості металів, матриць бурового інструменту та твердих сплавів, при випробуванні на вільному та закріпленому абразиві, показали що між рядами значень зносостійкості повністю подібне, що характеризується збереженням порядку розміщення матеріалів. Кількісна характеристика зносостійкості металів та матриць при терті по абразивній про слойці може перевищувати на порядок зносостійкість цих же матеріалів при терті по абразивній шкурці. Зносостійкість твердих сплавів відрізняється приблизно в 1,5-3 рази. При збільшенні тиску зношування всіх матеріалів збільшується.

На рис. 1.4 зображено характер зношування матричних матеріалів, для яких характерно орієнтована у напрямку руху паралельні лінії – подряпини. На матриці з наповнювачем видно зони перекриття, що свідчить про вибіркове зношування. Найбільший вплив на зносостійкість матричних матеріалів має наповнювач, що надалі зацікавлює для визначення впливу розміру частинок і концентрації. З рис. 56 видно, що зі збільшенням розміру частинок наповнювача з 2 до 80 мкм інтенсивність зношування різко знижується. Подальше збільшення розміру частинок наповнювача суттєво не впливає на зносостійкість матеріалів. Також, встановлено, що зі збільшенням частинок матеріалу наповнювача та концентрації, кріплення алмазів стає набагато гіршим.

Метод зношування по монолітному абразиву, який включає прорізку прямолінійної канавки із застосуванням зразка у вигляді диска; при точінні керна гірської породи; із застосуванням круга із породи при зовнішньому різанні зразками; із застосуванням декількох зразків по схемі повздовжнього фрезерування. При проходці алмазу він підіймає дрібнозернисті частинки породи, що обумовлює вдавлення матриці в моноліт гірської породи. При першій проходці матриці по гірській породі руйнується деяка частинка породи і

утворюється борозенка, при повторні проходці відділяється більший об'єм породи. Негативний вплив на матрицю має кварц. В зоні контакту гірської породи та матриці можуть виникати температури до 800-1200 °С. Більшість матриць при нагріванні до 450-650 °С втрачають свої властивості і інтенсивно зношуються, тому в якості композиційного матеріалу повинні застосовуватись тверді сплави. При нагріванні твердого сплаву до температури 800 °С його мікротвердість стає такою ж або навіть нижчою ніж кварцу, тому кварц на поверхні твердого сплаву може залишати подряпини. Допустимим нагрівом для твердого сплаву є температури до 500-600 °С. Зменшення температуру в зоні контакту можна досягнути за рахунок зміни конструкції робочих параметрів, обмеження в режимі роботи робочого інструменту. Також необхідно враховувати теплопровідність алмазів, які здатні по різному відводити тепло. При підборі методу дослідження зношування матеріалу необхідно враховувати чутливість до фазових та структурних переходів. Існує положення, що існує критична швидкість різання при перевищенні якої відбувається інтенсивний знос. Максимальна швидкість для твердих порід становить – 0,5 – 2,5 м/с, для м'яких – 1,6-10 м/с. Теплове зношування з'являється при швидкості 2–2,5 м/с. Зносостійкість алмазотвердосплавних композицій в 30-200 разів вище зносостійкості твердого сплаву.

Особливості зношування алмазних матеріалів. На думку Masood Mostofi [43] відточення алмазів відбувається за допомогою виробленої стружки. Зношування матриці вивільняє нові алмази, які розташовані пошарово в металевій матриці з карбиду вольфраму або інших металів та сплавів. Вивільнені гострі алмази збільшують продуктивність інструменту. Поведінка алмазної металевої матриці при бурінні є складною і її важко пояснити. Поведінка пов'язана з параметрами буріння, матеріалу з якого складається матриця, концентрація і розмір алмазів, породи, охолоджуючої бурової рідини. В даній роботі автори розкладають процес зношування на 3 фази: полірування, тріщино утворення та загострення, змінюючи при цьому глибину різання та навантаження на долото. До зношування причетні дві форми фрикційних контактів алмаз/порода і

матриця/порода. При контакті між матрицею і породою є ще третя складова, яка впливає на зношування - це стружка породи та матриці.

Оцінка зношування бурових алмазних вставок. Автори статті [44] вимірюють зношування двома методами: «прямий» та «непрямий». За прямим методом інтенсивність зношування обчислюється як перша похідна зношування за довжиною пробуреного рейсу. Для цих вимірювань автори припускають, що для першої фази зношування типовим є період приробітку – це період коли поверхнева мікрошорсткість на поверхні контакту видаляється при цьому контактні поверхні змінюють свій розмір та температуру. Далі настає квазістабілізована фаза із меншою величиною зношування. Зменшене зношування пов'язане з тим що після першої фази в якій відбувається приробіток і збільшується питома енергія буріння, знижується питома енергія і що долото здатне працювати при заданих початкових умовах Третя фаза характеризується високою інтенсивністю зношування .

В роботі Ісонкіна О.М. була проведена оцінка гранулометричного складу шламу зруйнованої породи і вплив частинок шламу на робочу поверхню бурової коронки. На думку Ісонкіна О.М. частинки шламу мають сферичну форму і руйнуються крихким руйнуванням та пов'язані з механічним переподрібленням гірської породи та матриці, а матриця руйнується в наслідок гідро абразивного зношування в результаті пластичного відтиснення матеріалу матриці через пружно-пластичні деформації.

Автор [45] провів дослідження зношування алмазу. Механічне зношування алмаза відбувається в результаті сколювання мікрозерен. Абразивне зношування відбувається при температурі 600 К так як в породах є оксиди заліза, який взаємодіє з алмазом, що викликає більше зношування. Через шорсткість поверхні гірничої породи на забої виникають термодинамічні навантаження на вершинах алмазів. З зображень видно, що алмаз має крихкий характер руйнування, воно відбувається в наслідок утворення сітки дефектів на їх поверхневому шарі. В алмазі утворюються мікротріщини. В подальшому фрагменти чешуйчатої форми в результаті мікросколювання мають розмір від 2-4 мкм і більше.

1.3.2 Дослідження механізмів зношування КАМ

Один з основних критеріїв вибору хімічного складу алмазовмісної матриці для породоруйнівного інструменту та режиму експлуатації бурового інструменту полягає в тому, наскільки матриця стійка до зносу, що вимагає врахування абразивних властивостей гірської породи.

Детальне вивчення механізму взаємодії одиничного породоруйнівного алмазного індентора з гірською породою дає змогу прогнозувати ступінь ефективності роботи бурового інструменту з високою зносостійкістю при підвищенні його механічної швидкості.

Матриця (зв'язка) породоруйнівного інструменту зношується контртілом (гірською породою, або третім елементом, що розташовується між ними (частинками шламу) [46].

Характерну зміну зони контакту інструменту, оснащеного породоруйнівними елементами зі «Славутича», з вибоєм і, що безпосередньо впливає на зносостійкість матриці, спостерігав Вовчановський І.Ф.[20]. Залежність швидкості буріння алмазовмісного породоруйнівного елемента із композиційного алмазовмісного матеріалу «Славутич» від навантаження представлена на рис. 1.1. При незначних навантаженнях в області графіка I між торцем інструменту та вибоєм має місце зазор. При збільшенні навантаження (в області графіка II) відбувається заглиблення всіх алмазних зерен на висоту їх у масив гірської породи, що приводить до безпосереднього контакту вибою з матрицею інструменту. При значних навантаженнях (в області графіка III) Вовчановський І.Ф. представляє руйнування гірської породи як алмазним зерном, так і матрицею.

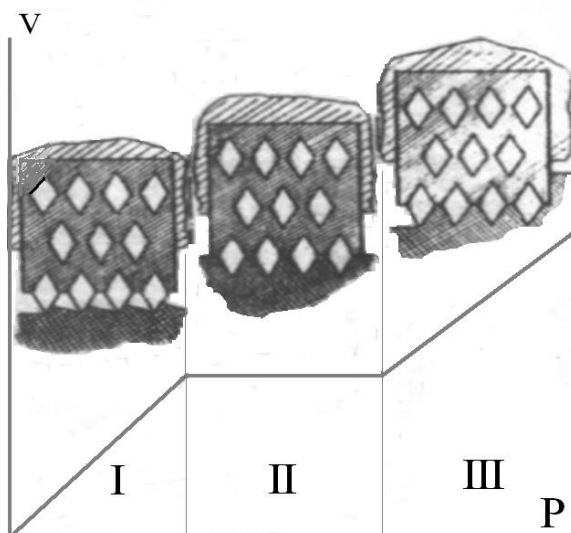


Рис. 1.1 - Схема взаємодії алмазів з гірською породою в елементі з КАМ «Славутич», згідно з Вовчановським І.Ф.: v – механічна швидкість інструменту, I, II, III – зони навантажень P .

Експериментальні дослідження зносостійкості породоруйнівних елементів в залежності від зміни форми торця елементів зі «Славутича» у буровій коронці при проходженні по габро було проведено в ІНМ ім. В.М. Бакуля Семеновим О.І. [49]. Випробування чотирисекторних коронок діаметром 59 мм, оснащених елементами з формою торця типів: I – зі сферичним торцем, II – з клиновидним торцем, III – з торцем у вигляді скошеного циліндра, рис.1.2,а показали, що оптимальною в плані підвищення зносостійкості інструменту і як наслідок, збільшення його швидкості є елемент з формою торця – III. Оптимальною установкою елементу III є установка з напрямком ріжучої кромки під кутом – 45° до лінії різання, рис. 1.2,б, механічна швидкість коронки становила – 3,6 м/год. Виготовлення породоруйнівних елементів було недостатньо технологічним.

Як показали дослідження Ципіна Н.В. [2], проведені в ІНМ ім. В.М. Бакуля зношування матриці бурової коронки залежить від абразивних властивостей частинок гірської породи і зносостійкості матриці.

Окрім якісної характеристики руйнування алмазовмісного матеріалу матриці бурового інструменту : характеру зносу, його фізичної природи, інтерес, також, представляє кількісна міра зношування матриці, а саме, інтенсивність.

Автори [48] для визначення інтенсивності зношування зразків бурових коронок використовували співвідношення між масою зношених зразків та об'ємом зруйнованої гірської породи. При цьому не проводилося розподілу ваги зношених або відпрацьованих алмазів та відповідного матеріалу матриці.

Ефективним вважається процес руйнування гірської породи при мінімізації дрібнодисперсних фракцій шламу. Автори [49] для визначення питомої поверхні високодисперсних матеріалів використовували адсорбційний метод БЕТ (Брунауер – Еммет – Таллер), суть якого полягає у визначенні кількості речовини, що адсорбується на поверхні твердого тіла. Вимірювання площі питомої поверхні бурового шламу проводилось статистичним манометричним методом на приладі «Акусорб–2100» фірми «Культренікс» (Франція), в якому використовується адсорбція азоту при низьких температурах.

Для більш тонких аналізів можуть застосовуватися методи дисперсійного аналізу: седиментометрія, центрифугування, адсорбція та інші [50].

Отже, руйнування гірської породи, згідно вищевикладеним, відбувається завдяки руйнуванню зв'язків між зернами, що складають гірську породу та самих зерен хаотичним чином, які після відколювання від масиву гірської породи у вигляді кулеподібних частинок зношують матрицю інструменту, незалежно від її хімічного складу (Cu+Sn або WC+Co+Cu,) та режимних параметрах.

Список використаних джерел до 1 розділу

1. Галицкий В.Н., Курищук А.В., Муровский В.А. Алмазно-абразивный инструмент на металлических связках для обработки твердого сплава и стали. - Киев: Наук.думка, 1986, 144 с. 35
2. Цыпин Н.В. Износостойкость композиционных алмазосодержащих материалов для бурового инструмента.// Киев: Наук.думка, 1993, 191 с. 34
3. Бондарев Е.К., Рубан Ф.Г., Захаренко И.П. и др. Исследование свойств керамической связки шлифовального инструмента из кубонита для обработки закаленных сталей без охлаждения // Абразивы. 1979, № 1, С. 4–6. 36

4. А.с. 1641599 СССР, МКИ В 24 D 3/14. Стеклокерамическая связка абразивного инструмента /В.Л.Овчинников, Е.К.Бондарев, М.Ф.Форносов и др. // Опубл. 15.04.1991. Бюл. № 14. 37
5. Семко М. Ф., Грабченко А. И., Узунян М. Д. Влияние связки на работу алмазного круга // Машиностроение. Киев, 1965, № 5, С. 3–8. 38
6. Бондарь И.В. Закономерности формирования металлизированных покрытий на алмазных порошках при вакуумном напылении // Дисс. канд.техн.наук. 05.02.01.- К.: ИСМ им.В.Н.Бакуля АН Украины. 1991, 203 с. 39
7. Семко М. Ф., Грабченко А. И., Узунян М. Д. Влияние связки на работу алмазного круга // Машиностроение. Киев, 1965, № 5. С. 3–8. 50
8. Шатохін В.В. Закономірності зв'язку між довговічністю утримання алмазних зерен при циклічному навантаженні і фізико-механічними властивостями металевих зв'язок: Дисертація. Київ. 2010, 165 с.
9. Н.А. Бондаренко, А.Н. Жуковский, В.А. Мечник. Основы создания алмазосодержащих композиционных материалов для породоразрушающих инструментов. - К. : [ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины], 2008, 456 с.
10. Федорченко И.М., Францевич И.Н., Радомысельский И.Д.// Справочник. - Киев: Наукова Думка, 1985, 624 с. 2
11. Надтверді матеріали. Одержання та застосування // Монографія в 6 томах. Київ: Інженерно-виробничий центр «АЛКОН» НАН України. – 2003. 3
12. Вакуумная металлургия // М.: Металлургиздат, 1962. 4
13. Андриевский Р.А. Свойства нанокристаллических тугоплавких соединений //Порошковая металлургия. 1993, №4, С. 4. 5
14. Харченко О. В., Прокопів Н. М., Сердюк Ю.Д. До питання структури твердих сплавів групи WC-Co після спікання у газовому середовищі. //Сверхтвердые материалы. 2010, №2, с. 96–98 с.6
15. Петраш К. М. Закономірності керованого реакційного спікання, процесів структуроутворення та формування властивостей жаростійких сплавів на основі нікелю: Інститут проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України, Київ, 2019, 221 с. [7,8]

16. Майстренко А.Л., Кулич В.Г., Ткач В.Н. Закономерности формирования высокоплотной структуры самосвязанного карбида кремния // Сверхтвердые материалы. 2009, №1, с. 18 - 35. 9

17. Майстренко А.Л., Кулич Л.Г., Гаргин В.Г. Влияние условий получения композитов на свойства содержащихся в них алмазных зерен // Тезисы трудов конференции: Влияние высоких давлений на структуру и свойства сверхтвердых материалов. Киев, ИСМ НАНУ, 1985, с. 37-42. 11

18. АС № 356910. Способ изготовления изделий. / Бакуль В.Н., Билык И.И., Бронштейн Д.Х., Вовчановский И.Ф., Цыпин Н.В. по заявке № 1500621 от 23.02.1968 г. 12

19. АС № 514482 (Патент США №4164527) на изобретение Госплана УССР . Способ получения изделий на твердосплавной основе. / Бакуль В.Н., Билык И.И., Бронштейн Д.Х., Вовчановский И.Ф., Цыпин Н.В. по заявке № 1500393 от 29.11.1968 г., Зарегистрировано в Гос. реестре изобретений СССР 22.01.1976 г., Опубликовано 25.02.79., Бюл. №7. 13

20. Вовчановский И.Ф. Породоразрушающий инструмент на основе Славутича для бурения глубоких скважин. - Киев: Наук.думка, 1979, 205 с. 14

21. Бугаев А.А., Лившиц В.Н., Иванов В.В. и др. Синтетические алмазы в геологоразведочном бурении. – Киев: Наук.думка, 1978, 232 с. 16

22. Novikov N., Trefilov V., Maystrenko A., Kovtun V. Structure & Properties of Shock-Wave Sintered Diamond Composites // Industriel Diamond Review, Vol.53, N5, 1993, p. 278-281. 17

23. А.с.1831845(СССР). Способ получения композиционных алмазосодержащих материалов / Н.В. Новиков, В.И. Трефилов, В.И. Ковтун, А.Л. Майстренко // Опубликовано 11.06.90. 18

24. Лукаш В.А., Марков А.И. Воздействие ударно-волновой обработки на свойства синтетических алмазов // Сверхтвердые материалы. 1990, №5, с. 22-27. 19

25. Райченко А.И. Основы процесса спекания порошков пропусканием электрического тока // М.: Металлургия, 1987, 128 с. 20

26. Andrushchik L.O. et al., "Formation of interparticle contacts in electric resistance sintering of metallic powders," *Metallofiz.*, 13, №. 10, 110-121 (1991). 21
27. U.S. Patent No. 3250892. Inoue K. APPARATUS FOR ELECTRICALLY SINTERING DISCRETE BODIES (OCR) /Issue Date: May 10, 1966 22
28. Groza J. Field Activated Sintering // *ASM Handbook*, Vol. 7.— Powder Metallurgy, American Society of Materials, Materials Park, OH, 1998, 583–589. 23
29. Groza J., Zavaliangos A. Sintering activation by external electrical field, *Materials Science and Engineering A*. 2000, 287, №2, P. 171–177. 24
30. А.с. 894957 (СССР) Андреев В.Д. Аносов Ю.Л. Переяслов В.П., Манжелев И.В. Сесилов А.И. Коломиец В.П. Способ получения композиционных алмазосодержащих материалов. // от 01.09.81. 25
31. А.с. 999358 (СССР). Переяслов В.П., Коломиец В.П. Манжелев И.В. Способ получения композиционных алмазосодержащих материалов // от 21.10.82. 26
32. А.с. 999359 (СССР) Переяслов В.П., Коломиец В.П. Манжелев И.В. Устройство для получения композиционных материалов // от 21.10.82. 27
33. А.с. 1021081 (СССР) Переяслов В.П. Способ получения алмазосодержащих изделий с тугоплавкой матрицей и устройство для его осуществления. // от 01.02.83. 28
34. Андреев В.Д., Переяслов В.П., Волошин М.Н. Экспериментальное исследование ударного низкоскоростного сжатия конструкционных материалов, применяемых в технологическом узле установок электроимпульсного спекания // *Проблемы прочности*. 1985, №2, С.33-36. 29
35. Modern hardmetals : Collection of proceedings / ed. by N. Novikov. Kiyv, 2008. 344 p.
36. Field-Assisted Sintering Technology / Spark Plasma Sintering: Mechanisms, Materials, and Technology Developments", By O. Guillon et al., *Advanced Engineering Materials* 2014, DOI: 10.1002/adem.201300409, <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/adem.201300409/epdf>

37. Spark Plasma Sintering of Nanometer Sized $\text{ZrO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-TiC}_{0.5}$ / $\text{N}_{0.5}$ Composites, K. Vanmeensel, S.Y. Kandukuri, J. Hennicke, G. Anne, D. Jiang, J. Vleugels, and O. Van der Biest, EMRS 2004, September 6-10, 2004, Poland. SUMITOMO REVIEW-Spark-Plasma-Sintering.pdf - Yimgxa.yimg.com/.../SUMITOMO%252BREVIEW. 32
38. Mechanism of liquid-phase metal infiltration into pyridine-containing polymeric thin films / A. E. Paiva et al. *Materials Letters*. 2022. Vol. 313. P. 131682. URL: <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2022.131682>.
39. Deep reactive ion etching (Deep-RIE) process for fabrication of ordered structural metal oxide thin films by the liquid phase infiltration method / M. Mizuhata et al. *Microelectronic Engineering*. 2008. Vol. 85, no. 2. P. 355–364. URL: <https://doi.org/10.1016/j.mee.2007.07.006>.
40. Aliofkhazraei M., Ali N. Reference Module in Materials Science and Materials Engineering. 7th ed. Elsevier, 2014. URL: <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-096532-1.00707-X>.
41. A galvanic-chemical method for preparing diamond containing coatings / M. S. Sataev et al. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. 2015, Vol. 480, P. 384–389. URL: <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2014.09.014>
42. Kragelsky I. V., Dobychin M. N., Kombalov V. S. Friction and Wear: Calculation Methods. Elsevier Science & Technology Books, 2013.
43. Wear response of impregnated diamond bits / M. Mostofi et al. *Wear*. 2018. Vol. 410-411. P. 34–42. URL: <https://doi.org/10.1016/j.wear.2018.04.010>
44. Assessment of Wear of Diamond Core Drilling Bits / V. Krúpa et al. 17th International Carpathian Control Conference (ICCC 2016). 2016. P. 396–400.
45. Исонкин А.М. Гранулометрический состав шлама как показатель эффективности разрушения горной породы /А.М. Исонкин, Р.К. Богданов, А.П. Загора //Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения: Сб. науч. тр. – К.: ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины, 2003, Вып.6, С. 90 – 95.

46. J. Konstanty Diamond bonding and matrix wear mechanisms involved in circular sawing of stone Industrial diamond review. 2000, P.55, 65.

47. Семенов А.И. Износостойкость породоразрушающих элементов различных геометрических форм и эффективность их применения в буровом инструменте // Разрушение горных пород инструментом из сверхтвердых материалов. – К.: ИСМ АН УССР. 1980, С.116–119.

48. Исонкин А.М. Влияние механоактивирования шихты WC+Co+Cu наноалмазами на структуру и свойства материала матрицы буровых коронок / А.М. Исонкин, Г.Д. Ильницкая, М.А. Цысар // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент–техника и технология его изготовления и применения: Сб. науч. тр. – К.: ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины, 2015, Вып. 18, С. 103–109.

49. Исонкин А.М. Определение удельной поверхности бурового шлама в зависимости от конструктивных особенностей алмазных коронок и параметров режима бурения / Исонкин А.М., Р.К. Богданов, В.Л.Гвяздовская. – Сб. науч. тр. – К.:ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины, 1988, С.54–59.

50. Баранов В.А. Разрушение пород природным и технологическим путем/ В.А. Баранов //Сучасні ресурсоенергозберігаючі технології гірничого виробництва. – Науково-виробничий журнал: Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського. – Кременчук: КрНУ, 2009, Випуск 1(3), С. 34 – 40.

РОЗДІЛ 2.

МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ КОМПОЗИЦІЙНИХ АЛМАЗОВМІСНИХ МАТЕРІАЛІВ

2.1 Метод інтенсивного електроспінання КАМ

Для даного методу спочатку проводять попереднє холодне одноосне двобічне пресування змішаної суміші зв'язки на основі Ni-Sn та алмазів під тиском від 300 до 500 МПа, а потім проводять нагрівання за допомогою прямого пропускання електричного струму промислової частоти щільністю 20-25 А/мм² в технологічному вузлі [51], що зображений на рис. 2.1.1 під тиском 300 МПа.

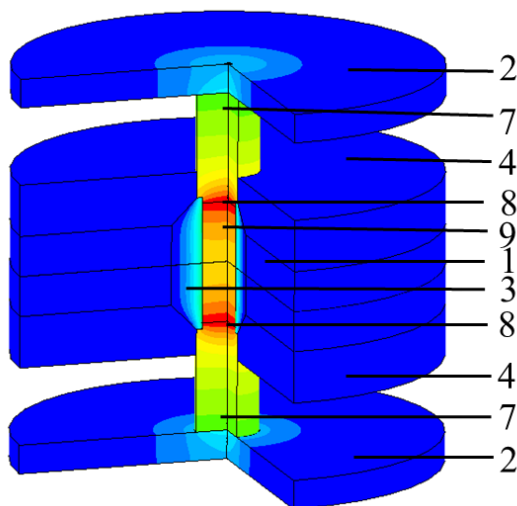


Рис. 2.1.1 Технологічний вузол для електроспінання КАМ: 1— матриця; 2 — наковальня; 3 — контейнер; 4 — гумова прокладка; 5 — обойма; 6 — ізолятор; 7 — пуансон; 8 — електровідвідний матеріал; 9 — заготовка

Консолідація та ущільнення зразків можуть відбуватися в присутності рідкої або твердої фази. Цей процес відбувається під високим тиском, а нагрівання матеріалу здійснюється за допомогою проходження електричного струму через ущільнений матеріал, що дозволяє значно знизити час та рівень нагрівання заготовки. Також, це дає можливість зберегти властивості алмазу на

високому рівні та підвищити якість КАМ. Для створення тиску на торцях матриці використовується пневматичний прес. [52]

2.2 Метод грануляції алмазів

Метод грануляції алмазних зерен полягає в накочуванні невеликих порцій шихти металу із застосуванням епоксидної смоли фірми «АЛМАЗ», як зв'язуючий компонент. Епоксидна смола має високу адгезію до металів, та низьку температуру плавлення (90 °С). Для грануляції застосовували алмази марки АС300 зернистістю 200/160, 400/315, 500/400, 630/500.

Процес полягає в тому, що шихту наносять механічно на алмази, а при необхідності виготовлення великої кількості гранул, застосовують барабанний гранулятор для перемішування шихти. Співвідношення алмазів до шихти становить 1:3,5. При великій в'язкості розчину відбувається помітне злипання гранул, при меншій в'язкості зв'язки – шихта неміцно закріплюється на поверхні гранул, тому необхідно підібрати оптимальний об'єм епоксидної смоли в залежності від шихти, яку наносять на гранули. Після накатки, гранули поміщають в сушильну шафу і при температурі 150-200 °С витримують 1 годину. Останній етап, просіювання гранул через сита (ТУ-8378-004-00321000-2007) для видалення зайвої шихти та гранул великого розміру.

В результаті отримуємо гранули (рис. 2.2.1) з однорідним складом, розміром та високою міцністю. Шихта повністю накочується на гранули і в кінцевому результаті, через просіювання відсутня зайва шихта.



Рис. 2.2.1 Гранули з нанесеним на АС 400/315 хрому після просіювання через сито

Виготовлення КАМ з гранульованими алмазами забезпечує більш рівномірне розміщення компонентів в металевій зв'язці для виготовлення високопродуктивного породоруйнівного інструменту та створення на межі поділу алмаз металева зв'язка міцного хімічного зв'язку.

2.3 Рентгено-фазовий аналіз

Одним із сучасних і простих методів визначення фазового складу КАМ є рентгенівський. В основу методу покладено явище дифракції рентгенівських променів на кристалічній решітці. Кожна фаза має свою кристалічну решітку. Під фазою розуміють частину речовини, відокремлену від інших його частин межею поділу, при переході через яку, властивості змінюються стрибком.

Для виконання якісного і кількісного фазового аналізу використовується сучасна рентгенівська апаратура - рентгенівські дифрактометри. Вона дозволяє проводити його швидко і з великою точністю.

Рентгено-фазний аналіз виконували на сканувальному електронному мікроскопі ZEISS EVO 50 XVP, який укомплектований енергодисперсійним аналізатором рентгенівських спектрів Ultim Max 100 (Oxford Instruments) та дифрактометром відбитих електронів HKL CHANNEL 5 (Oxford Instruments). Прилад забезпечує рентгенівський мікроаналіз частинок/фаз розміром від 0,1 мкм при чутливості порядку 0.1% мас і збільшенні від 5 до 500 000x [53].

2.4 Вимірювання теплопровідності КАМ

Здатність відводити тепло на межі розподілу «алмаз-металева зв'язка» є важливою фізико-механічною властивістю КАМ. Для вимірювання коефіцієнта теплопровідності використано метод еталонів, авторами [54]. Зразок розміщують

між холодним та гарячим еталонами. Матеріалом для еталонів слугує армко залізо діаметром 9 мм та висотою 8 мм (коефіцієнт теплопровідності становить 60 Вт/(м·К). В якості охолоджувача, використовують мідний циліндр, а для нагрівання використовують джерело тепла потужністю 60 Вт. Для забезпечення мінімального контактного опору на поверхню зразка, холодного та гарячого еталону наносять теплопровідну пасту (термоінтерфейс), який змочує контактні поверхні.

Між всіма поверхнями встановлено чотири хромель-алюмелеві термопари діаметром 0.2 мм, які фіксують температуру в режимі реального часу. Для визначення коефіцієнта теплопровідності використано показники чотирьох термопар та два еталони. Середнє значення показників термопар T_2 та T_3 є температурою зразка.

Формула для розрахунку коефіцієнта теплопровідності зразка має вигляд (2.4.1):

$$K_x = \frac{K_{et} S_{et} h_x}{2 S_x (T_2 - T_3)} \left(\frac{T_1 - T_2}{h_{het}} - \frac{T_3 - T_4}{h_{cet}} \right), \quad (2.4.1)$$

де h_x і S_x – висота та площа поперечного перерізу зразка; h_{het} – висота гарячого еталону; h_{cet} – висота холодного еталону; S_{et} – площа поверхні поперечного перерізу еталонів; K_{et} – коефіцієнт теплопровідності еталона, T_i – показники термопар.

Пристрій для вимірювання теплопровідності складається з АЦП, ПК, нагрівач з ніхромової проволочки та джерелом постійного струму. Відносна похибка вимірювань не перевищує 5 %, враховуючи те, що теплові втрати через бічну поверхню відсутні.

2.5 Гідростатична щільність та пористість КАМ.

Щільність зразків КАМ визначалась методом гідростатичного зважування відповідно ГОСТ 20018-74 на приладі «Axis Hydro». Даний метод полягає у вимірюванні ваги зразка на повітрі, а потім у воді і обчисленні його щільності. В

якості рідини використовують дистильовану воду температури 15-30 °С. Композит повинен бути об'ємом не менше 0,5 см³ та вагою менше 200 г. Точність ваг повинен бути не менше 10⁻³ г. Щільність q , г/см³ визначають за формулою (2.5.1):

$$q = \frac{m_1 q_1}{m_1 - m_2} \quad (2.5.1)$$

де m_1 – маса дослідного зразка, г; m_2 – маса зразка у воді, г; q – щільність дистильованої води при кімнатній температурі г/см³.

Пористість матричного матеріалу визначали згідно ГОСТ 18898-89, враховуючи визначену вище густину (2.5.1) по формулі (2.5.2):

$$f = \frac{d_v(m_1 - m_2)}{d_0 m_1} \quad (2.5.2)$$

де f – залишкова пористість матеріалу; d_0 – теоретична густина матеріалу, г/см³; d_v – густина дистильованої води, г/см³; m_1 – маса дослідного зразка, г; m_2 – маса зразка у воді, г/см³.

2.6 Профілометрія робочих поверхонь (механічна, оптична та лазерна спекл-інтерферометрія)

Дані методи дозволяють дослідити інформацію про мікрорельєф та форму поверхні КАМ та гірської породи, що безпосередньо дасть змогу визначити розмір прошарку між парою тертя «гірська порода» - «КАМ» та який механізм руйнування КАМ задіяний в цих процесах. Параметри шорсткості містяться в ГОСТ 2789-73 «Шорсткість поверхні. Параметри, характеристики і позначення»

2.6.1 Механічна профілометрія

Щуповий метод вимірювання шорсткості поверхні, який здійснюється за допомогою чутливого датчика профілометра, обладнаний гострою та тонкою алмазною голкою. Алмазна голка притисканням контактує з досліджуваною поверхнею. В місцях контакту виникають механічні коливання, які передаються

на датчик, що перетворює механічну енергію коливань на електричний сигнал. Електричний сигнал посилюється перетворювачем та вимірюється, записуючи параметри сигналу повторюючи нерівності поверхні зразків. Також, для запису даних використовують профілометри.

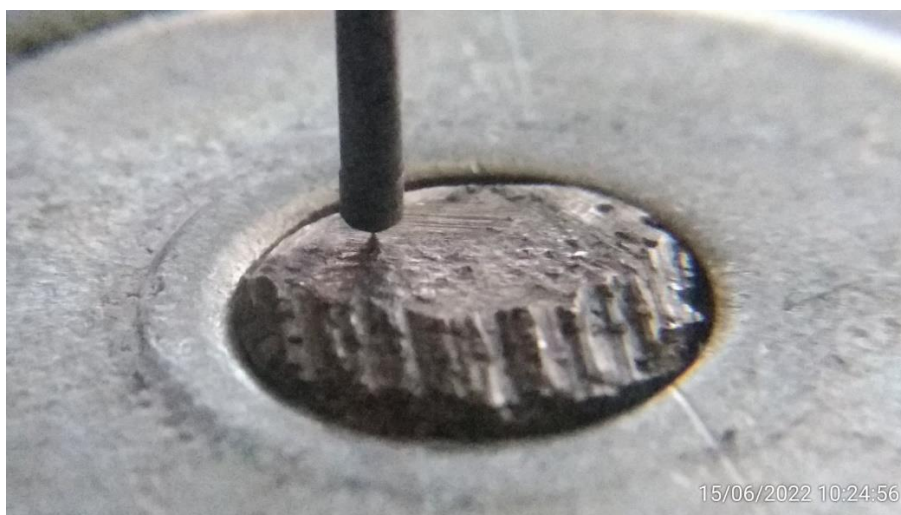
В дослідженнях для вимірювання шорсткості профілю, використовували стенд обладнаний портативним профілографом RT-10 Plus, що зображений на рис. 2.6.1.



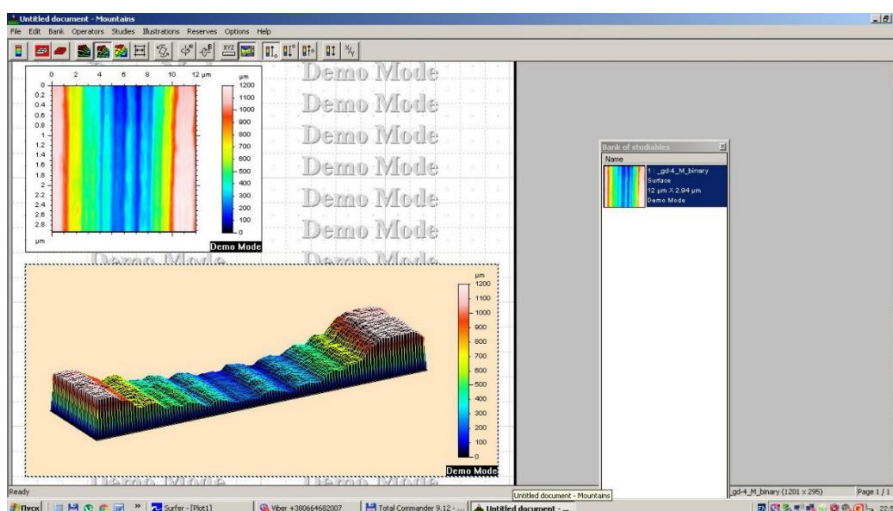
Рисунок 2.6.1 – Стенд для вимірювання шорсткості поверхні: 1-дисплей ПК; 2 – профілометр RT-10 Plus; 3 – зразок.

Спеціальне програмне забезпечення дозволяє будувати профілографу на ПК. Алмазний щуп має радіус 5 мкм та радіус повороту 360°. Похибка вимірювань становить 4%. Даний прилад сертифікований ISO 17025.

Також, вимірювали топографію за допомогою автоматичного інспекційного 3D-сканера з високою точністю рис. 2.6.2 з кроком 0.05 мкм та накладанням профілограм в 3D зображення за допомогою програмного забезпечення Mountains. 3D-сканер розробленої в науково-дослідній (експериментальній) лабораторії вимірювальної техніки НН ММІ «КПІ ім. І. Сікорського».



а



б

Рис. 2.6.2 Вимірювання топографії поверхонь за допомогою автоматичного інспекційного 3D-сканера – а, 3D поверхня після сканування – б.

2.6.2 Оптичний метод

Даний метод дозволяє безконтактно досліджувати експериментальну поверхню, за допомогою відбитого світла поверхні. За допомогою комп'ютера, значно спрощується обробка результатів, що значно покращує дослідження поверхонь.

Для даного методу найбільшого поширення набули методи перетину пучків світла, тіньового перетину, інтерференційний.

Метод світлового перетину полягає в пропусканні світла через щілину під певним кутом. Відбиті промені надходять в окуляр, будуть мати певну інформацію (зображення). Якщо поверхня буде не рівною, то зображення матиме вигляд викривленої лінії, яку виміряють за допомогою мікрометра, що знаходиться на окулярі. Для дослідження методом тіньового перетину на досліджуваній поверхні встановлюють лінійку. Пучок світла направляють так, щоб воно частково падало на ребро лінійки і на зразок на якому буде тінь, за допомогою якої досліджують профіль поверхні [55,56]

Метод інтерферометрії досліджень викривлення ліній, виконуються за допомогою оптичного мікроскопа та інтерферометра.

Також, в даній роботі виконувалось дослідження оптичним методом за допомогою мікроскопа Bausch&Lomb зі співставленням поверхонь гірської породи та КАМ і визначення величини прошарку між ними.

2.6.3 Метод лазерної спекл-інтерферометрії

Дослідження поверхні обробленої гірської породи та відповідної до неї робочої поверхні КАМ виконувались методом лазерної спекл-інтерферометрії. Метод лазерної спекл-інтерферометрії є точним методом визначення шорсткості поверхонь, що поєднує класичний метод інтерферометрії разом із цифровими технологіями опрацювання спекл-інтерферограм. Лазерна спекл-інтерферометрія дає змогу одночасно вести дослідження вздовж та впоперек напрямку спостереження. Однак, досить часто виникають локальні зсуви, які контролюють за допомогою цифрової кореляції спекл-зображень, що дає змогу проводити дослідження зміни деформацій у ширшому діапазоні. Поєднуючи метод лазерної спекл-інтерферометрії з методом цифрової кореляції можна отримати точні тривимірні поля переміщень.

Для дослідів використовували два способи: перший, базується на методі електронної фазозсувної спекл-інтерферометрії, а другий, за допомогою

електронної фазозсувної спекл-інтерферометрії та цифрової кореляції спекл-зображень.

Для методу електронної спекл-інтерферометрії (ЕСІ) використовували схему трикоординатного спекл-інтерферометра із застосуванням інтерферометра Маха-Цендера та два інтерферометри Ліндерця.

Дослідний керн породи Торезького родовища розрізаний повздовж, точили КАМ поверхню гірської породи утворивши прямокутної канавки. Однак, даний метод має складнощі із узгодженням трьох інтерферометрів.

Метод ЕСІ та цифрової кореляції спекл-зображень (ЦКС). Схема установки зображена рис. 2.6.3.1 містить тільки один інтерферометр Маха-Цендера, обладнаний двома закривачами. Для реєстрації та запобігання шумів оптики, закривачами можна перекрити опорний та предметний промінь. Дана схема реєструє зображення поверхні, методом ЦКС [57,58]

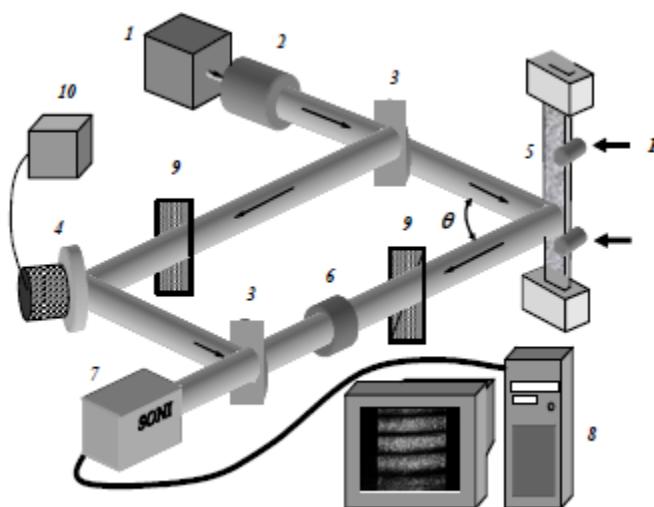


Рис. 2.6.3.1. Схема установки для ЕСІ та ЦКС [59]: 1 – лазер; 2 – розширювач лазерного променя; 3 – світлоподільники; 4 – фазозсувний елемент; 5 – зразок з навантажувальною установкою; 6 – об’єктив відеокамери; 7 – відеокамера; 8 – комп’ютер; 9 – закриви; 10 – блок керування фазозсувним елементом; F – напрям прикладання навантаження.

2.7 Трибологічні випробування (експериментальні методи випробування КАМ на зносостійкість).

Зносостійкістю, називають здатність матеріалів чинити опір руйнуванню, при терті або різанні, що обернено пропорційний інтенсивності зношування. Оцінювання інтенсивності зношування проводять за відомим методом [61], які визначали втрату маси, висоти, об'єму матеріалу (породоруйнівного інструменту) до пройденого ним шляху.

В даній роботі зношування КАМ визначали на стенді на базі токарно-гвинторізного верстата моделі ДІП-200 (рис. 2.7.1):

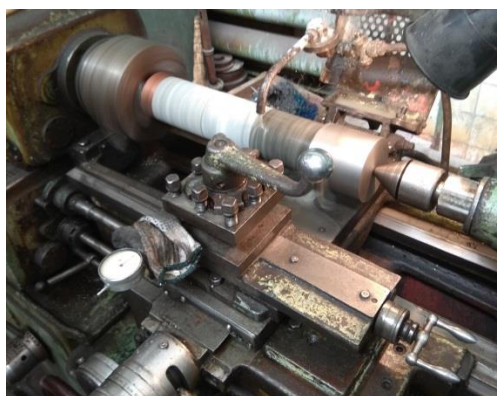


Рис. 2.7.1 Токарно-гвинторізний верстат моделі ДІП-200

Експериментальний матеріал точили по поверхні керна піскови́ка Торезького родовища IX категорії буримості та Коростишівського граніту X категорії буримості. Спеціальний тримач, в якому знаходиться дослідний зразок, закріплюється на робочому столі, що здійснює повздовжній рух з заданою подачею та глибиною впровадження – 0,5 мм. Частота обертання керна становить – 355 об/хв. Для охолодження використовували технічну воду з інтенсивністю розходу – 10 л/хв..

Інтенсивність зношування за масою I (мг/км) визначали за формулою 2.7.1:

$$I = \frac{m_{\text{п}} - m_{\text{к}}}{L} \quad (2.7.1)$$

Де $m_{\text{п}}, m_{\text{к}}$ – маса зразка до та після точіння, мг, L – довжина проходки, яка визначається за формулою 2.7.2:

$$L = \frac{\pi d n}{60} t \quad (2.7.2)$$

Де d – діаметр керна, км; n – частота обертання керна, об/хв.; t – час різання, хв [62].

2.8 Сепарація, класифікація, магніто-фракційний склад шламу

Дослідження проводили на шламі, який отримували при точінні блоку пісковика (керні) Торезького родовища експериментальними функціональними елементами (вставками) діаметром 10 мм.

Зразки випробовували на стенді, створеному на базі токарно-гвинторізного верстата моделі ДІП-200 [60]. Всю зруйновану гірську породу та матеріал КАМ збирали в спеціальну ємність.

Зразки шламу та порошку алмазу досліджували комплексом відомих методів. Визначали масову частку домішок (мас. %), питому магнітну сприйнятливість (χ , м³/кг), питомий електроопір (ρ , Ом·м), коефіцієнт поверхневої активності (K_a , %). Визначення розподілення за розмірами частинок шламу проводили з використанням приладу DiaInspect.OSM та системно-аналогового методу за методиками. Питому площу поверхні порошку алмазу ($S_{БЭТ}$, м²/г) визначали методом адсорбційно-структурного аналізу (АКА) за допомогою газоадсорбційного аналізатора NOVA 2200 (Quantachrome, USA).

Розділення шламу в магнітному полі та встановлення магнітофракційного складу шламу проводили за новою, розробленою методикою (додаток 1). Елементний склад отриманого матеріалу (осаду) досліджували методом мікрорентгеноспектрального аналізу за допомогою електронного скануючого мікроскопа «Zeiss EVO 50 XVP». Спільно із співробітниками комплексної контрольно-аналітичної лабораторії Інституту сорбції та проблем ендоекології НАН України методом рентгенофлюоресцентної спектрометрії з використанням приладу "X-Ray Fluorescence Spectrometr Elvax", Сер-01 (Україна) встановлювали елементний склад шламу та досліджували вплив структури КАМ на металевій зв'язці з різною концентрацією і зернистістю абразивної (армівної) складової, отриманого методом резистивного електроспікання під тиском до 400 МПа, на характеристики шламу, який отримано при точінні пісковика Торезького родовища.

2.8 Гранулометрія шламу (морфометричні характеристики шламу).

Визначення гранулометрії частинок шламу є необхідним для розуміння енергетики руйнування гірської породи та ефективності роботи КАМ. Після збору продуктів руйнування пісковика Торецького родовища і КАМ та сепарації шлам, досліджували морфометричні та гранулометричні характеристики на приладі DiaInspect,OSM фірми VOLLSTADT DIAMANT GmbH [62], що зображений на рисунку 2.8.1, за допомогою якого, можна визначити більше 20-ти характеристик продуктів руйнування із проби в кількості до 1999 зерен.

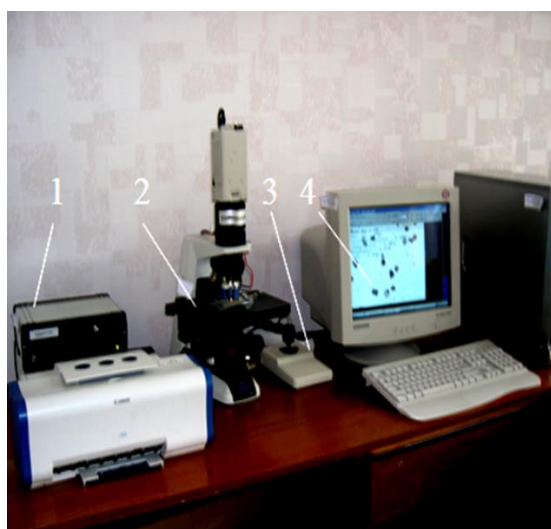


Рисунок 2.8.1 – Прилад для визначення лінійних та геометричних характеристик шламу DiaInspect,OSM фірми VOLLSTADT DIAMANT GmbH [62,63]: 1 – аналізатор розмірів зерен SALAD-200 (Shsmadzu Co., LTD) та аналізатор форми зображень Luzex-3U (Nireco Co., LTD); 2 - оптичний мікроскоп з електроприводом з цифровою відеокамерою Nikon D70s digital; 3 - автоматизований предметний столик з контролером електроприводу; 4 – персональний комп'ютер.

За допомогою приладу, можна визначити мінімальний та максимальний діаметри частинок, шорсткість зерен, еквівалентний діаметр зерна, загальну площу проекції частинки. Також, додатково можна обчислити периметр зображення, середній розмір зерна та ін..

В даній роботі обчислювали еквівалентний діаметр частинок складових шламу.

Середній розмір зерна розраховують за формулою:

$$d_c = \frac{F_{max} + F_{min}}{2}, \quad 2.8.1$$

де F_{max} і F_{min} – максимальний та мінімальний діаметри частинок.

Еквівалентний діаметр визначали за формулою:

$$d_e = 2 \sqrt{\frac{A}{\pi}}, \quad 2.8.2$$

де A – загальна площа проєкції фактичного зображення зерна

Фактичну геометричну форму визначали вводячи базові форм-аналоги: окружність, еліпс, трикутник, квадрат, ромб, прямокутник, паралелограм, рівнобедрена трапеція, правильні п'яти-, шести-, восьмикутники. Фактична форма частинки приймається, якщо збігається в точності із одною з базових форм-аналогів, за допомогою критерію подібності форми фактичної поверхні зерна (Φ_{kn} , де k – номер базового форм-аналога, n – номер зерна, що аналізується). Цей критерій є функцією певної морфометричної характеристики фактичної проєкції зерна, значення якого становить 1 і більше. Якщо значення критерію наближається до 1, то фактична форма проєкції наближається до одного з базових форм-аналогів.

Значення 10-ти Φ_{kn} виставляються в порядку зростання і кожен базовий форм-аналог оцінюється по 10-ти бальній шкалі від 1 до 10. Такій процедурі піддається кожне зерно проби. Після чого бали підсумовуються для кожного базового форм-аналога. Більш детально методика описана в роботах [62,63].

2.9 Визначення морфометричних та гранулометричних характеристик матеріалу зв'язки КАМ методом колориметрії.

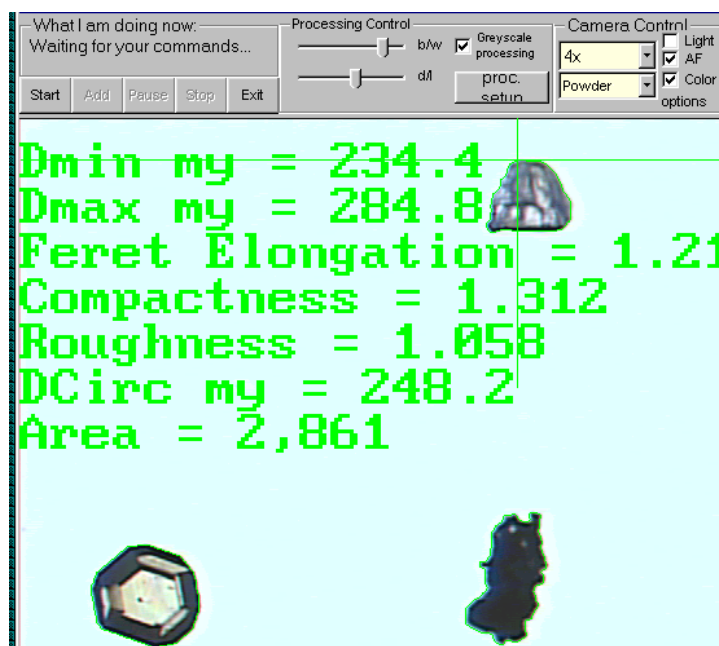
Для визначення гранулометричних характеристик частинок зношування зв'язки КАМ був використаний відомий метод колориметрії [64]. Сутність методу колориметрії полягає у — фізико-хімічному кількісного визначення

концентрації речовини, наприклад, в розчині, яка здатна поглинати світло або УФ промені за певної довжини хвилі, або здатна утворювати такі сполуки. Даний метод вимірювання оптичної густини розчинів використовується в багатьох галузях науки та техніки, таких як хімія, біологія, медицина, фармація, харчова промисловість та інші. В залежності від типу приладу, використовуваного для вимірювання оптичної густини, метод може бути більш чи менш точним.

Для вимірювання оптичної густини за допомогою електричного фотоколориметра або спектрофотометра, до зразка додають реагент, який забарвлює розчин. Потім проходить світло через зразок, і прилад вимірює інтенсивність пройденого світла. За законом Бугера-Ламберта-Бера інтенсивність забарвлення пропорційна концентрації забарвлюючої речовини в розчині та товщині шару зразка, крім того, використовуються відповідні коефіцієнти для перетворення забарвлення в густину.

Візуальний метод полягає у порівнянні забарвлення досліджуваного розчину з еталонними розчинами, з відомою концентрацією забарвлюючої речовини. Візуальне порівняння може бути менш точним, ніж вимірювання за допомогою приладів, але може використовуватися для швидкого визначення концентрації речовини в розчині в деяких ситуаціях.

Дослідження шламу з використанням приладу DialInspect, OSM для порівняння спектрів поглинання почали з того, як на столик приладу поклали одночасно алмазне зерно, частинку зв'язки КАМ та частинку гірської породи - рис. 2.9.1.



а

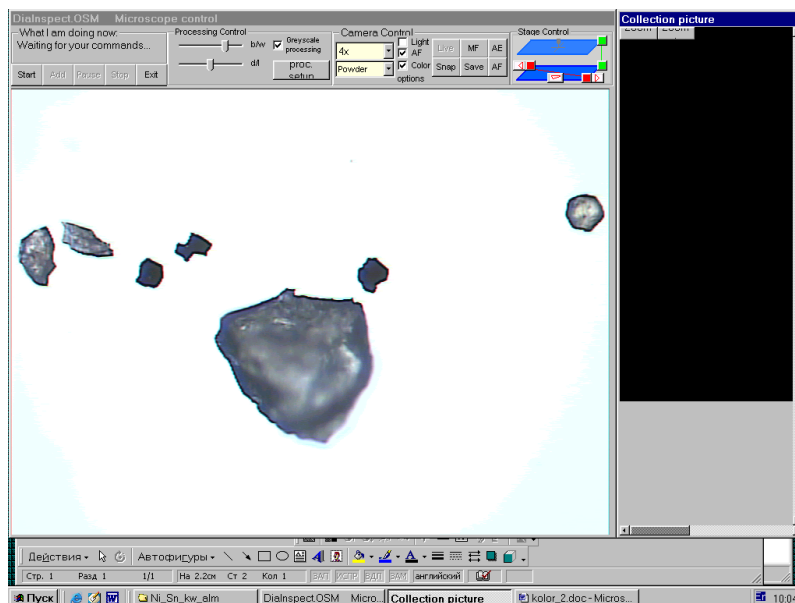


б

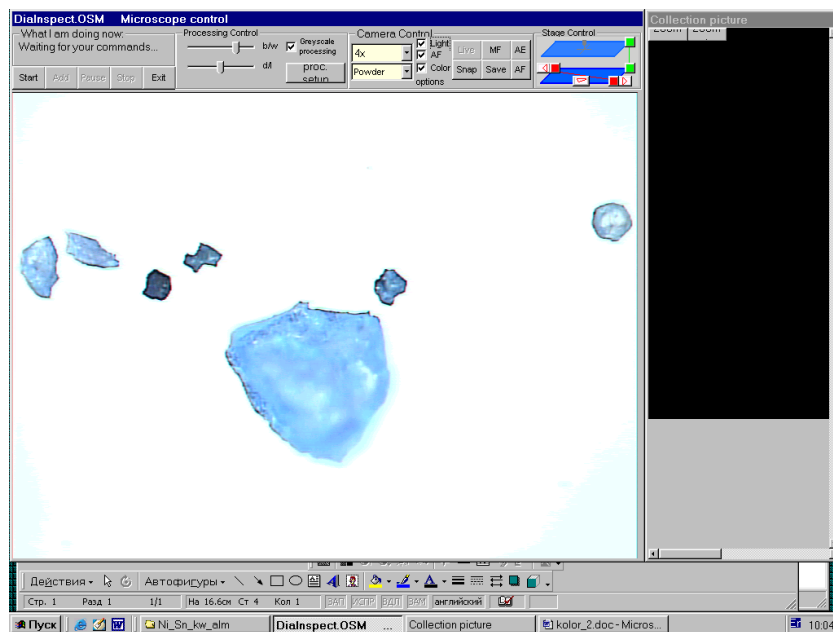
Рис. 2.9.1 - Загальний вигляд алмазу, частинки кварцу та зв'язки КАМ під об'єктивом приладу DiaInspect, OSM (зерно алмаза-у лівому нижньому кутку, частинка пісковика Торезького родовища - у верхньому правому кутку та частинка зв'язки - у правому нижньому кутку растра)

З рис. 2.9.1 б випливає, що кольори спектрів поглинаючого світла перерахованих частинок шламу чітко розрізняється, що дає можливість

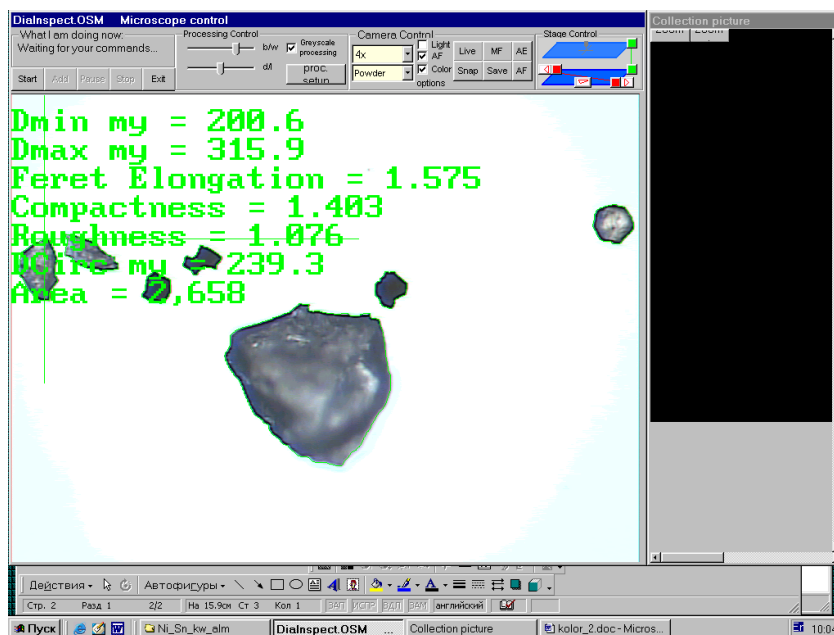
однозначно та вибірково аналізувати морфологічні характеристики частинок саме зв'язки.



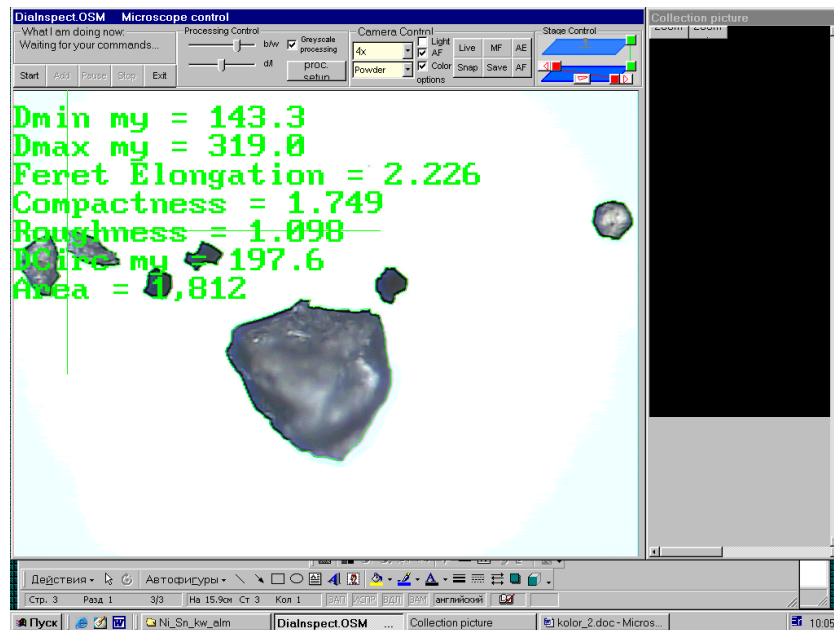
а



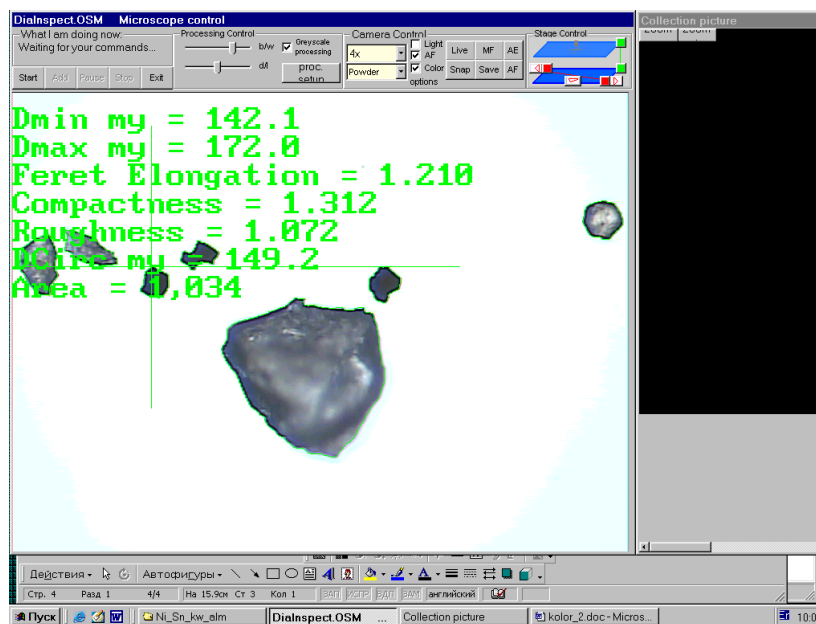
б



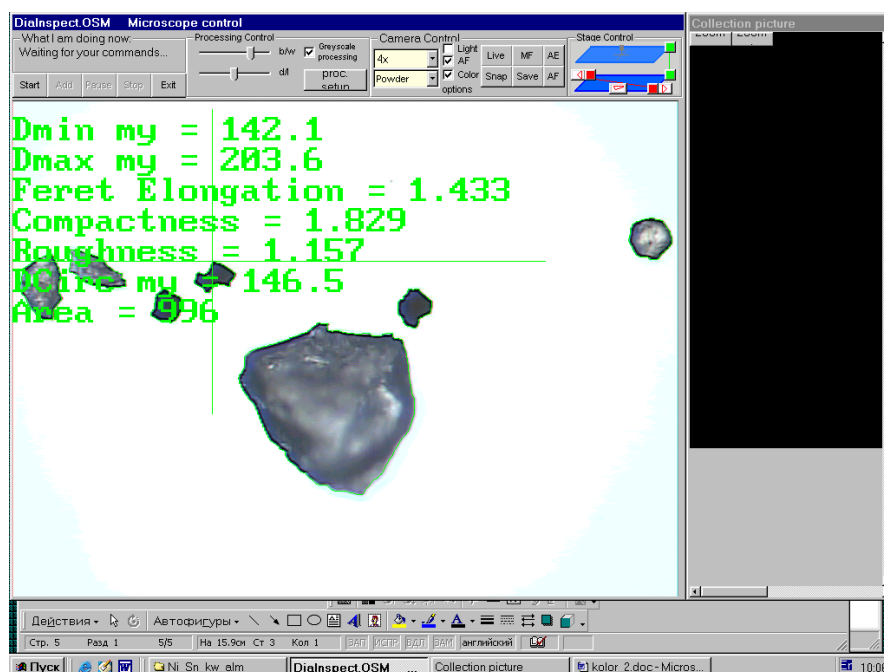
B



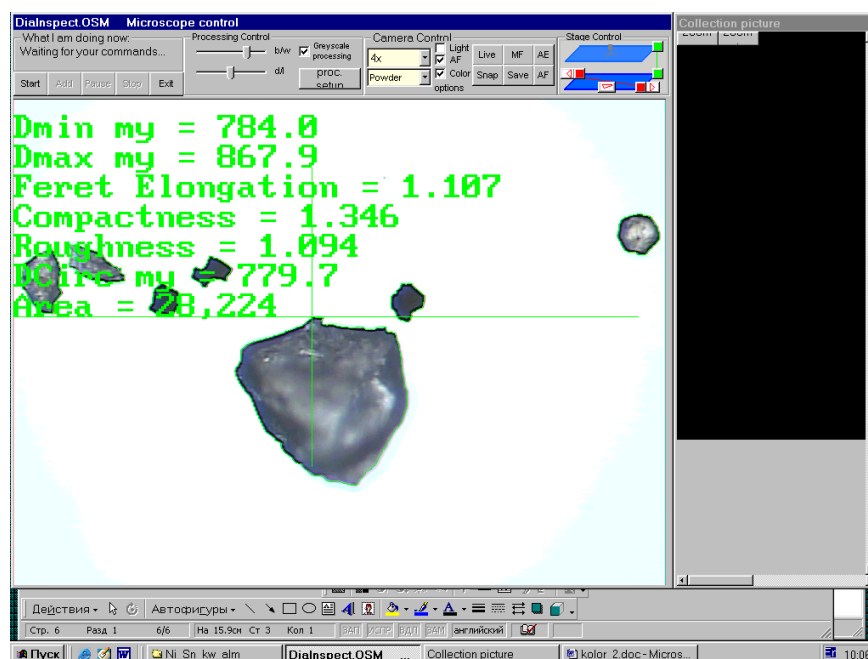
Г



Д



е

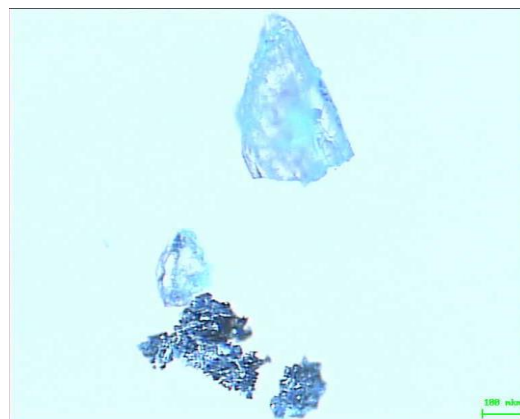


Є

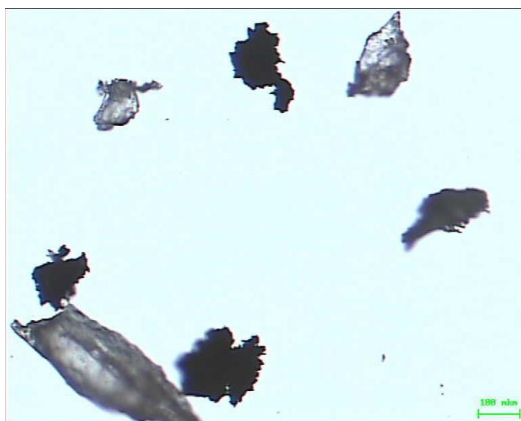
Рис. 2.9.2 - Аналіз розмірів частинок гірської породи , матеріалу зв'язки та алмазу , отримані за допомогою приладу DialInspect, OSM : чорні частинки – фрагменти матеріалу зв'язки; останнє у ланцюжку–алмазне зерно, інші –частинки пісковику.



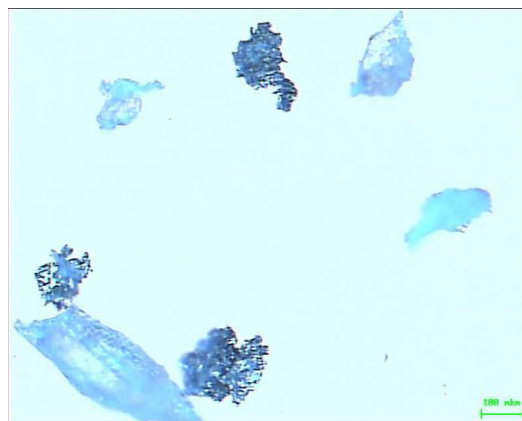
а



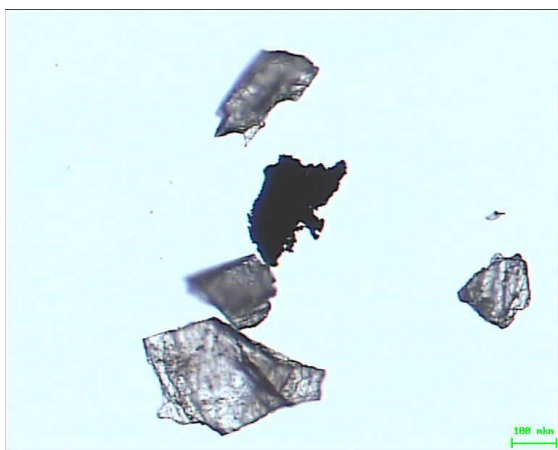
б



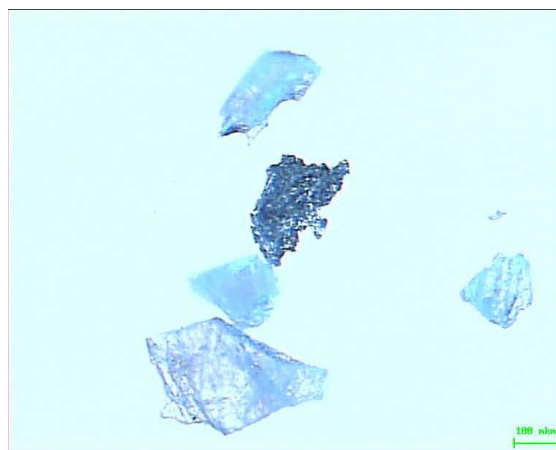
B



Г



Д



е

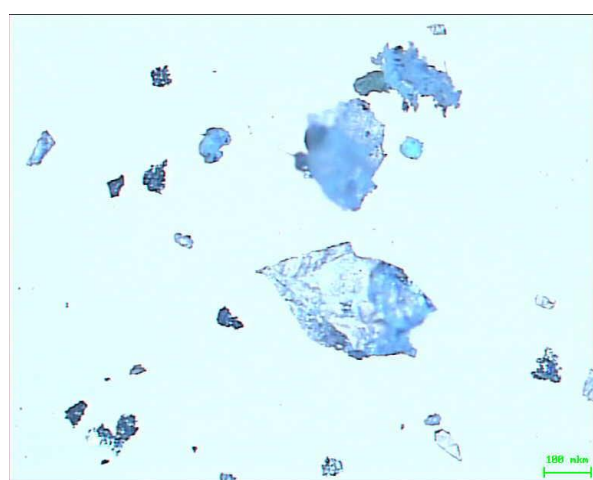
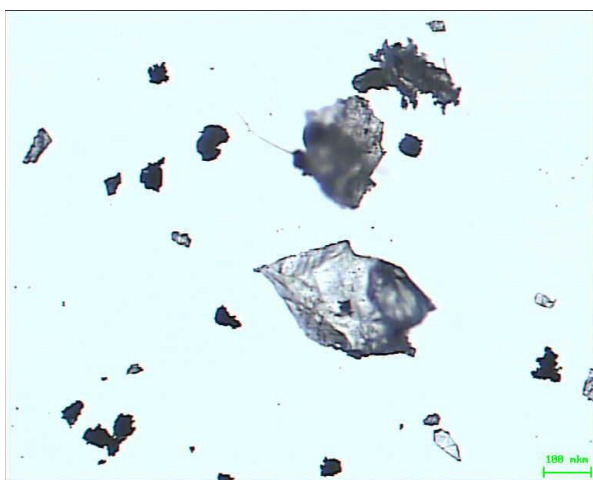




Рис. 2.9.1 - Порівняння загального вигляду частинок зв'язки та гірської породи під об'єктивом приладу DialInspect, OSM: чорні частинки–фрагменти матеріалу зв'язки.

Всі колориметричні характеристики у вигляді EXEL-файлу було відстежено як базові, саме, для частинок матричного матеріалу. Саме у вузькому діапазоні колориметричних характеристик базових частинок матричного матеріалу було відокремлено від інших частинок шламу, отриманих методом магнітної сепарації, колориметричні характеристики частинок матричного матеріалу, а за ними побудовано наступні розподіли та аналіз форм частинок.

2.10 Формулювання мети та задач дослідження

На підставі виконаного аналізу розглянутих результатів досліджень з методів спікання КАМ, гранулометричних досліджень продуктів руйнування гірської породи та зношування КАМ; експериментальних досліджень процесу зношування функціональних елементів в процесі різання гірської породи; сепарації складових продуктів руйнування гірської породи; фрактографічного та рентгеноструктурного аналізу структури продуктів руйнування породи та зношування КАМ сформулюємо **мету роботи**, яка полягає у визначенні впливу концентрації та зернистості алмазів в композиційних алмазовмісних матеріалах із

металевою зв'язкою Ni-Sn, отриманих електроспінанням, на зносостійкість функціональних елементів породоруйнівних інструментів.

Для реалізації поставленої мети необхідно розв'язати наступні задачі:

1. Визначити вплив розміру та концентрації зерен алмазу, температури спікання в межах 750-850 °С, тривалості витримки та тиску від 150 до 300 МПа на зносостійкість алмазовмісних композитів на металевих зв'язках в системі Ni-Sn при електроспінанні;

2. Встановити залежності між інтенсивністю зношування композиційних алмазовмісних матеріалів на металевих зв'язках, що отримані електроспінанням, параметрами їх концентрації, зернистості;

3. Виконати моделювання напруженого стану між алмазом та зв'язкою КАМ для визначення умов вириву алмазів із зв'язки в залежності від висоти виступання алмазів над зв'язкою

4. Провести випробування функціональних елементів породоруйнівного інструменту з функціональними елементами з алмазовмісного матеріалу отриманого методом електроспінання.

5. Виконати гранулометричні та морфометричні дослідження продуктів руйнування гірської породи та зношування функціональних елементів КАМ;

6. Виконати дослідження механізму зношування алмазовмісного матеріалу на металевих зв'язках для породоруйнівного інструменту;

Список використаних джерел до 2 розділу

51. Пат. 20674 А Україна, МПК В22F 3/14. Технологічний вузол для електроспінання алмазовмістких виробів / В. П. Переяслов, А. Л. Майстренко, С. А. Іванов. – Заявл. 14.03.97, Опубл. 15.10.01. Бюл.№ 9.

52. Подоба Я. О. Закономірності ущільнення та формування властивостей композиційних алмазовмісних матеріалів на металевій зв'язці при інтенсивному електроспінанні : автореф. дис. на здобуття ступеня канд. техн. наук : спец.

05.02.01 "Матеріалознавство" / Подоба Ярослав Олександрович. Київ, ІНМ НАНУ. 2012, 20 с.

53. Центр колективного користування науковими приладами (ЦККП) „Скануюча електронна мікроскопія і мікроаналіз (СЕММА).— <http://www.ism.kiev.ua/index.php?i=18>

54. Шмегера Р. С. Вплив контактної провідності міжфазної границі "алмаз-металева зв'язка" на теплопровідність алмазовмісних композитів. / Р. С. Шмегера, Я. О. Подоба, В. І. Куш, А. С. Беляєв // Сверхтвердые материалы. 2015, № 4, С. 39 – 52.

55. Кучин А.А. Оптические приборы для измерения шероховатости поверхности / Кучин А.А., Обрадович К.А. - Л.: Машиностроение, 1981. - 198 с.

56. Зенкін М. А. Сучасні оптичні методи контролю шорсткості відповідальних деталей машин / М. А. Зенкін, А. С. Назаренко. // Вісник Інженерної Академії України. 2014, №2, С. 220–224.

57. Муравський Л.І. Методи спекл-кореляції для дослідження механічних властивостей конструкційних матеріалів. – Київ: НВП «Видавництво «Наукова думка» НАН України, 2010, 208 с.

58. Муравський Л.І., Вороняк Т.І., Кметь А.Б. Лазерна інтерферометрія поверхні для потреб технічної діагностики. – Львів: СПОЛОМ, 2014, 272 с.

59. Електронна спекл-інтерферометрія та спекл-кореляція для визначення просторових полів мікропереміщень поверхонь / Т.Вороняк, А. Кметь, О. Максименко, Л. Муравський. // Електроніка та інформаційні технології. 2011, №1, С. 156–165.

60. Новый ультратвердый поликристаллический композиционный материал / А. А. Шульженко, Е. Е. Ашкинази, А. Н. Соколов и др. // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения: Сб. науч. тр. – К.: ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины, 2009, Вып. 12, С. 143–154.

61. 1. List, E., Frenzel, J., Vollstadt, H. A new system for single particle strength testing of grinding powders, Industrial diamond review No. 1 (2006), p. 42–47.

62. Petasyuk G. A. System and criterial method of the identification and quantitative estimation of the geo-metrical shape of the abrasive powder grains projection // Powder Technology. V. 264, 2014, pp. 78-85

63. Петасюк Г.А. Системно-аналоговий метод ідентифікації геометричної форми проекції зерен абразивних порошків / Г.А. Петасюк // Сверхтвердые материалы. 2016, №4.

64. Сендел Е. Колориметрические методы определения следов металлов / ред. В.Н. Присаков ; пер. Г.В. Корпусов. – Москва : Мир, 1964, 897 с.

РОЗДІЛ 3.

ЕЛЕКТРОСПІКАННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ЕЛЕМЕНТІВ З КАМ НА МЕТАЛЕВІЙ ЗВ'ЯЗЦІ

3.1 Підготовка до електроспікання функціональних елементів породоруйнівних інструментів з різною зернистістю та концентрацією алмазів

В якості вихідних матеріалів для виготовлення алмазовмісних функціональних елементів використовували порошки алмазів марки АС300 зернистістю 200/160, 400/315, 500/400 та 630/500 (ТУ 2–37–344-85), нікель ПНЭ-1 (ГОСТ 9722-97) та олова ПО-1 (ГОСТ 9723-73). Досліджували морфологію вихідних порошків металів з визначенням форм проекцій (таблиця 3.1.1), середній діаметр проекцій частинок для Ni – 12,8 мкм та Sn – 46,2 мкм за допомогою приладу Diainspect.OSM.

Таблиця 3.1.1 – Результати ідентифікації геометричної форми проекції зерен пошуково-аналоговим методом [62,63] за сукупністю прийнятих базових фігур-аналогів (I – диференціальний показник формоподібності проекції зерен = відносна кількість зерен з даною ідентифікованою формою проекції, %; II – відносна похибка ідентифікації форми проекції зерен, %).

Номер базової фігури-аналога	Ni		Sn		Cr	
	I	II	I	II	I	II
Овалоподібні фігури (коло+еліпс)	1,71	21,35	0,00	15,40	0,00	14,27
Прямокутник	27,50	14,69	18,73	10,21	21,56	9,54
Ромб	0,35	21,18	13,17	40,21	11,84	40,69
Трапеція	22,67	13,08	29,94	31,12	32,70	23,00
Квадрат	21,14	18,07	27,04	12,22	25,73	12,25
Правильний п'ятикутник	0,00	21,06	4,46	23,42	3,06	23,77
Правильний шестикутник	5,59	20,04	0,00	90,00	0,00	90,00

Правильний восьмикутник	0,00	26,60	1,10	20,72	0,45	20,21
Трикутник	20,32	17,57	4,51	17,65	3,36	18,48
Паралелограм	0,71	32,58	1,05	49,18	1,30	42,98

Суміш порошоків металів (нікель – 94%, олово – 6 % по масі) перемішували в барабанному млині з додаванням вольфрамових куль, які забезпечують ударно-зсувну дію куль на порошок. Перемішування відбувалося протягом 8 годин. До шихти порошоків металів додавали алмази з концентрацією 100 %, 50 % та 25 % з перемішуванням та зернистістю 630/500, 500/400 та 200/160.

Для розрахунку навіски шихти використовували формулу:

$$M = \rho_{\text{ал}} V_{\text{ал}} + \rho_{\text{зв}} V_{\text{зв}}, \quad (3.1.1)$$

де $\rho_{\text{ал}}$, $\rho_{\text{зв}}$ – відповідно густина алмазів та зв'язки, г/см³; $V_{\text{ал}}$, $V_{\text{зв}}$ – об'єм алмазів та зв'язки в спеченому зразку, см³.

Пресування зразків відбувалося методом холодного двобічного одно-основного пресування в сталіних прес-формах марки У8А. За кімнатної температури та тиску 200-300 МПа отримували брикети висотою та діаметром 10 мм.

3.2 Спикання дослідних вставок алмазовмісного композиту із різною концентрацією та зернистістю алмазів.

3.2.1 Електроспикання КАМ під тиском

Технологічний процес електроспикання під тиском, розроблений в ІНМ НАН України [51]. Якість КАМ, забезпечується визначенням щільності та розмірів виробів, однак, дати об'єктивну оцінку виробу з алмазного композиту досить складно. Приклад зміни параметрів електричного поля (I , U), його усадки (h) в процесі спикання наведені на рис. 3.2.1.

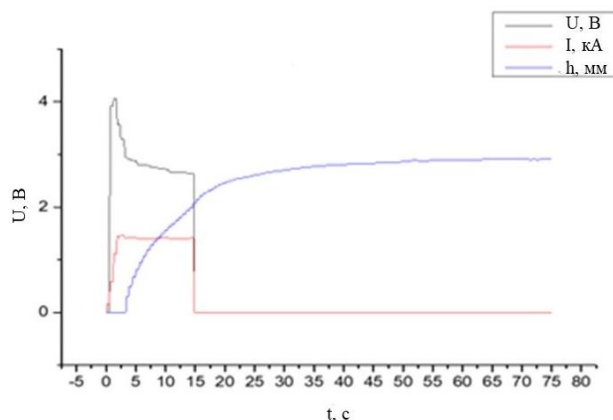


Рис. 3.2.1 – Приклад зміни параметрів процесу резистивного електроспінання КАМ з металевою зв'язкою на основі системи Ni (94%)-Sn (6%) та алмазами марки AC300 зернистістю 200/160 та концентрацією 100% під тиском 300 МПа

Із графіку на рис. 3.2.1 видно, що процес ущільнення (усадки) починається під прикладеним тиском, при температурі плавлення Sn, після чого відбувається пластичне ущільнення, внаслідок хімічної реакції з іншими компонентами утворюються інтерметалідні з'єднання, які збільшують зносостійкість зв'язки. Наявність олова у суміші впливає на провідність зразка вже на початкових стадіях спікання, забезпечуючи появу рідкої фази. При високих швидкостях нагрівання та охолодження, та при достатньо високому тиску, формується структура, що сприяє поширенню рідкої фази, однорідному розподілу компонентів сплаву та їх кращому змішуванню. [76,76].

Результати параметрів та густини інтенсивного електроспінання дослідних елементів з КАМ наведені в таблиці 3.2.1

Таблиця 3.2.1. – Узагальнююча таблиця параметрів електроспінання та густини КАМ із різною концентрацією, розміром та гранульованими хромом алмазними зернами.

Зернистість	Концентрація	Тиск при пресуванні,	Тиск при спіканні,	Час спікання, с	Сила струму, кА	Напруга, В	Висота усадки, мм	Час початку спікання	Густина зразка після
-------------	--------------	----------------------	--------------------	-----------------	-----------------	------------	-------------------	----------------------	----------------------

		МПа	МПа					ня, с	спікан ня
630/50 0	25%	400	300	13	1,3	2,7	2,52	4,1	8,252
	50%	400	300	11	1,4	2,7	3,63	6,4	7,648
	100%	400	300	13	1,4	2,7	3,2	6,8	6,996
500/40 0	25%	400	300	10	1,35	2,8	2,3	6,2	7,87
	50%	400	300	14	1,3	2,65	3,15	3,9	7,646
	100%	400	300	10	1,3	2,8	2,27	6,1	6,963
200/16 0	25 %	400	300	19	1,4	2,7	3,08	4,7	7,951
	50 %	400	300	17	1,3	2,8	2,5	3,5	7,38
	100%	400	300	14	1,4	2,7	2,64	3,5	7,185

3.2.2 Аналіз складу спечених зразків КАМ

В роботі Шмегери Р.С. досліджувалась структура для зв'язки Ni-Sn (12%) та Ni-Cu-Sn [77], тому було проведено дослідження структури для зв'язки Ni-Sn (6%).

Дослідження структури поверхні алмазовмісного породоруйнівного (рис. 3.2.2.1) елементу здійснена за допомогою скануючого електронного мікроскопа (SEM) ZEISS EVO 50 XVP, оснащеного енергодисперсійним рентгенівським аналізатором Oxford Instruments` Ultim Max 100 (елементний аналіз) представлена на рис. 3.2.2..

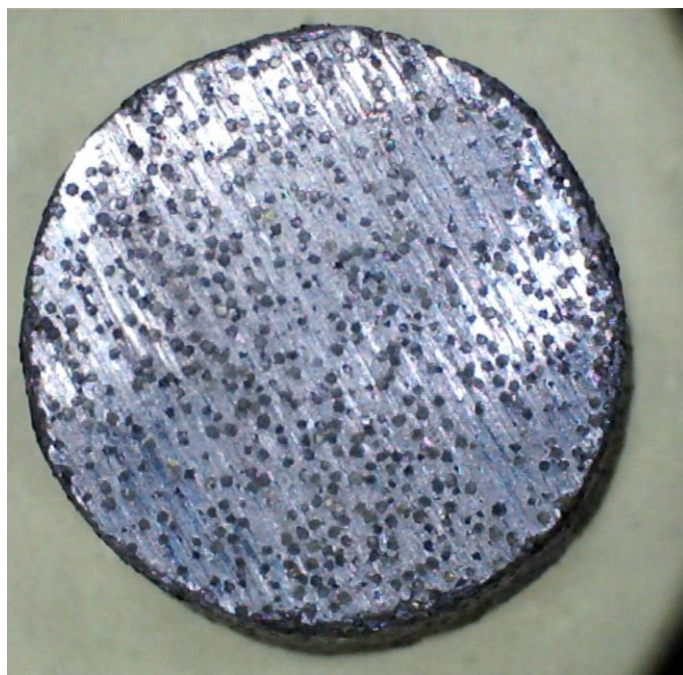


Рис. 3.2.2.1 Експериментальний КАМ (вид зверху), оснащений алмазами АС 300 200/160 зернистості мкм : 1 – алмазні зерна, 2 – матриця із NiSn (6%), 3 – мікроборозенки на поверхні матричного матеріалу

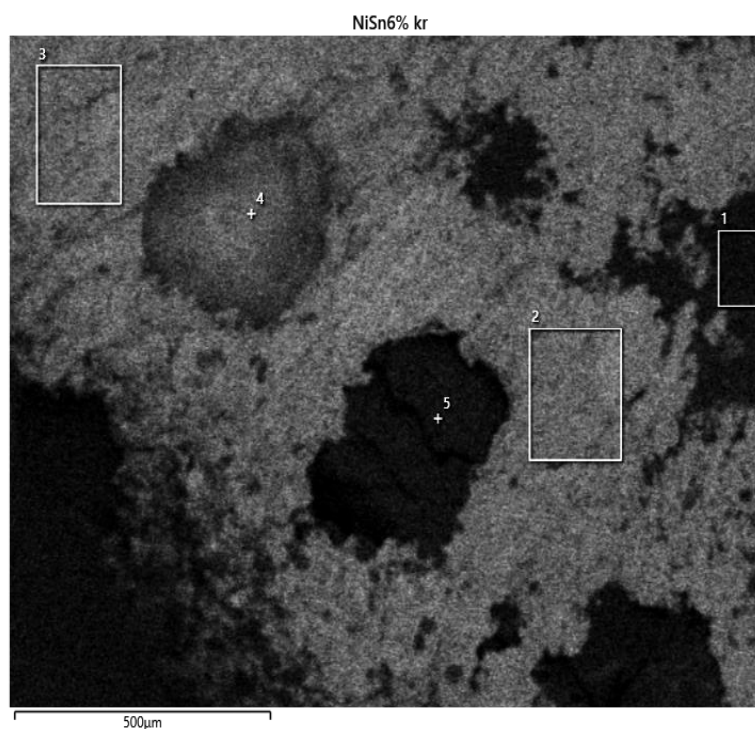
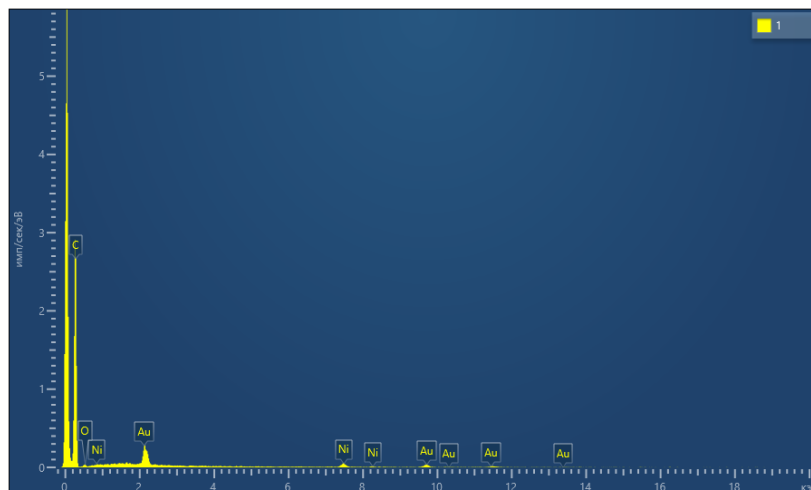
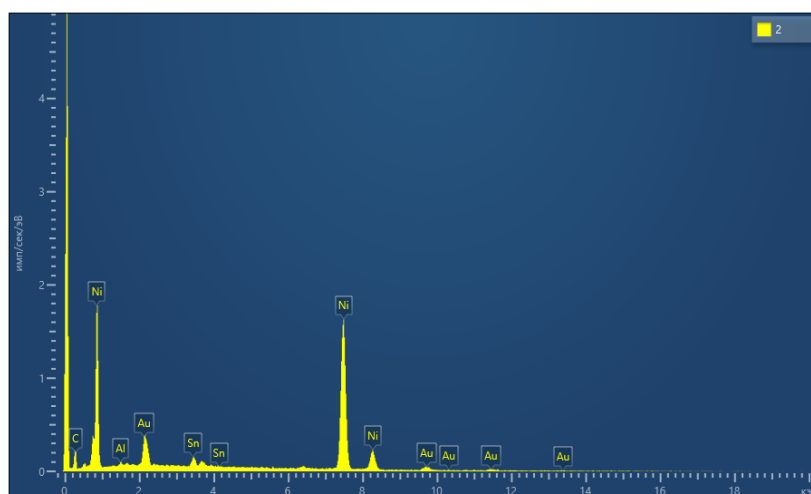


Рис. 3.2.2.2 – Хімічний розподіл структури КАМ здійснена за допомогою скануючого електронного мікроскопа (SEM) ZEISS EVO 50 XVP, оснащеного енергодисперсійним рентгенівським аналізатором Oxford Instruments` Ultim Max 100 (елементний аналіз).

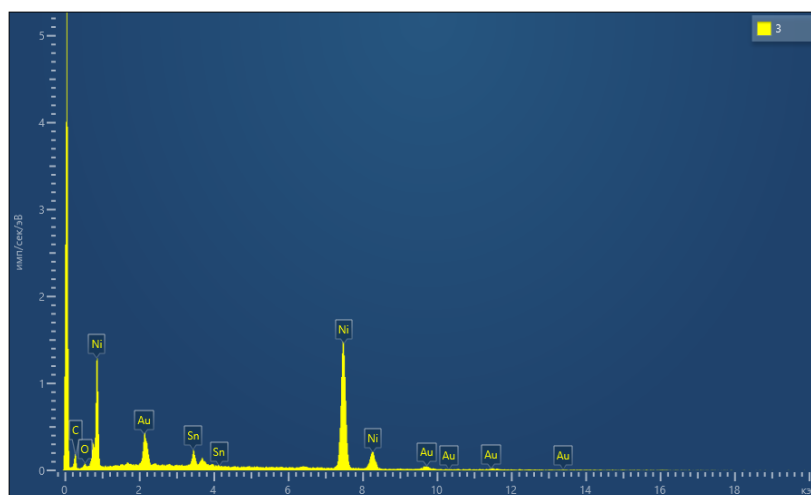
На рис. 3.2.2.3 представлено хімічний склад поверхні алмазовмісного породоруйнівного елементу за результатами спектрального аналізу - спектри № 1–5, зведено у табл. 3.2.2.1.



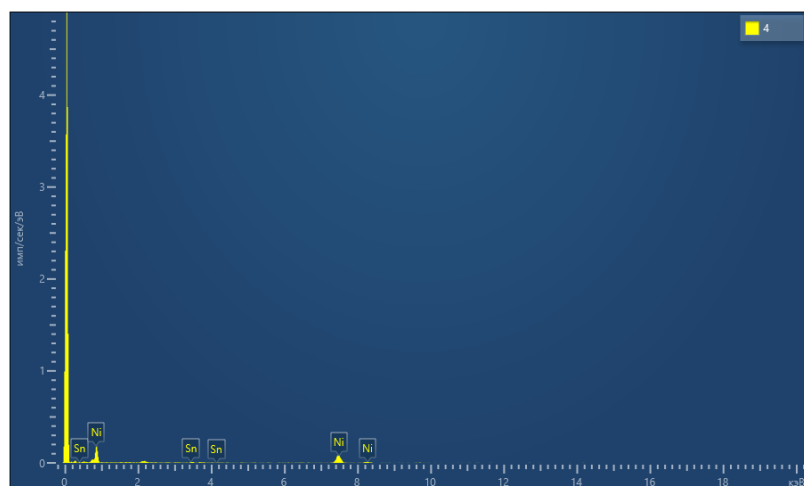
а



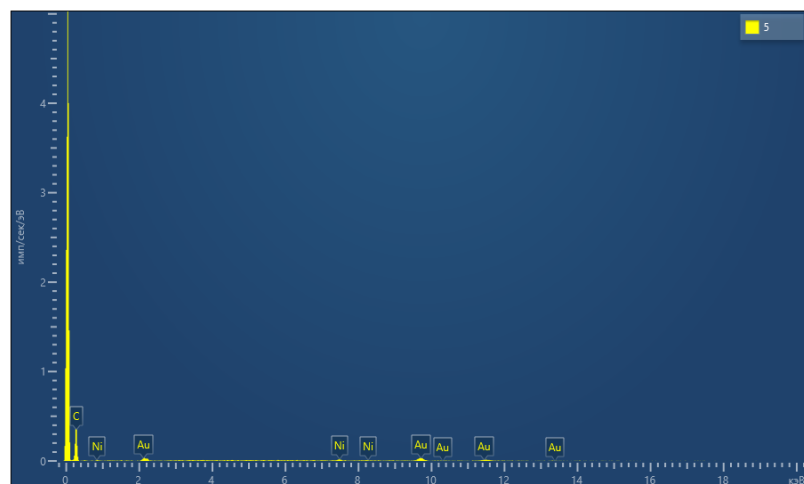
б



В



Г



Д

Рис. 3.2.2.3 - Хімічний склад поверхні КАМ із АС 300 400/315 на основі системи (94)Ni-(6)Sn, за результатами спектрального аналізу – спектри № 1–а, 2–б, 3–в, 4–г, 5–д

Як видно з таблиці 3.2.3 згідно зі спектрами 2–4, хімічний склад структури матриці, яка відповідає закладеному у прес-форму порошку нікеля та стануму.

Таб. 3.2.2.1 – Вихідний хімічний склад КАМ

Мітка спектра	1	2	3	4	5
C	92.69	16.90	14.06		92.56
O	2.96		1.12		
Al		0.52			
Ni	4.35	79.20	78.92	92.97	7.44
Sn		3.38	5.89	7.03	
Всього	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

Для виконання експериментальних випробувань на стенді, створеному на базі токарно-гвинторізного верстату, мод. ДІП-200 було виготовлено серію зразків з матрицею із NiSn (6%), з різною зернистістю та різною концентрацією алмазних зерен - табл. 3.2.1.

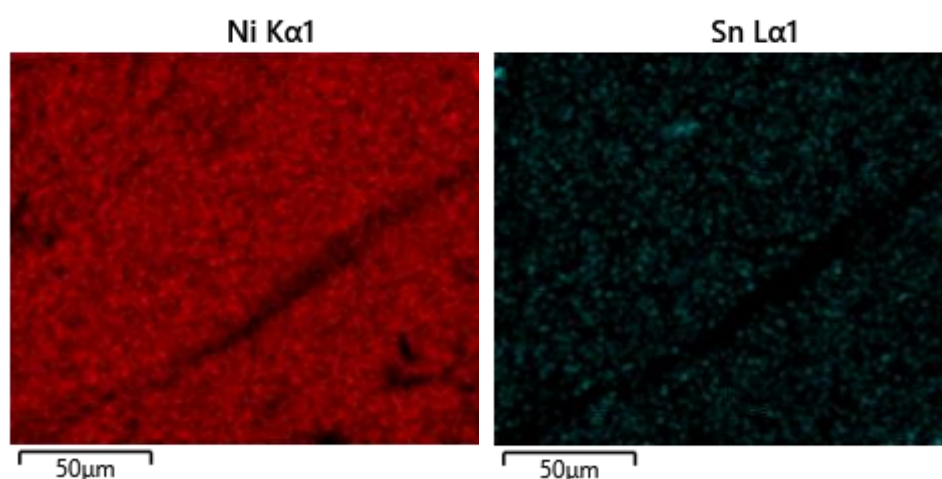


Рис. 3.2.2.3 – Розподіл компонентів зв'язки Ni-Sn (6%)

З рис. 3.2.2.3 видно, що компоненти зв'язки КАМ рівномірно розподілені в об'ємі.

3.3 Аналіз напруженого стану зерна алмазу у зв'язці кам при взаємодії з гірською породою в умовах ідеального контакту

3.3.1 Комп'ютерна модель взаємодії зерна алмазу на КАМ з гірською породою

Форма алмазного зерна вибиралась у вигляді еліпсоїда (рис. 3.1), оскільки, як зазначено в статтях [65, 66], еліпсоїдальна форма є досить близькою до форми реальних алмазних зерен, які використовуються в породоруйнівному інструменті. Крім того, змінюючи співвідношення між півсями еліпсоїда, є зручним легко вибирати форму зерна в розрахунковій схемі. Хоча, слід зазначити, що деякі дослідники [67] вибирають окрім еліпсоїдальної форми також інші форми зерен, наприклад, у вигляді багатогранників.

У роботі по даній темі в математичній моделі було вибрано зерно у формі еліпсоїда $\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1$ (рис. 3.3.1.1); довжини півосей еліпсоїда дорівнюють $125 \cdot 10^{-6}$ м і $200 \cdot 10^{-6}$ м. Алмазні зерна таких розмірів часто використовуються для виготовлення породоруйнівного інструменту.

Навантаження на зерно вибиралося на основі інформації зі статей [66, 68, 69] про дослідження роботи і навантаження зерен в алмазних інструментах, зокрема, в бурових коронках породоруйнівного інструменту, та інформації щодо роботи одиничного зерна поверхні коронки при руйнуванні гірських порід.

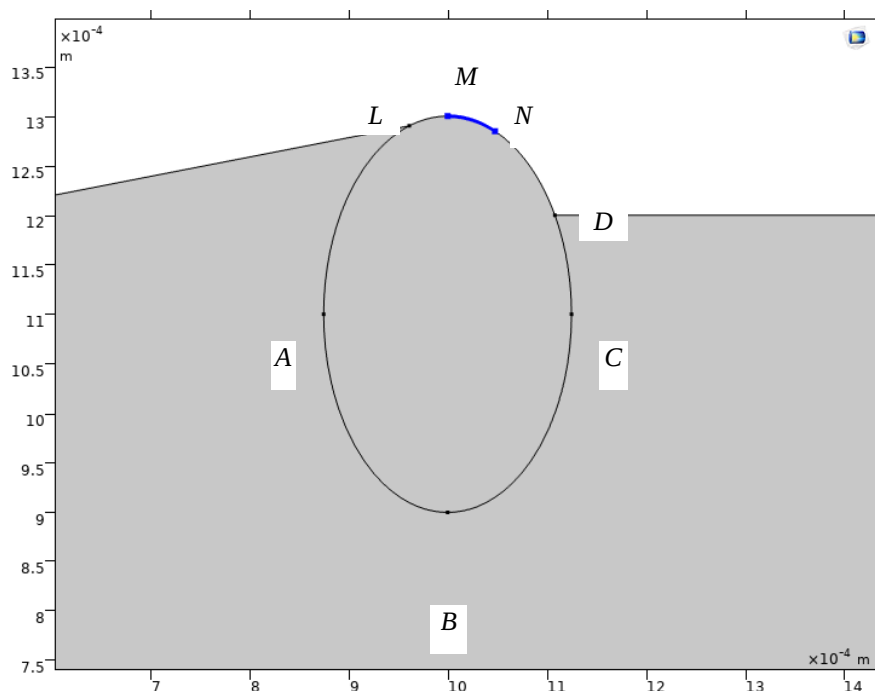


Рис. 3.3.1.1. Розрахункова схема «алмазне зерно – зв’язка», навантаження прикладено до відзначеної синім кольором ділянки MN на поверхні зерна.

Співвідношення між нормальним зусиллям P_y на зерно і дотичним зусиллям P_z вибиралось за експериментальними даними роботи Ісонкіна О. М. [69] по дослідженню руйнування одиничним алмазним зерном (зернистість 800/630 мкм) різних гірських порід. Як показують дані із [71], співвідношення між P_y і P_z для кожної гірської породи можна описати певною функціональною залежністю в межах навантаження на індентор (зерно) від 1 Н до 7 Н.

Величину механічного зусилля – нормального і тангенціального, що діє з боку гірської породи на зерно, вибирали на основі таких даних. Площа поверхні еліпсоїда $\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1$, обчислюється за формулою

$$S = 2\pi a^2 + \frac{2\pi ab}{\varepsilon} \arcsin \varepsilon, \quad (3.3.1.1)$$

де $\varepsilon = \frac{c}{b}$ – ексцентриситет еліпса, c – відстань від фокуса до центру еліпса,

$c = \sqrt{b^2 - a^2}$. Для $a = 125 \cdot 10^{-6}$ м і $b = 200 \cdot 10^{-6}$ м фокусна відстань дорівнює $c =$

$156 \cdot 10^{-6}$ м, ексцентриситет еліпса дорівнює $\varepsilon = 0,78$, $\arcsin \varepsilon = 0,89$; $S = 0,277 \cdot 10^{-6}$ м².

Завдяки великій твердості алмазу зношування алмазного зерна бурової коронки відбувається в основному у вигляді сколювання його частини, яка контактує з гірською породою, а площа контакту поверхні зерна з породою мала порівняно зі всією поверхнею зерна, що виступає зі зв'язки коронки. Тому величину зони контакту S_k алмазного зерна з породою вибирали вдесятеро меншою порівняно з половиною площі бічної поверхні зерна $S_k = \frac{S}{20} = 0,138 \cdot 10^{-7}$ м².

При роботі по пісковику вертикальне і дотичне зусилля виберемо відповідно рівними 12,4 Н і 1,9 Н [70]. Тоді відповідні напруження, прикладені до області навантаження (рис. 3.1), дорівнюють:

$$\text{вертикальне напруження } \sigma = \frac{12,4}{S_k} = \frac{12,4 H}{0,138 \cdot 10^{-7} \text{ м}^2} = 900 \frac{H}{\text{м}^2} = 900 \text{ МПа},$$

$$\text{дотичне напруження } \tau = \frac{6,4}{S_k} = \frac{6,4}{0,138 \cdot 10^{-7} \text{ м}^2} = 342 \cdot 10^6 \frac{H}{\text{м}^2} = 342 \text{ МПа}.$$

При моделюванні напружено-деформованого стану алмазу *ALMND CB* (рис. 3.3.1.1) як крихкого матеріалу використовується модель теорії пружності. В моделі вибрано величини модуля пружності алмазу $E = 1145$ ГПа і коефіцієнту Пуассона $\nu = 0,069$.

Матеріалом зв'язки породоруйнівного інструменту є інтерметаліди на основі нікелю Ni і олова Sn – (Ni₃Sn, NiSn). Матеріал зв'язки на основі інтерметалідів із нікелю Ni і олова Sn при малих навантаженнях веде себе як пружний матеріал, а при зростанні навантажень проявляє пластичні властивості [70, 71] зі зміцненням. Тому для моделювання напружено-деформованого стану зв'язки використано пружно-пластичну модель із зміцненням. При виборі властивостей матеріалу зв'язки для моделювання її пружно-пластичного напруженого стану використано результати випробування зразків із матеріалу зв'язки на стиск [70, 71], довідкові

дані для пружних властивостей металів нікелю і олова [72], а також дані про випробування зразків із чистого нікелю на розтяг [73]. Дані для модуля Юнга E і коефіцієнта Пуассона ν інтерметалідів на основі нікелю Ni і олова Sn – (Ni_3Sn , NiSn) у літературі відсутні (не вдалось знайти). Тому в проведених обчисленнях для величин модуля E і коефіцієнта ν для матеріалу зв'язки за основу було використано дані для нікелю, як матеріалу, який є основною складовою зв'язки із інтерметалідів Ni_3Sn , NiSn [72] (табл. 3.3.1.1); ці дані були скориговані з урахуванням інформації зі статей [70, 71, 73].

Таблиця 3.3.1.1. Пружні властивості нікелю і олова (при 18 °C): E і G – модулі Юнга і зсуву відповідно, ν – коефіцієнт Пуассона, K – модуль всебічного стиску [72].

Матеріал	Властивості			
	Модуль Юнга, E , 10^{10} Н/м^2	Модуль зсуву, G , 10^{10} Н/м^2	Коефіцієнт Пуассона, ν	Модуль всебічного стиску, K , 10^{10} Н/м^2
Нікель	20,4	7,9	0,28	16,1
Олово	5,43	2,04	0,33	5,29

В результаті для матеріалу зв'язки використано такі дані: пружні властивості – модуль пружності $E = 200$ ГПа, коефіцієнт Пуасона $\nu = 0,28$; пластичні властивості – початкове напруження пластичної течії або межа текучості $\sigma_s = 400$ МПа, дотичний модуль пластичності $E_t = 1250$ МПа. Останні дві величини для пластичних властивостей – межа текучості σ_s і дотичного модуля пластичності E_t матеріалу зв'язки вибрано із кривих випробування на стиск [70,71] інтерметалідів на основі нікелю Ni.

В моделі напружено-деформованого стану системи “алмазне зерно – зв'язка” поверхня $EFGH$ зв'язки жорстко закріплена, до ділянки LM поверхні зерна прикладено навантаження, а поверхні $HKLM$ і NDE вільні від навантажень.

Використана модель про плоский деформований стан.

Для комп'ютерного моделювання напружено-деформованого стану системи “алмазне зерно – зв'язка” використано метод скінченних елементів. Досліджувана розрахункова область розбивалась на трикутні елементи зі згущенням сітки елементів у місцях прогнозованих високих градієнтів напружень і деформацій.

3.3.2 Аналіз впливу ступеня виступання алмазного зерна над металевою зв'язкою на зміну напруженого стану, які призводять до його викиду зі зв'язки

Комп'ютерне моделювання напружено-деформованого стану системи “алмазне зерно – зв'язка” виконано для різних величин виступу h_p алмазного зерна із зв'язки: $h_p = 80, 100, 120, 140, 160, 180$ і 200 мкм. Для кожної із цих величин побудовано графік розподілу компоненти σ_x вздовж зовнішнього контуру ABC перехідної зони між зерном і зв'язкою. Товщину перехідної зони між зерном і зв'язкою вибрано рівною 5 мкм. Цей вибір виконано аналогічно [65] і пропорційно до розмірів зерна. Слід зазначити, що максимальні значення компоненти σ_x вздовж зовнішнього контуру перехідної зони суттєво перевищують максимальні значення інших компонент тензора напружень вздовж цього контуру, що впливає, наприклад із аналізу даних, наведених на рис. 3.3.2.1-3.3.2.2 для величини $h_p = 80$ мкм. Тому при дослідженні та виявленні моменту викидання зерна із зв'язки основна увага зосереджувалась на компоненті σ_x . Для кожної величини виступу зерна із зв'язки h_p довжина зовнішнього контуру перехідної зони різна: очевидно, що ця довжина зменшується із збільшенням h_p .

Із рис. 3.3.2.1 видно, що на початку зовнішнього контуру ABC перехідної зони діють максимальні напруження розтягу, а на кінці його діють максимальні напруження стиску. Причому, рівень максимальних напружень стиску для всіх величин виступу зерна зі зв'язки майже однаковий. Проте, величина максимальних напружень розтягу зростає із збільшенням виступу h_p зерна із зв'язки.

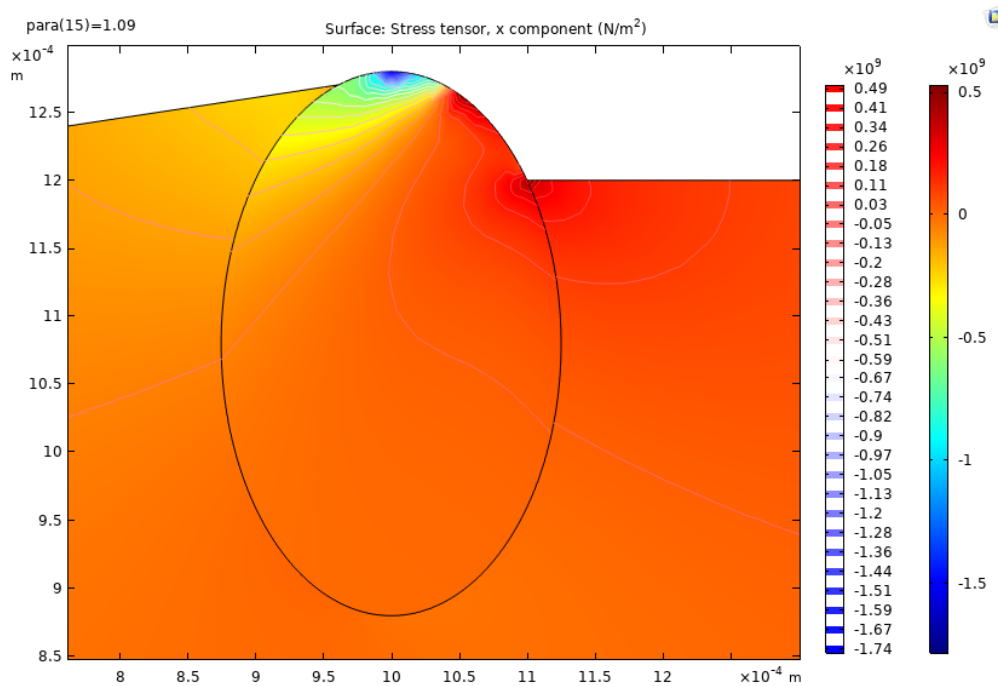


Рис. 3.3.2.1. Картина обчисленого розподілу компоненти напруження σ_x біля зерна при висоті виступу зерна із зв'язки $h_p = 80$ мкм.

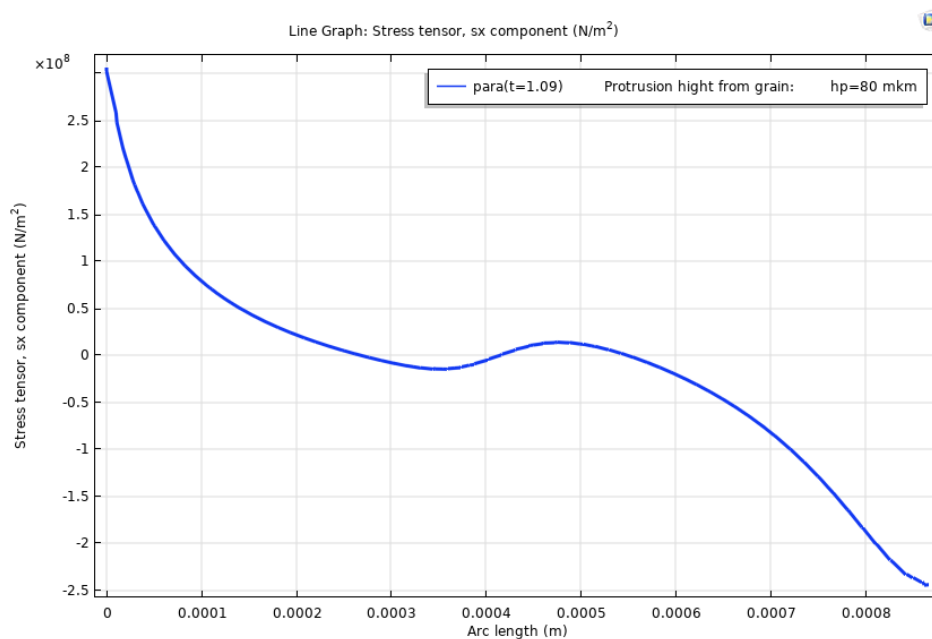


Рис. 3.3.2.2 Розподіл компоненти напруження σ_x вздовж зовнішнього контура ABC перехідної зони при висоті виступання зерна із зв'язки $h_p = 80$ мкм.

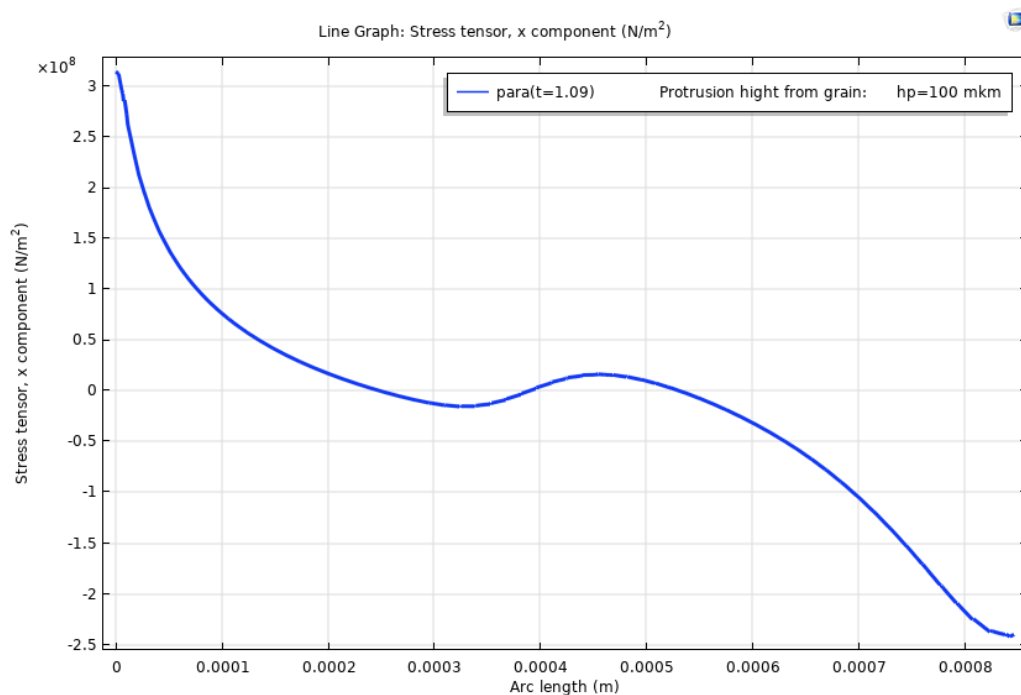


Рис. 3.3.2.3 Розподіл компоненти напруження σ_x вздовж зовнішнього контуру ABC перехідної зони при висоті виступу зерна із зв'язки $h_p = 100$ мкм.

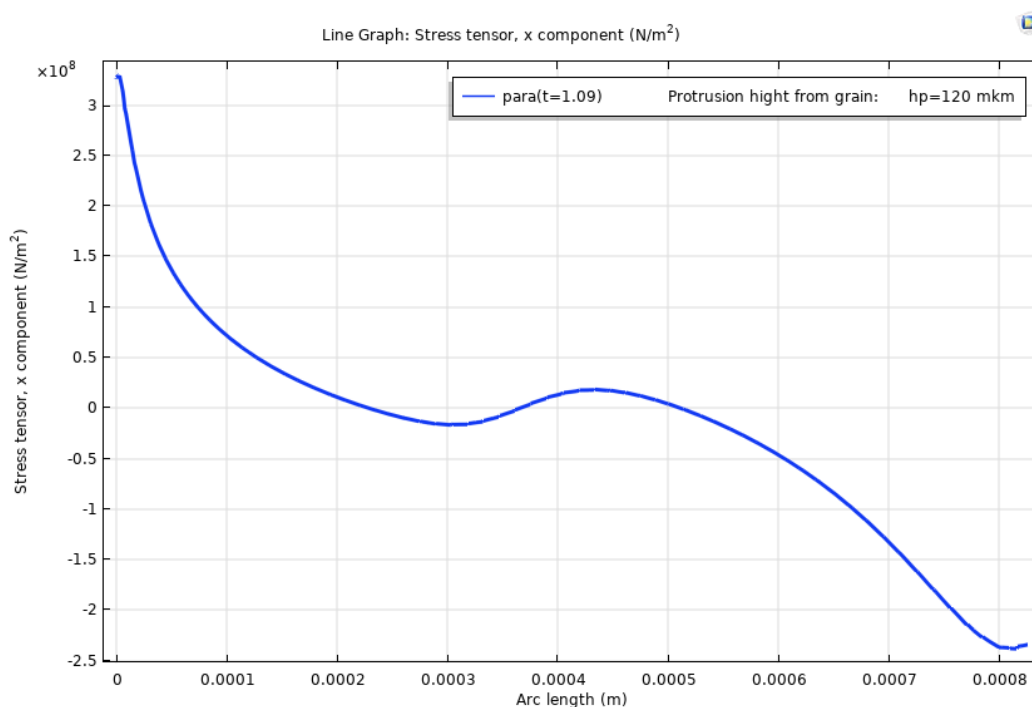


Рис. 3.3.2.4. Розподіл компоненти напруження σ_x вздовж зовнішнього контуру ABC перехідної зони при висоті виступу зерна із зв'язки $h_p = 120$ мкм.

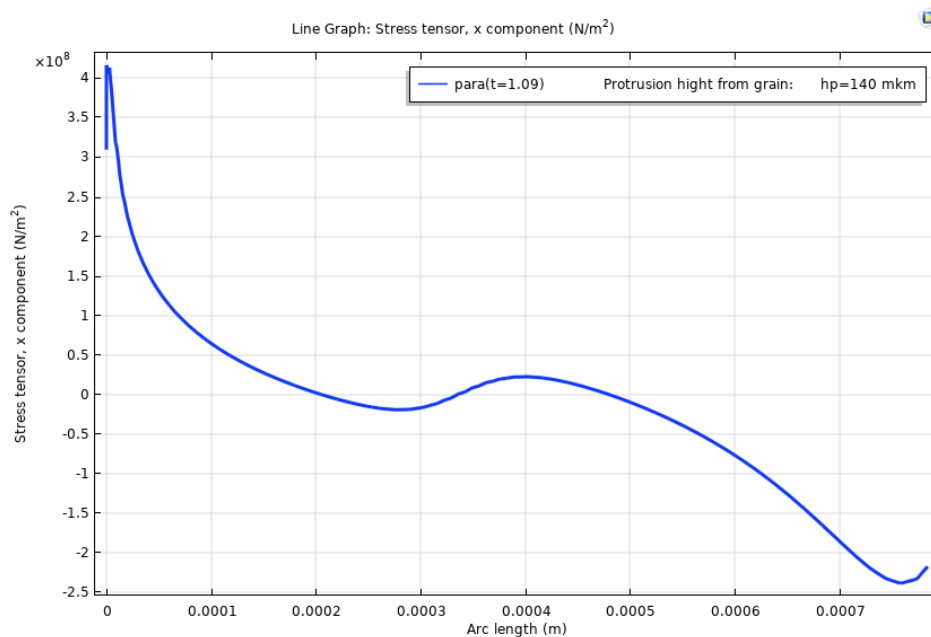


Рис. 3.3.2.5. Розподіл компоненти напруження σ_x вздовж зовнішнього контура ABC перехідної зони при висоті виступу зерна із зв'язки $h_p = 140$ мкм.

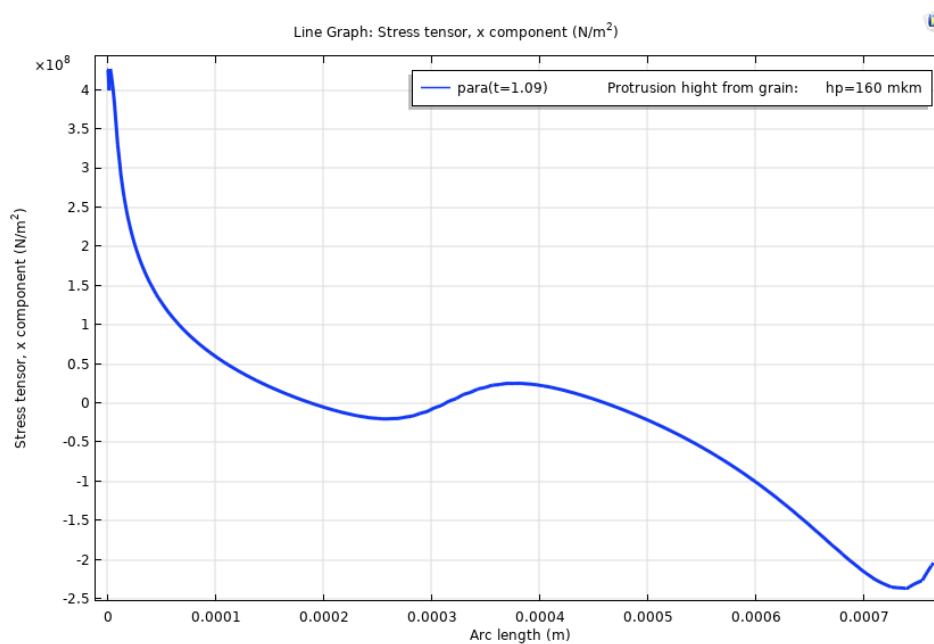


Рис. 3.3.2.6. Розподіл компоненти напруження σ_x вздовж зовнішнього контура ABC перехідної зони при висоті виступу зерна із зв'язки $h_p = 160$ мкм.

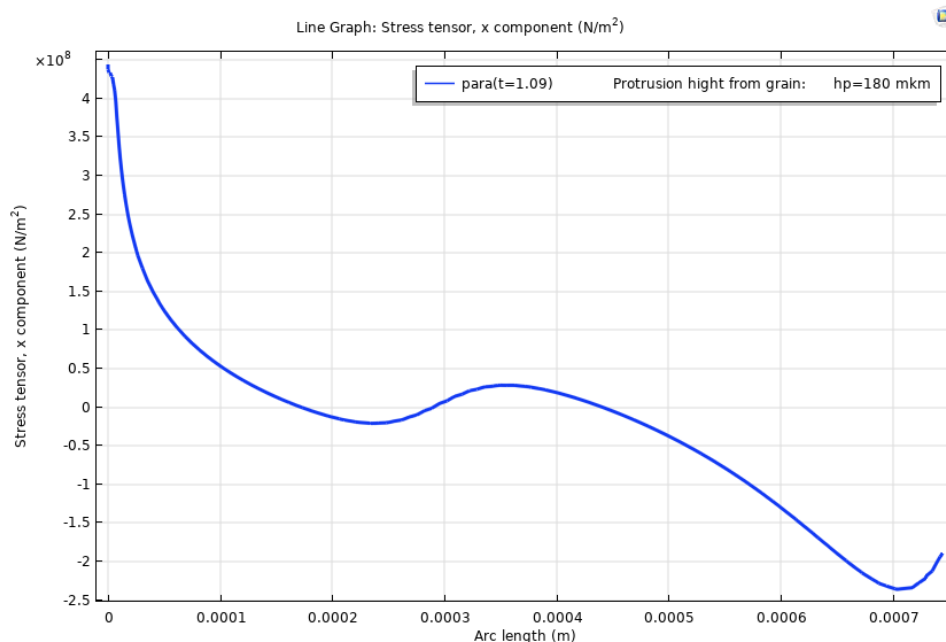


Рис. 3.3.2.7 Розподіл компоненти напруження σ_x вздовж зовнішнього контура *ABC* перехідної зони при висоті виступу зерна із зв'язки $h_p = 180$ мкм.

На рис. 3.3.2.8 наведено графік зміни максимальних напружень розтягу σ_x на початку в т. *A* зовнішнього контуру *ABC* перехідної зони між зерном і зв'язкою в залежності від величини виступу зерна зі зв'язки h_p . З графіка видно, що при досягненні значення $h_p = 135$ мкм величина максимального напруження розтягу σ_x досягає в т. *A* межі текучості $\sigma_s = 400$ МПа матеріалу зв'язки. При збільшенні h_p величина максимального напруження розтягу σ_x зростає. Ці результати можуть бути використані як при прогнозуванні критичних параметрів роботи бурової коронки породоруйнівного інструменту, так і при конструюванні цього інструменту, зокрема при виборі величини виступу зерен зі зв'язки для ефективної роботи інструменту.

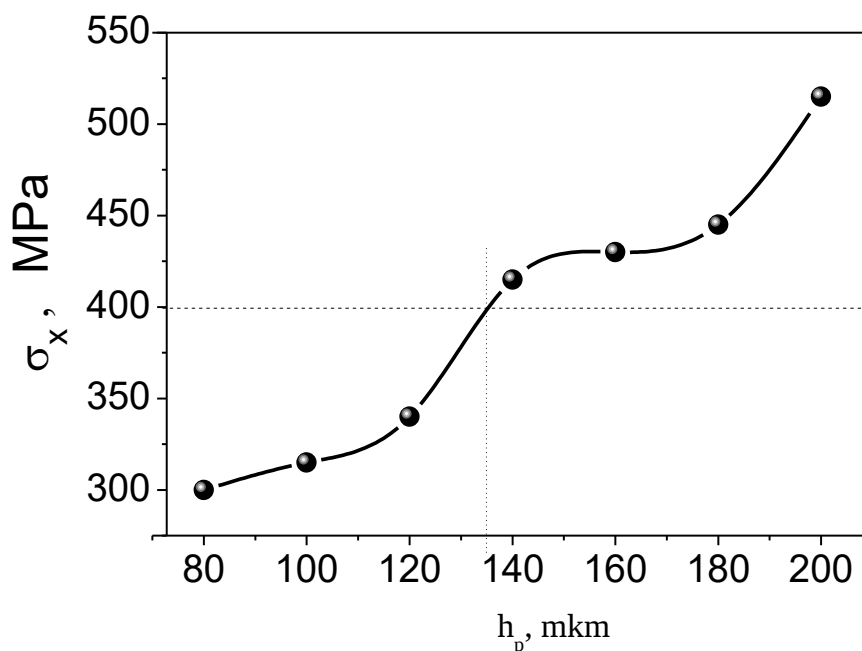


Рис. 3.3.2.8. Зміна обчисленої максимальної величини компоненти напруження σ_x на початку зовнішнього контуру *ABC* перехідної зони в залежності від величини виступу зерна зі зв'язки h_p .

Таким чином, чисельні експерименти по моделюванню напружено-деформованого стану в системі «алмазне зерно–зв'язка» в приповерхневому шарі бурової коронки породоруйнівного інструменту можуть бути використані для прогнозування критичних параметрів роботи породоруйнівного інструменту для певного способу розміщення алмазних зерен у зв'язці.

3.4 Визначення теплопровідності функціональних елементів КАМ

Дослідження впливу зернистості та концентрації, покриттів на теплопровідність виконано спільно з А.С. Беляєвим. У зв'язку з тим, що працездатність каменеоброблювальних алмазних інструментів залежить від здатності їх не тільки руйнувати гірську породу, а й від теплопровідності КАМ, яка забезпечує відведення тепла із зони різання. Було досліджено вплив зернистості, концентрації алмазів на теплопровідність КАМ. Було досліджено три

типи КАМ: перший тип – композити спечені з алмазами без покриття, а другий – композити з алмазами, які були гранульовані металевим хромом та третій - в якому алмази були металізовані карбідом хрому PVD методом.

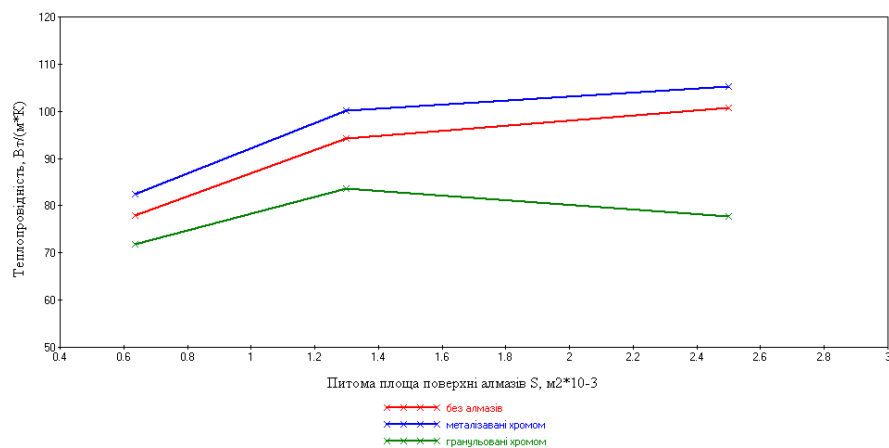


Рис. 3.4.1 – Графік залежності теплопровідності КАМ від питомої площі алмазів та покриттів.

При різанні КАМ з поганим тепловідведенням із зони контакту КАМ та гірської породи, температура може досягати вище 1000 С, що призводить до графітизації алмазів та пластичної деформації зв'язки. Основними факторами, які впливають на відведення тепла від зони різання є теплопровідність зв'язки, теплопровідність алмазів, умови контакту між алмазом та зв'язкою, питома площа поверхні алмазів в КАМ, охолоджувана рідина, швидкість різання. В даній роботі розглядалися вплив покриттів на теплопровідність. На алмази було нанесено покриття карбіду хрому PVD методом та методом гранулювання, оскільки карбіди хрому є одними з найміцніших. На рис. 3.4.1 наведено вплив покриттів на теплопровідність, з яких видно що нижча теплопровідність у зразків із гранульованими алмазами хромом. З попередньо нанесеними покриттям PVD методом спостерігається збільшення теплопровідності на 4-10%, що може свідчити про можливу взаємодію між алмазом та покриттям (зв'язкою) під час спікання.

Висновки до 3 розділу

1. Метод інтенсивного резистивного електроспінання дозволяє зберегти властивості алмазів не призводячи їх графітизації через малу тривалість спікання, що становить 10-19 секунд. Також, зразки мають високу щільність, що коливається в межах від 6,963 до 8,252 в залежності від вмісту алмазів.

2. Розроблена комп'ютерна модель дає змогу отримувати якісну картину напружено-деформованого стану в при поверхневому шарі робочої поверхні бурової коронки з урахуванням пружних і пластичних властивостей матеріалу її зв'язки при силових навантаженнях в процесі роботи бурової коронки.

3. В зразків із гранульованими алмазами значно погіршується теплопровідність, а з алмазами нанесеними PVD методом покриттям покращуються на 4-10% теплопровідність.

Список використаних джерел до 3 розділу

65. Яхутлов М. М., Карамурзов Б. С., Батыров У. Д., Ошхунов М. М., Карданова М. Р. Напряженно-деформированное состояние системы зерно – матрица алмазного инструмента при силовых возмущениях//Сверхтвердые материалы. 2009, № 6, С. 81–88. 1

66. Лавриненко В. И., Шепелев А. А., Петасюк Г. А. Модели формы зерен СТМ // Сверхтв. материалы. 1994, № 5 – 6, С. 18 – 21. 2

67. Xu J. Finite element analysis of Impregnated Diamond Drilling Bits // Tesis submit. for the Doct. of Phil., Univ. of. Adelaide. 2016, 164 p. 3

68. Закора А. П., Богданов Р. К., Каракозов А. А., Ильницкая Г. Д., Попова М. С., Ивахненко С. А., Заневский О. А., Супрун М. В., Ущаповский Ю. П., Супрун Е. М. Исследование и разработка буровой коронки с крупными синтетическими монокристаллическими алмазами. // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и

применения: Сб. науч. тр. – К.: ИСМ им. В. Н. Бакуля НАН Украины, 2013, Вып. 16, С. 32–38. 4

69. Исонкин А. М. Характер разрушения единичным алмазом горных пород с различными упруго-пластическими характеристиками. – Там само. – С. 55–62. 5

70. Куц В. І., Майстренко А. Л., Шмегера Р. С. Механічні властивості одержаної інтенсивним електроспінанням двокомпонентної металевої зв'язки КАМ на основі нікелю // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения: Сб. науч. тр. – К.: ИСМ им. В. Н. Бакуля НАН Украины, 2013, Вып. 16, С. 513 – 520. 6

71. Шмегера Р. С., Куц В. І., Майстренко А. Л. Металічна зв'язка на основі нікелю для інтенсивного електроспінання алмазовмісних композитів // Сверхтв. материалы, 2014, № 6, С. 44 – 53. 7

72. Самсонов Г., Веницкий И. Тугоплавкие соединения. 2-ге вид. Москва : Металлургия, 1976, 560 с. 8

73. Clickner C.C., Ekin J.W., Cheggour N., Thieme C.L.H., Qiao Y., Xie Y.-Y. Goyal A. Mechanical properties of pure Ni and Ni-alloy substrate materials for Y–Ba–Cu–O coated superconductors // Cryogenics. 2006, Issue 46, p. 432 – 438. <https://doi.org/10.1016/j.cryogenics.2006.01.014> 9

74. Zienkiewicz O.C., Taylor R.L. The Finite Element Method, 4th ed., McGraw-Hill, 1991. 10

75. Shmegeera R. S., Kushch V. I., and Maistrenko A. L. Metal binder based on nickel for an intensive electrosintering of diamond-containing composites // Journal of Superhard Materials. 2014, №6, p. 44-53.

76. Інтенсивне електроспінання алмазних бурових коронок та результати їх стендових досліджень /Р.С.Шмегера, В.М.Сердюк, М.В.Супрун// Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент–техника и технология его изготовления и применения: Сб. науч. тр. – Вып.18, - Киев: ИСМ им. В.Н. Бакуля, 2015, с.109-113.

77. Шмегера Р. С. Закономірності формування структури і властивостей алмазовмісних композитів з багатокомпонентною зв'язкою на основі Ni-Sn при інтенсивному електроспіканні : автореф. дис. ... канд. техн. наук. Київ, 2016. 20 с.

РОЗДІЛ 4.

ДОСЛІДЖЕННЯ ІНТЕНСИВНОСТІ ЗНОШУВАННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ЕЛЕМЕНТІВ З КАМ

Проведене дослідження впливу вмісту алмазів КАМ на механізм зношування композитів з різною концентрацією та зернистістю алмазів при різанні на спеціальному стенді на базі токарно-гвинторізного верстату модифікації ДІП-200 пісковика Торезького родовища ІХ категорії буримості. В результаті різання утворюється декілька складових для дослідження поверхня КАМ, гірська порода, а також продукти зношування (матриця на основі систему Ni-Sn(6%), алмази та шлам гірської породи, що будуть відображені в даному розділі.

4.1 Експериментальне дослідження точіння блоків гірської породи з відбором продуктів руйнування та визначенням складових сили різання

Для відбору всіх компонентів руйнування КАМ була розроблена спеціальна ємність. Ємність для збору продуктів руйнування встановлюється жорстко на столі верстату ДІП-200, що переміщується та складається з двох ємностей, одна – для збирання продуктів руйнування матеріалів композиту та гірської породи, а друга для евакуації його в резервуар через патрубок та шланг.

Всі складові зруйнованого матеріалу при мінімізації навантажень, що діють в процесі його відбору при використанні пристрою для відбору зруйнованих матеріалів в результаті динамічної взаємодії блоку гірської породи та експериментального зразка, відбираються без пошкоджень, із максимально, збереженими геометричними параметрами окремих частинок шламу, тому спрощується дослідження механізму руйнування КАМ в процесі відпрацювання по керну гірської породи.

Різні порції зібраних компонентів руйнування є суттєвими джерелами інформації про взаємодію експериментальних КАМ з гірською породою

впродовж одного досліду в різні моменти часу, а саме, про механізм руйнування композиційного алмазовмісного матеріалу з різним розміром та зернистістю алмазів та встановлення ефективності роботи даних матеріалів.

Було виготовлено циліндричні зразки із композиційного алмазовмісного матеріалу на основі системи Ni-Sn (6%) та алмазів з відносною концентрацією алмазів 25%, 50% та 100 % з зернистістю алмазів 200/160, 500/600 та 600/500. Серія зразків була випробувана на вищезазначеному стенді з використанням пристрою для відбору зруйнованого матеріалу в результаті динамічної взаємодії експериментального зразка та блоку гірської породи при одному експлуатаційному режимі. Відбір зруйнованого матеріалу у відповідні шламоприймачі, в результаті відпрацювання кожного КАМ, відбувався без втрати зруйнованого матеріалу, з постійною подачею охолоджувальної рідини, без загострення ситуації, яка б могла призвести до аварійної зупинки верстату.

Проби відібраного та висушеного шламу досліджували за допомогою мікроскопа Ломо Метам Р-1, приладу DiaInspect, OSM фірми VOLLSTADT DIMANT GmbH та скануючого електронного мікроскопа (SEM) ZEISS EVO 50 XVP, оснащеного енергетично-дисперсійним рентгенівським аналізатором Oxford Instruments' UltimMax 100 (елементний аналіз).

Експериментальні випробування з застосуванням пристрою для відбору шламу в результаті динамічної взаємодії блоку гірської породи та експериментального зразка відбувалось наступним чином. Блок гірської породи (пісковіку) діаметром 93 мм і довжиною 400 мм 1, (рис. 4.1.1), було закріплено в затискачах 2 токарно-гвинторізного верстата. Жорстко закріплений на супорті 3 верстату та охолоджений системою охолодження, (яка включає кран 4, до якого з резервуару 11 охолоджувальна рідина переміщується по шлангу 12), завдяки інструментальному тримачу, циліндричний експериментальний елемент 5, виведений на поверхню блоку гірської породи, що обертається, взаємодіє з ним в поздовжньому напрямку. Зібраний, безпосередньо, під зоною взаємодії експериментального елемента та блоку гірської породи у ємності 6 для збирання

шламу, шлам 7 у вигляді суспензії переміщується у ємність для його евакуації 8 через патрубок 9 та шланг 10 у шламоприймач.

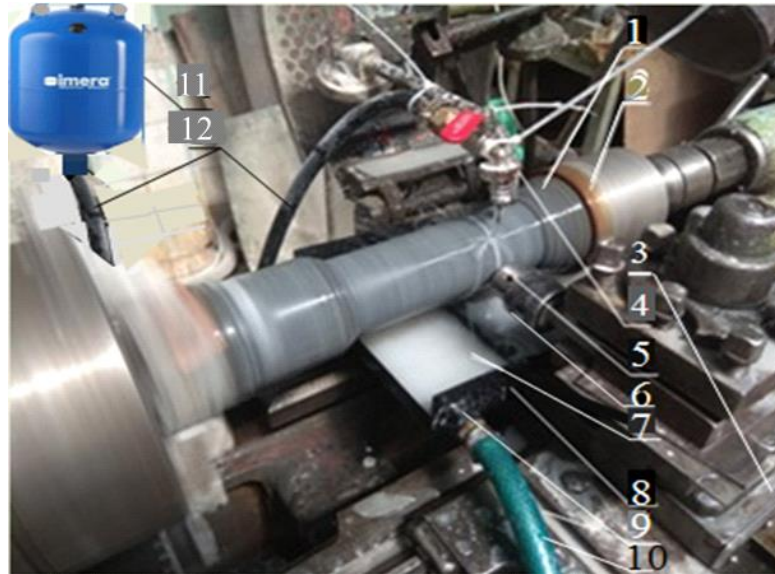


Рис. 4.1.1 – Загальний вигляд спеціального станду на базі токарно-гвинторізного верстату ДПП–200 в процесі досліджень: 1– циліндричний блок гірської породи, 2–державка, 3– супорт верстату, що переміщується в горизонтальному напрямку вздовж верстату, 4 – кран в системі охолодження циліндричного експериментального елемента, 5 – циліндричний експериментальний елемент, закріплений у різцетримачі верстату, 6 – ємність для збирання шламу, 7– шлам, 8– ємність для евакуації шламу, 9– патрубок, що служить для з'єднання ємності для евакуації шламу зі шламоприймачем (на рисунку не показано) , 10– шланг для евакуації шламу в шламоприймач, 11– резервуар з охолоджувальною рідиною, 12–шланг, по якому охолоджувальна рідина з резервуару потрапляє у зону взаємодії експериментального елемента з блоком гірської породи.

Випробовувана вставка КАМ, закріплена в оправці, притискалася до керну, а 3-х координатний динамометр вимірював процес зміни радіальної (P_r) і тангенціальної (P_ϕ) складових сили різання в часі. Також, фіксувалися довжина шляху і тривалість процесу точіння керна. Утворені в процесі точіння керна продукти руйнування пари тертя збиралися в спеціальну ємність для подальшої

сепарації складових, магнітного, хімічного та рентгено-флюоресцентного спектрального аналізів.

4.2 Дослідження впливу параметрів процесу руйнування гірської породи функціональним елементом з алмазовмісного матеріалу на гранулометричні характеристики шламу

За допомогою відпрацьованого шламу гірської породи можна аналізувати ефективність КАМ з різною структурою, а саме розміром зерен та концентрацією алмазів в дослідних зразках. Ефективність металевих композитів забезпечується за допомогою розкриття нових алмазів та подовження процесу різання. Дослідження розмірів та форм частинок зруйнованого матеріалу гірської породи, який утворюється в процесі руйнування або обробки гірської породи, може дати необхідну інформацію для встановлення механізмів руйнування гірської породи та ефективності роботи КАМ.

4.2.1 Дослідження впливу ступеня армування алмазами робочих поверхонь елементів з КАМ на інтенсивність їх зношування

Дослідження зносостійкості було проведене для КАМ з різною концентрацією алмазів без покриттів, зернистостей 630/500, 500/400, 400/315 та 200/160. Також було досліджено один зразок КАМ з алмазами розміром 500/400 мкм, які попередньо були покриті хромом механічним шляхом та PVD покриттям. Залежність інтенсивності зношування від питомої площі армування поверхні алмазами зображена на рис. 4.2.1 та таблиці 4.2.1.

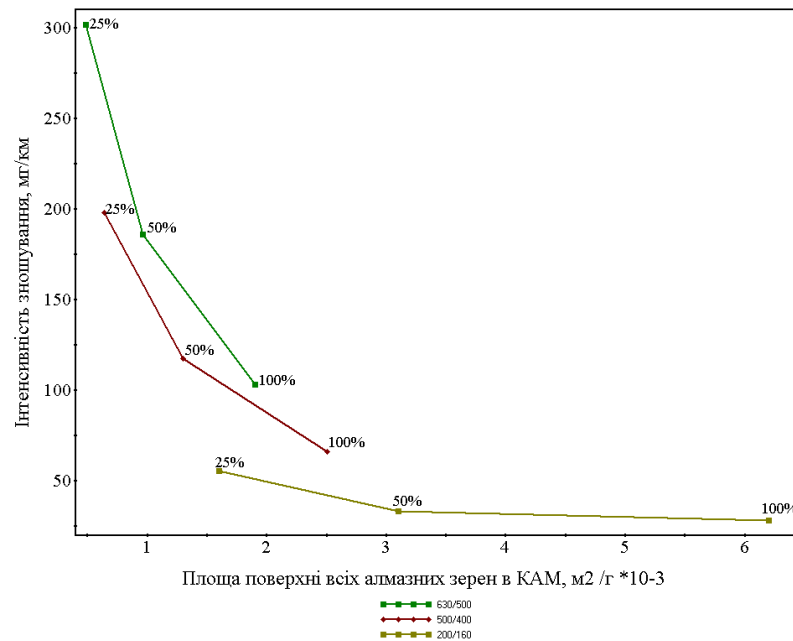


Рис. 4.2.1. Залежності інтенсивності зношування КАМ від величини площі питомої поверхні зерен алмазів у вставці для різної зернистості та концентрації алмазів

З представленої залежності випливає очевидний висновок про те, що зі збільшенням питомої площі поверхні використовуваних в функціональних елементах алмазних порошків, інтенсивність зношування падає. Більш того, якщо апроксимувати отриману залежність простою лінійною функцією виду $\langle \omega \rangle = -0,00736 \langle S \rangle + 2,705$, то з неї випливає, що інтенсивність зношування може бути нульовою $\langle \omega \rangle = 0$ при питомій поверхні армуючої фракції алмазів $\langle S \rangle = 2,705 \text{ мм}^2$, тобто абразивна вставка перетворюється в пару підшипника ковзання, що зрозуміло для абразивного інструменту позбавлене сенсу. Потім, інтенсивність зношування визначалася із співвідношення втрати маси вставки до маси утвореного шламу $\langle \mu \rangle$. Однак, тут слід зауважити, що питома поверхня армуючої фракції алмазів $\langle S \rangle$ хоча і характеризує ступінь армування обсягу елементів КАМ алмазами в цілому, однак не характеризує топографію робочих поверхонь вставок. Тому в цій роботі пропонується ввести нове поняття ступеня армування робочих поверхонь, яке визначається відношенням суми площ поверхонь розкритих кристалів алмазів $\sum \langle s \rangle_a$ до площі робочої поверхні вставки $\langle S \rangle_{\text{вст}}$, яка

перебувала в трибологічному контакті з оброблюваною поверхнею керна ($\sum \langle s \rangle_a / \langle S \rangle_{\text{вст}}$).

Таблиця 4.2.1 – Вплив питомої площі армування робочої поверхні вставки алмазами на інтенсивність зношування КАМ

Композит на основі зв'язки Ni(94)-Sn(6)		Інтенсивність зношування, мг/км	Відносна інтенсивність зношування, ω / ω_0	Площа поверхні всіх алмазних зерен в КАМ, $\text{м}^2 / \text{г} \cdot 10^{-3}$	$\langle s \rangle_a / S_{\text{вст}}$
630/500	100	103,3	0,296	1,900	0,0834
	50	186,0	0,531	0,964	0,0689
	25	301,5	0,861	0,485	0,0290
500/400	100	66,3	0,189	2,500	0,1597
	50	117,7	0,336	1,300	0,0488
	25	197,9	0,565	0,635	0,0290
400/315	50	34,6	0,098	1,5	0,0561
	25	88	0,2514	0,75862	0,0363
200/160	100	45,7	0,081	6,2	0,1254
NiSn	0	350	1	0	0

Слід зауважити, що із збільшенням зернистості алмазів у вставках КАМ їх зносостійкість знижується, що пояснюється збільшенням відстані між алмазами й як наслідок більш інтенсивне зношування зв'язки між ними, розкриттям зерен алмазів з їх наступною екстирпацією.

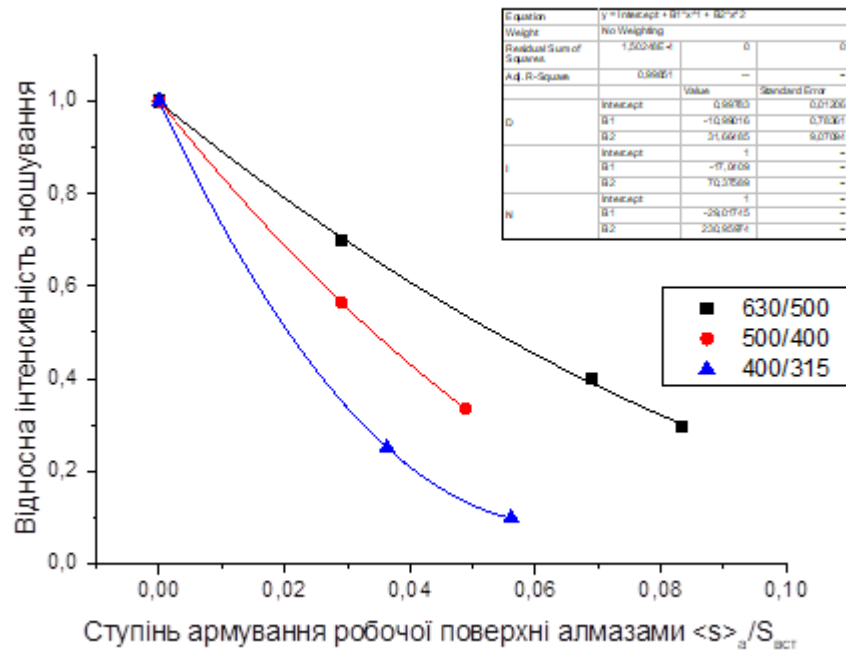


Рис. 4.2.2. Вплив ступеня армування робочих поверхнях вставок алмазами на інтенсивність їх зношування

Графік наведений на рис. 4.2.2 демонструє те, що інтенсивність зношування КАМ з збільшенням ступеня армування робочої поверхні вставок зернами алмазів зменшується. Отримані графічні залежності на рис. 5.4 представимо також у вигляді емпіричного рівняння

$$\omega/\omega_0 = (3D/d)(S_{ал}/S_{вст})^2 - (2D/3d)(S_{ал}/S_{вст}) + 1, \quad (4.2.1)$$

де, $S_{ал}$ – площа розкритих алмазів, які взаємодіють (ріжуть) з гірською породою, $S_{вст}$ – площа робочої поверхні, яка взаємодіє з гірською породою, D – діаметр алмазів, d – діаметр вставки.

яке дає уявлення, що інтенсивність зношування КАМ визначається в основному зносостійкістю зв'язки та ступенем армування робочої поверхні вставки алмазами. Використовуючи це рівняння по відомих величинах інтенсивності

зношування зв'язки та параметрів армування КАМ алмазами можна прогнозувати інтенсивність зношування композиту у функціональних елементах інструментів.

Крім визначення інтенсивності зношування КАМ зроблена спроба оцінити зв'язок працездатності функціональних елементів (відношення отриманої кількості шламу до довжини шляху різання) з інтенсивністю їх зношування. В даному випадку працездатність функціональних елементів представлена як відношення об'єму отриманого шламу до довжини шляху різання пісковика (рис. 4.2.3).

З отриманого графіку залежності працездатності відносно інтенсивності зношування вставки КАМ видно, що відому з практики експлуатації алмазного інструментів найвищу працездатність показують елементи із більшою зернистістю алмазів, навіть з урахування її зменшення з ростом інтенсивності зношування при менших концентраціях алмазів.

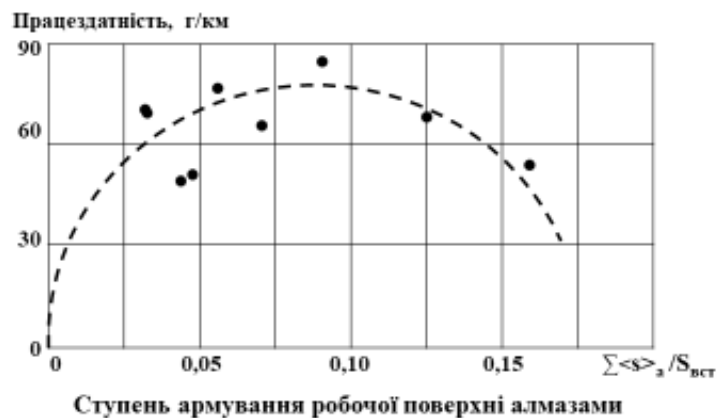


Рис. 4.2.3 – Залежність працездатності функціональних елементів від ступеня армування їх робочих поверхонь

Вплив ступеня армування робочих поверхонь вставок алмазами $\sum \langle s \rangle_a / \langle S \rangle_{вст}$ на інтенсивність зношування КАМ проявляється в зміні вмісту металевих частинок зношування зв'язки КАМ в шламі, яке, як впливає також з отриманої вище залежності (рис. 4.2.3), скорочується в міру збільшення ступеня армування робочих поверхонь вставок.

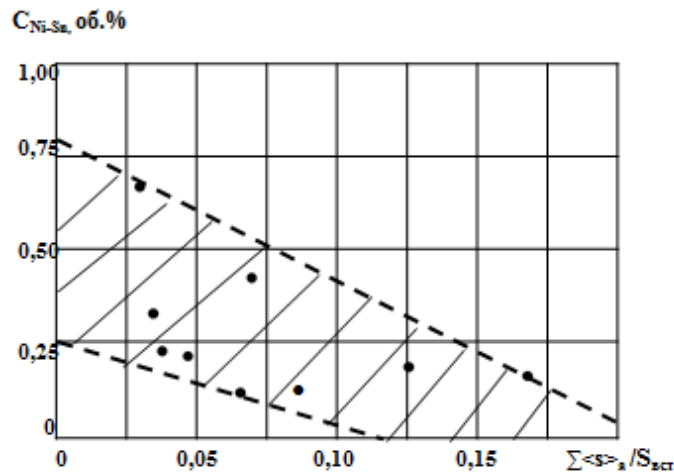


Рис. 4.2.4 - Вплив ступеня армування робочих поверхонь вставок алмазами на вміст металевих частинок зносу зв'язки КАМ в шламi

З отриманої залежності на рис. 4.2.4 випливає, що вміст металевих частинок зв'язки в шламi практично повністю відсутній при $\langle s \rangle_a / S_{вст} \geq 0.21$, що відповідає зернистості алмазів 500/400 мкм і концентрації $\geq 175\%$ ум. % (43,75 об.%) - (див. рис. 5.2.4). Однак, хоча ми і отримаємо в цьому випадку потенційно «не зношуваний» композит, але при такій щільності розподілу алмазів на його робочій поверхні формується суцільний каркас алмазів без наявності каналів необхідних для транспортування утвореного шламу. Зауважимо, що якщо для досліджень процесу зношування при дискретному терті цей стан становить інтерес, то для функціонального елемента абразивного інструменту з КАМ знаходиться в протиріччі з його продуктивністю.

4.3 Профілографічний аналіз топографії контактуючих поверхонь зношування функціональних елементів алмазовмісних породоруйнівних інструментів в процесі руйнування гірської породи

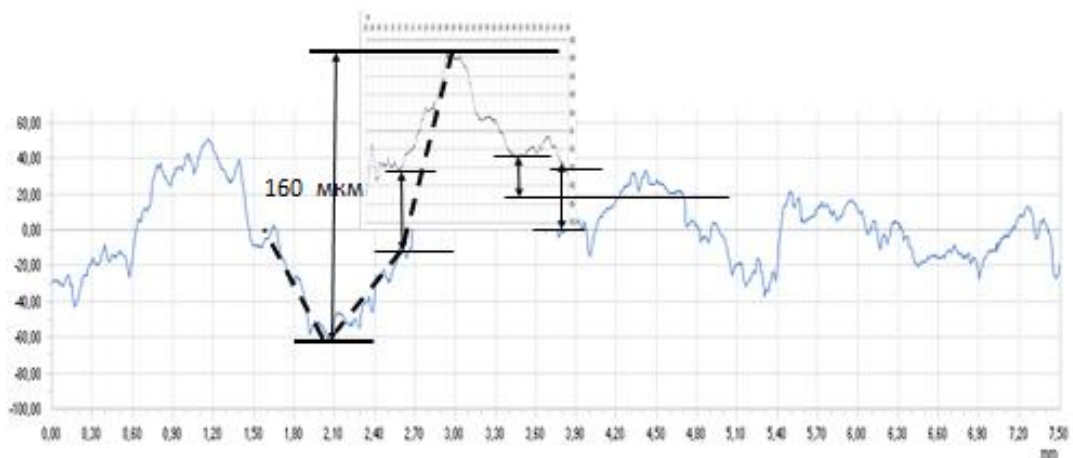
На наступному етапі дослідження аналізувалася топографія робочих поверхонь функціональних елементів, на підставі якої маємо визначити розміри фільтраційного каналу, який утворюється між поверхнями пари тертя, на підставі чого необхідно визначити розміри прошарку між поверхнями пари тертя, що

вміщує продукти руйнування пари тертя (шламу). Через особливості рельєфу поверхні КАМ та гірської породи, були використані різні методи для визначення шорсткості.

Аналіз профілограм поверхонь вставок і відповідних їм зон різання гірської породи показав, що під дією прикладеної сили розподілені на робочій поверхні вставки кристали алмаза заглиблюються в поверхневий шар оброблюваного керна гірської породи на глибину від $R_t = 11,8$ до $33,07$ мкм при виступанні розкритих кристалів алмаза над зв'язкою від 20 до 80 мкм. Тобто розмір прошарку між поверхнями пари дискретного тертя $\langle h \rangle_{\text{прош}}$ змінюється від 10 до 40 мкм (рис. 4.3.1).



а



б

Рис. 4.3.1 – Визначення середньої відстані між парами тертя «гірська порода – КАМ» ($\langle h \rangle_{\text{прош.сер.}}$ від 20 до 40 мкм) – а,б

Інший метод застосовувався через виступання на деяких КАМ великих алмазів. Параметри топографії обох поверхонь були виміряні за допомогою безконтактного 3D сканера Autoscan Inspec від Shining 3D та автоматичного інспекційного 3D-сканера з високою точністю. Для вимірювання поверхні алмазних вставок зернистістю (200/1600) використовувався 3D щуповий профілограф. Ці прилади дозволяли отримувати 2D профілограми для аналізу поверхонь породи та КАМ, що дозволяло визначати відстань між поверхнями пари тертя за допомогою точок дотику, які були очевидні на ріжучих поверхнях КАМ (рис. 4.3.2).

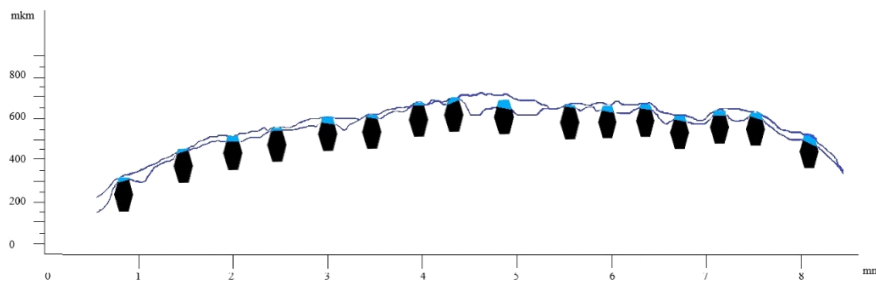


Рис. 4.3.2 – Приклад загального виду сполучених профілограм перетинів поверхонь зразка гірської породи після різання відповідної їй вставки КАМ (200/160 100%),

4.4 Оцінка розмірів каналу між поверхнями пари тертя та щільності шламу в каналі. Класифікація механізмів взаємодії робочої поверхні вставки з гірською породою.

Дискретне тертя відноситься до типу тертя, яке відбувається між поверхнями, що складаються з дискретних елементів, таких як зерна або частки матеріалу. У випадку дискретного тертя між розкритими зернами алмазів, гірською поверхнею та продуктами руйнування (шламом), тертя відбувається між контактними точками поверхні зерен алмазу та гірської поверхні, а також між

частинками зруйнованої породи. Це може призвести до складних ефектів тертя та зносу, які можуть бути складні для моделювання та передбачення.

Для вивчення дискретного тертя можуть використовуватися різні методи, включаючи експериментальні дослідження, чисельні симуляції та аналітичні моделі. Результати таких досліджень можуть бути корисні для вдосконалення процесів, які використовують дискретне тертя, та зменшення витрат на енергію руйнування та матеріали.

Для визначення класифікації взаємодії між КАМ та гірською породою необхідно встановити товщин каналу між ними та розрахувати питому щільність шламу, який проходить через фільтраційний канал. В таб. 4.4.1 наведено результати відстані між КАМ та гірської породи та питому щільність шламу в залежності від зернистості та концентрації алмазів

На підставі вимірювань різниці (таб. 4.4.1) між отриманих профілограм поверхонь вставок й відповідних їм профілограм гірської породи визначили розміри зазору (прошарку) $\langle h \rangle_{\text{прош}}$ висотою від 17 до 110 мкм, в якому знаходяться продукти руйнування (шлам). У такий спосіб формується фільтраційний канал площею від 0,17 до 1,1 мм², у якому транспортується шлам (суспензія), що складається із промивочної води й частинок шламу. При навантаженні вставки при врізанні у гірську породу зерна алмазів заглиблюються внаслідок чого руйнується гірська порода з утворенням частинок шламу, які залишаються у міжзеренному прошарку, що може відповідати різним умовам процесу зношування КАМ, а саме: зношуванню по закріпленому абразиву - I, по вільному абразиву-II або в умовах гідроерозії-III, в залежності від щільності шламу у міжзеренному просторі.

Розглянемо ці варіанти. По-перше відзначимо, що зміна зношування маси вставки відносно маси отриманого шламу складає 0,04...0,29 %, тому зміною конфігурацією робочої поверхні функціонального елемента (вставки) можна умовно знехтувати, тобто вважати їх поверхні незмінними продовж довжини шляху різання (тертя) в рамках чинних випробувань:

I - Припустимо, що зношування вставки КАМ проходить по закріпленому абразиву, тоді $V_{\text{прош}} = S_{\text{вст}} \langle h \rangle_{\text{прош}} = 0$, тобто $\langle h \rangle_{\text{прош}} = 0$, де $V_{\text{прош}}$ – об'єм прошарку між поверхнями пари тертя відсутній, $\langle h \rangle_{\text{прош}}$ – товщина прошарку між поверхнями пари тертя. Такий режим призводить до різкого підвищення температури в парі тертя, яка викликає графітизацію алмазів та використовується на практиці у випадку примусового вскриття алмазів в елементах з КАМ.

II - Якщо зношування КАМ проходить в умовах тертя вставки по вільному абразиву з щільністю $\rho_{\text{прош}} \leq \rho_{\text{піск}} (2,44 \text{ г/см}^3)$, тоді при $m_{\text{шл}} = m_{\text{прош}}$ об'єм $V_{\text{прош}} \geq V_{\text{шл}}$ й цю умову можна буде записати в наступному вигляді $\rho_{\text{прош}} = m_{\text{шл}} / V_{\text{прош}} = m_{\text{шл}} / LD \langle h \rangle_{\text{прош}} \leq 2,44$, де L - довжина шляху різання; D – діаметр контактної поверхні вставки. При змінюванні $\langle h \rangle_{\text{прош}}$ від 17 до 110 мкм щільність шламу $\rho_{\text{прош}}$ у прошарку буде змінюватись від 0,0782-0,4187 г/см³, що означає присутність шламу у прошарку в стані вільного абразиву.

III – Якщо $\rho_{\text{прош}} \ll \rho_{\text{шл}}$, тоді при $m_{\text{шл}} = m_{\text{прош}}$ буде $V_{\text{шл}} \ll V_{\text{прош}}$, тобто має бути зношування КАМ в присутності суспензії, яка складається з частинок шламу та промивочної води.

У розглянутих умовах процес зношування КАМ можна умовно підрозділяти на два основні види втрати маси вставки: 1- розкриття кристалів алмаза із зв'язки до критичної висоти виступання з їхнім наступним видаленням та 2 - абразивне зношування поверхні зв'язки вставки, яка знаходиться між алмазами, супроводжуваний утворенням борозенок зношування. Але через те, що маса вилучених зі зв'язки кристалів алмаза та графіту становить тільки частку відсотку від маси втрати зв'язки, основна увага приділяється саме механізму ініціювання й розвитку процесу відокремлення (відколам) фрагментів зв'язки від поверхні борозенок між алмазами.

Для зразків з зернистістю 200/160 товщина зазору становить 17-35 мкм, для яких характерний пластичний зсув зв'язки, що не спостерігається в КАМ з більшою зернистістю алмазів. Через це можна зробити висновок, що КАМ 200/160 концентрацією 25%, 50%, 100%, мають надзвичайно малий фільтраційний

канал, що дає підставу стверджувати КАМ руйнується по закріпленому абразиву та виділяється велика кількість тепла, а між поверхнями КАМ з розміром алмазів 630/500, 500/400 та гірською породою він становить 65-110 мкм, який забезпечує інтенсивне охолодження робочої поверхні вставки й винос шламу.

Таблиця 4.4.1. Визначення відстаней між поверхнями тертя та питома щільність шламу

Склад зразків КАМ	Довжина рейсу, м	Маса шламу, г	Відстань між КАМ та гірською породою, <h>, мкм	Питома щільність шламу, г/см ³
630/500, 50% ум.	946,0	61,48	95	0,0782
630/500, 25%	899,0	62,67	75	0,0991
500/400, 100%	860,4	47,94	110	0,1013
500/400, 50%	671,4	35,4	70	0,0861
500/400, 25%	768,1	52,85	65	0,1129
200/160, 100%	744,0	51,33	35	0,2628
200/160, 50%	997,3	76,00	21	0,4187
200/160, 25%	1019,4	64,40	17	0,4035

Висновки до розділу 4

1. Методами оптичної та контактної профілометрії досліджено топографію зношування робочих поверхонь КАМ з різним ступенем армування робочих поверхонь та відповідні до них поверхні руйнування гірської породи. Аналіз отриманих профілограм показав, що середня відстань між поверхнями пар тертя змінюється $\langle h \rangle_{\text{прош}}$ від 17 до 110 мкм, а щільність шламу $\rho_{\text{прош}}$ у прошарку може змінюватись від 0,208 до 0,831 г/см³, що дає підставу оцінити присутність шламу в прошарку у стані вільного абразиву;

2. Для КАМ із зернами алмазів зернистістю 200/160 та концентрацією 25%, 50%, 100% розмір прошарку становить 17 – 35 мкм, що значно менше ніж КАМ з

більшими зернами алмазів, можна зробити висновок, що в механізмі руйнування КАМ бере участь абразивне зношування.

Список використаної літератури до 4 розділу

78. Гибридный алмазный композиционный поликристаллический материал и его свойства / Шульженко А.А., Ашкинази Е.Е., Богданов Р.К., Закора А.П. // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент–техника и технология его изготовления и применения: Сб. науч. тр. – Вып.13, - Киев: ИСМ им. В.Н. Бакуля, 2010, с.214-223.

79. Геометричні параметри частинок продуктів зношування матричного матеріалу у породоруйнівних елементах із композиційного алмазовмісного матеріалу, вилучених методом магнітної сепарації зі шламу / О.П. Виноградова, О.У. Стельмах, А.С.Манохін, Г.А. Петасюк , О.С. Васильчук, А.Л. Майстренко // Матеріали міжнародної конференції «Проблеми геоінженерії та підземної урбаністики», 29-31 травня 2019 року. - КПП ім. Ігоря Сікорського.

80. Baron L.I. Defining the properties of rocks / L.I. Baron, B.M. Loguntsov, E.Z. Posin. // М.: St. Sci. Tehn. publish. lit. on mining. 1962, 224 p.

81. Анализ трещиностойкости гранита и известняка с позиций механики разрушения / Макридин Н.И., Максимова И.Н.,Соколова Ю.А.,Суров И.А. // Строительные материалы. 2014, №3, с.101-104.

82. Аналіз продуктів зношування композиційного алмазовмісного матеріалу / О.П. Виноградова, А.Л. Майстренко, Р.С. Шмегера, А.С. Манохін, Г.Д. Ільницька, Н.О. Олійник, Г.А. Петасюк, В.М. Ткач, О.С. Васильчук, Л.М. Бологова // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения: Сб. науч. тр. – К.: ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины, 2019, Вып. 22, С.93-102.

83. Александров В.А. Обработка природного камня алмазным дисковым инструментом. // Киев: Наукова думка. 1979, 239 с.

84. Сверхтвердые материалы в геологоразведочном бурении /Зыбинский П.В., Богданов Р.К., Загора А.П., Исокин А.М. //Донецк. Норд-пресс., 2007, 244с.

85. Shmegeera R. S., Kushch V. I., and Maistrenko A. L. Metal binder based on nickel for an intensive electrosintering of diamond-containing composites // Journal of Superhard Materials. №6, 2014, p. 44-53.

86. Інтенсивне електроспінання алмазних бурових коронок та результати їх стендових досліджень /Р.С.Шмегера, В.М.Сердюк, М.В.Супрун// Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент–техника и технология его изготовления и применения: Сб. науч. тр. – Вып.18, - Киев: ИСМ им. В.Н. Бакуля, 2015, с.109-113.

87. Гибридный алмазный композиционный поликристаллический материал и его свойства / Шульженко А.А., Ашкинази Е.Е., Богданов Р.К., Загора А.П. // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент–техника и технология его изготовления и применения: Сб. науч. тр. – Вып.13, - Киев: ИСМ им. В.Н. Бакуля, 2010, с.214-223.

88. Геометричні параметри частинок продуктів зношування матричного матеріалу у породоруйнівних елементах із композиційного алмазовмісного матеріалу, вилучених методом магнітної сепарації зі шламу / О.П. Виноградова, О.У. Стельмах, А.С.Манохін, Г.А. Петасюк , О.С. Васильчук, А.Л. Майстренко // Матеріали міжнародної конференції «Проблеми геоінженерії та підземної урбаністики», 29-31 травня 2019 року. - КПП ім. Ігоря Сікорського.

89. Baron L.I. Defining the properties of rocks / L.I. Baron, B.M. Loguntsov, E.Z. Posin. // M.: St. Sci. Tehn. publish. lit. on mining. 1962, 224 p.

90. Анализ трещиностойкости гранита и известняка с позиций механики разрушения / Макридин Н.И., Максимова И.Н.,Соколова Ю.А.,Суров И.А. // Строительные материалы. №3, 2014, с.101-104.

91. Аналіз продуктів зношування композиційного алмазовмісного матеріалу / О.П. Виноградова, А.Л. Майстренко, Р.С. Шмегера, А.С. Манохін, Г.Д. Ільницька, Н.О. Олійник, Г.А. Петасюк, В.М. Ткач, О.С. Васильчук, Л.М. Бологова // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент –

техника и технология его изготовления и применения: Сб. науч. тр. – К.: ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины, 2019, Вып. 22, С.93-102.

92. Александров В.А. Обработка природного камня алмазным дисковым инструментом. // Киев: Наукова думка. 1979, 239 с.

93. Сверхтвердые материалы в геологоразведочном бурении /Зыбинский П.В., Богданов Р.К., Закора А.П., Исокин А.М. //Донецк. Норд-пресс., 2007, 244с.

РОЗДІЛ 5

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОДУКТІВ РУЙНУВАННЯ ГІРСЬКОЇ ПОРОДИ ФУНКЦІОНАЛЬНИМИ ЕЛЕМЕНТАМИ З КОМПОЗИЦІЙНИХ АЛМАЗОВМІСНИХ МАТЕРІАЛІВ

Дослідження проводили на шламi, який отримували при точінні блоку пісковику (керні) Торезького родовища експериментальними функціональними елементами (вставками) діаметром 10 мм. Вставки було виготовлено методом резистивного електроспінання пропусканням струму 1,2–1,4 кА під тиском 300–400 МПа при температурі до 700–850⁰С. Час спікання 10–20 с.. Матеріал зв'язок - металічна зв'язка Ni(94%) – Sn(6%) армована порошком алмазу марки АС 300, зернистістю 630/500, 500/400 та 200/160, концентрація порошку алмазу - 25; 50; 100 умов.%, густина експериментальних зразків з КАМ варіювалась в інтервалі 6,933–8,094 г/см³, інтенсивність зношування – 34,6–301,5 мг/км.

Зразки випробовували на стенді, створеному на базі токарно-гвинторізного верстата моделі ДПІ-200. Обробляли циліндричний блок пісковику. Швидкість обертання керна становила – 355 хв⁻¹, глибина впровадження – 0,5 мм.

Пісковик містить складові: кварц (SiO₂ в кількості 75 – 85 об. %); доломіт (CaMg(CO₃)₂); пірит (FeS₂). Складові з'єднані глинистим цементом. Їх твердість за шкалою Мооса складає 7; 3,5–4,0; 6–6,5, відповідно.

Зразки шламу та порошку алмазу досліджували комплексом відомих методів. Визначали масову частку домішок (мас. %), питому магнітну сприйнятливість (χ , м³/кг), питомий електроопір (ρ , Ом·м), коефіцієнт поверхневої активності (K_a , %). Визначення розподілення за розмірами частинок шламу проводили з використанням приладу DiaInspect.OSM та системно-аналогового методу за методиками. Питому площу поверхні порошку алмазу ($S_{БЭТ}$, м²/г) визначали методом адсорбційно-структурного аналізу (ACA) за допомогою газоадсорбційного аналізатора NOVA 2200 (Quantachrome, USA).

Розділення шламу в магнітному полі та встановлення магнітофракційного складу шламу проводили за новою, розробленою методикою. Елементний склад отриманого матеріалу (осаду) досліджували методом мікрорентгеноспектрального аналізу за допомогою електронного скануючого мікроскопа «Zeiss EVO 50 XVP».

Спільно із співробітниками комплексної контрольно-аналітичної лабораторії Інституту сорбції та проблем ендоекології НАН України методом рентенофлюоресцентної спектрометрії з використанням приладу "X-Ray Fluorescence Spectrometr Elvax", Сер-01 (Україна) встановлювали елементний склад шламу та досліджували вплив структури КАМ на металевій зв'язці з різною концентрацією і зернистістю абразивної (армівної) складової, отриманого методом резистивного електроспікання під тиском до 400 МПа, на характеристики шламу, який отримано при точінні пісковика Торезького родовища.

Інтенсивність зношування експериментальних функціональних елементів встановлювали за методикою, як відношення втрати маси елемента до величини його проходки по гірській породі.

5.1 Аналіз елементного, хімічного та фазового складу продуктів руйнування гірської породи та матричного матеріалу експериментальних функціональних елементів з КАМ на металевій основі.

Дослідження фізико-механічних характеристик шліфпорошків синтетичних алмазів, які застосовують у експериментальних функціональних елементах з КАМ проводили на прикладі порошку алмазу марки АС200 зернистості 400/315. Результати дослідження порошку алмазу наведено на рис. 5.1.1, табл. 5.1.1.

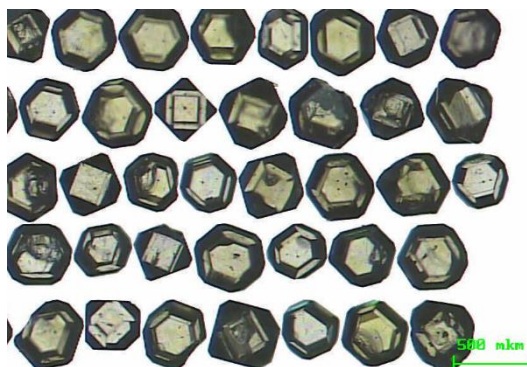


Рис. 5.1.1. Загальний вигляд порошку (зображення отримано із застосуванням пристрою DialInspect, OSM)

Як видно з рис. 5.1.1 частинки порошку представлені кристалами алмазу з формою октаєдрів та кубоокаєдрів. Морфометричні характеристики, однорідність і стабільність порошку алмазу наведено у табл. 5.1.1.

Таблиця 5.1.1 Морфометричні характеристики, однорідність і стабільність порошку алмазу марки AC200 зернистістю 400/315

Характеристики	Значення		
	Середнє значення	Стабільність	Однорідність
Максимальний діаметр, мкм	451,89	0,70599	0,9126
Мінімальний діаметр, мкм	393,02	0,70579	0,7989
Компактність (форм-фактор проекції зерна)	1,1869	0,84324	0,9141
Еліптичність	1,0762	0,80335	0,8965
Feret-подовження (аналог коефіцієнта форми за ДСТУ 3292-95)	1,1521	0,77411	0,8547
Шорсткість зерен	1,0571	0,92629	0,9143
Еквівалентний діаметр зерна, мкм	416,35	0,73157	0,8626

Як впливає з результатів табл. 5.1.1, характеристики порошку стабільні. Порошок за розмірами, формою, шорсткістю поверхні однорідний.

Фізико-хімічні та фізико-механічні характеристики порошку алмазу марки AC200 наведено у табл. 5.1.2.

Таблиця 5.1.2 Характеристики порошку алмазу марки AC200 зернистістю 400/315

Характеристики			Значення	
			Встановлені	Відомі [джерело]
Розподіл зерен	Основна фракція	Інтервал, мкм	315-400	315-400

порошку за розмірами		Масова частка, мас. %	78,6	$\geq 80,0$ [14,15]
	Допоміжна фракція	Інтервал, мкм	250-315	Крупніша та більш тонка за основну фракцію
		Масова частка, мас. %	21,4	$\leq 20,0$ [15,16]
Зовнішня питома поверхня, м ² /кг			4,9	-
Кількість різальних кромок , шт.			21	-
Середнє значення кутів загострення різальних кромок, ф, град			125,1	-
Питома площа поверхні, S _{БЭТ} ·10 ⁻² , м ² /г			3,5	-
Питома магнітна сприйнятливість, $\chi \cdot 10^{-8}$, м ³ /кг			8,4	10,2 [16]
Коефіцієнт поверхневої активності, Ка, %			0,05	0,12 [16]
Питомий електроопір, ρ, Ом·м			5,8·10 ⁹	-
Масова частка домішок (неспалимий залишок), мас. %			0,39	0,44 [16]

Як впливає з результатів наведених у табл. 5.1.2, основні отримані характеристики порошку, що використовували для виготовлення КАМ співпадають з характеристиками згідно з ДСТУ 3292-95-К.: Госстандарт України та ТУ У 28.5-05417377-075-2003, та співпадають з характеристиками порошку, що наведені в роботі.

Виходячи з показників, що наведено у табл. 5.1.2, порошок АС200 зернистості 400/315 однорідний за розмірами, має невелику кількість домішок. Це підтверджується незначною питомою магнітною сприйнятливостю та питомим електроопором.

Дослідження фізико-механічних і фізико-хімічних характеристик шламу

Для встановлення вихідних даних для розробки методики розділення шламу встановлено питомий електроопір та питому магнітну сприйнятливості вихідного

шламу руйнування Торезького пісковику та після розчинення їх металевої складової. Результати наведено у табл. 5.1.3 .

Таблиця 5.1.3. Вміст металевої складової зразків шламу та питомий електроопір зразків шламу, які отримано в процесі обробки Торезького пісковику.

Маса вихідного зразку, г	Маса зразка після хімічної обробки, г	Вміст металевої складової шламу, мас. %	Питомий електроопір, Ом·м	
			Вихідний зразок	Зразок після хімічної обробки
Торезький пісковик				
1,0000	0,8511	14,89	$4,62 \cdot 10^{10}$	$3,49 \cdot 10^{10}$
1,0000	0,8875	11,25	$6,96 \cdot 10^{10}$	$7,59 \cdot 10^{11}$
1,0000	0,8039	19,61	$2,70 \cdot 10^9$	$6,11 \cdot 10^{11}$

Визначено питому магнітну сприйнятливність керна (пісковик до обробки) та продуктів розподілу шламу у магнітному полі. Результати наведено у таблиці 5.1.4.

Таблиця 5.1.4. Питома магнітна сприйнятливність пісковику Торезького родовища (керна) та вихідного зразку шламу.

Зразок			Маса, г	Питома магнітна сприйнятливість $\chi \cdot 10^{-8}$, м³/кг	Середнє значення, $\chi \cdot 10^{-8}$, м³/кг
Пісковик Торезького родовища (частинки керна)			0,0659	1,85	2,36
			0,0478	2,86	
Шлам	№1	Немагнітна фракція	0,0540	3,38	3,3
			0,0552	3,31	
		Магнітна фракція	0,0103	506,7	505,0
	№2	Немагнітна фракція	0,1643	97,62	3,3
			Магнітна фракція	0,0103	2,38
Вихідний матеріал			0,1746	100,0	33,0

З таблиці 5.1.4 випливає, що обробка пісковиків Торезького родовища експериментальним функціональним елементом з КАМ призводить до зростання питомої магнітної сприйнятливості шламу порівняно до вихідного пісковиків у 12,42–13,98 рази.

Розподіл шламу у магнітному полі дозволяє отримати фракції матеріалу, які суттєво (у 153,5 разів) відрізняються за величиною питомої магнітної сприйнятливості.

Дослідження шламу, який було отримано при різних умовах обробки показало, що його питома магнітна сприйнятливість складає $(26,80\text{--}85,89) \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$. Порівняно до питомої магнітної сприйнятливості пісковиків Торезького родовища, яка складає $2,36 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$ питома магнітна сприйнятливість шламу в 11,4–36,4 рази більша. Виходячи з цього, та враховуючи, що питома магнітна сприйнятливість порошку алмазу дорівнює $8,4 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$, можна очікувати, що у шламі знаходяться металеві частинки зруйнованої зв'язки функціональних елементів.

Результати дослідження магнітофракційного складу шламу наведено на рис. 5.1.5,

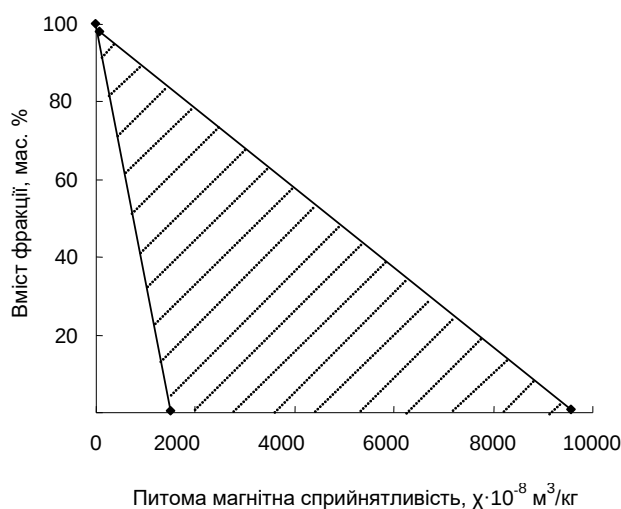


Рис. 5.1.5. Магнітофракційний склад шламу, який отримано при руйнуванні пісковиків Торезького родовища у різних умовах, експериментальними функціональними елементами з КАМ

З рис. 5.1.5 видно, що шлам можна поділити на фракції з різними значеннями питомої магнітної сприйнятливості. Так, наприклад, фракція з високою питомою магнітною сприйнятливістю $((1500-9500) \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг})$ складає 0,44–0,80 мас. % шламу. Фракція з питомою магнітною сприйнятливістю $((3,9-8,8) \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг})$ складає 96,06–97,99 мас. % шламу.

Таким чином, за результатами роботи встановлено:

1. Характеристики порошку алмазу, який застосували у експериментальних функціональних елементах з КАМ свідчать, що порошок за розмірами, формою, шорсткістю поверхні однорідний, має незначну кількість домішок.

2. Дослідженнями магнітофракційного складу шламу обробки пісковика Торезького родовища показано, що за допомогою розділення у магнітному полі шламу можуть бути отримані фракції матеріалу, які суттєво (у 153,5 разів) відрізняються за величиною питомої магнітної сприйнятливості в інтервалі $(3,9 - 9500) \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$. Причому масова частка шламу з питомою магнітною сприйнятливістю на рівні $((1500-9500) \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг})$ складає 0,44–0,80 мас. %, - з питомою магнітною сприйнятливістю $((3,9-8,8) \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг})$ складає 96,06–97,99 мас. %.

Отримані результати можуть служити вихідними даними для розробки методики розділення шламу (продуктів руйнування гірської породи та продуктів зношування функціональних елементів з КАМ). Результати роботи відображено у роботі.

5.2 Дослідження зміни магнітофракційного складу шламу під впливом різної інтенсивності зношування експериментальних функціональних елементів з КАМ на металевій основі

Досліджували характеристики шламу, який отримували при швидкостях подачі різця 0,148, 0,18, 0,26 мм/об, в результаті яких забезпечували дискретну інтенсивність зношування функціональних елементів 75, 105, 170 мг/км,

відповідно. Інтенсивність зношування встановлювали за методикою [10], як відношення втрати маси елементу до величини його проходки по гірській породі.

Результати дослідження розмірів частинок шламу та розподілення частинок за розмірами наведено на рис. 5.2.1.

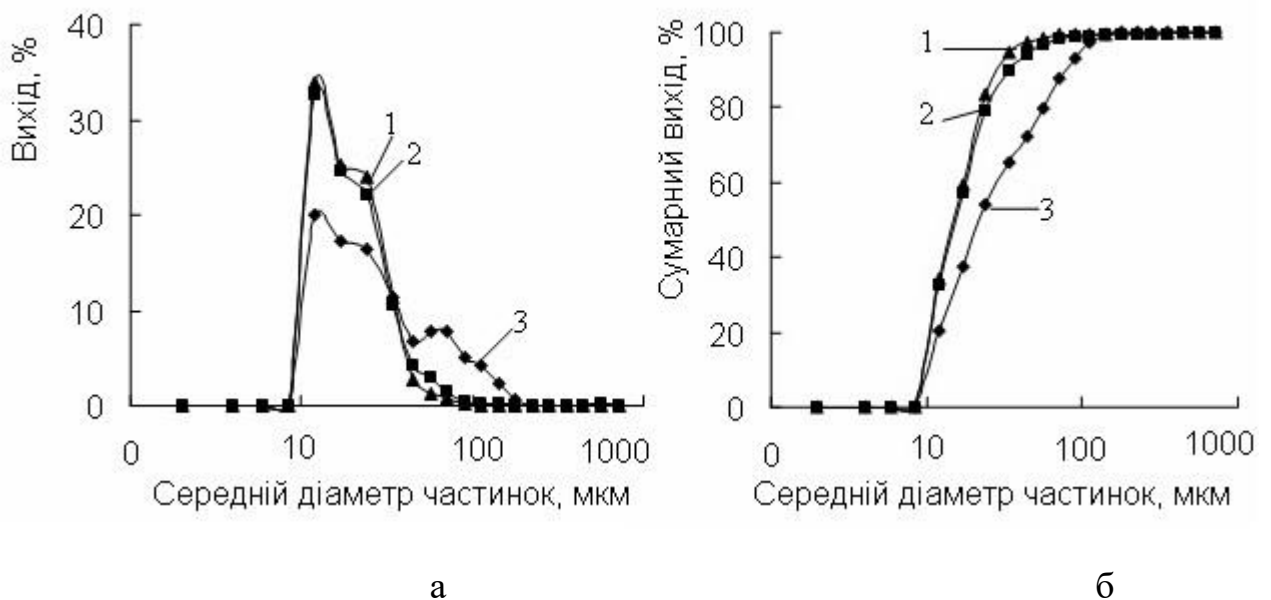


Рис. 5.2.1 - Розподілення частинок шламу за розмірами (диференційне) – а; інтегральне – б (характеристики крупності): при інтенсивності зношування елементів з КАМ: 1 – 75 мг/км; 2 – 105 мг/км; 3 – 170 мг/км

Крива диференційного розподілення частинок шламу за розмірами відображає залежність кількості частинок (у відсотках) від середнього діаметру частинок. З рисунку 5.2.1 а можна зрозуміти, що розподілення частинок шламу за розмірами залежить від інтенсивності зношування елементу. При інтенсивності зношування елементів 75 та 105 мг/км частинки розподілені в інтервалі 12-450 мкм. Але при збільшенні інтенсивності зношування до 170 мг/км інтервал розподілення звужується до 12-225 мкм.

Інтегральна крива розподілення частинок шламу за розмірами відображає загальну кількість частинок з розміром менше заданого середнього діаметру, і розраховується на основі диференційного розподілення. Ця крива дозволяє визначити кількість частинок шламу в заданому діапазоні розмірів. З рисунку

5.3.1 б видно, що основна кількість частинок шламу (99,60; 98,85; 92,82 % при інтенсивності зношування 75; 105; 170 мг/км, відповідно) зосереджена в діапазоні розмірів від 12 до 90 мкм.

Рівняння апроксимації інтегрального розподілення середнього діаметру частинок дозволяють встановити кількість шламу у заданому інтервалі розмірів частинок (табл. 5.2.1) із забезпеченням достовірності більше 0,85.

Таблиця 5.2.1. Апроксимація кривих інтегрального розподілення частинок шламу за розмірами

Інтенсивність зношування КАМ, мг/км	Апроксимація кривих сумарного виходу (% , кількості частинок шламу	Інтервал середнього діаметра частинок, мкм	Достовірність апроксимації, R^2
170	$y=73,477Lgx-51,742$	12–143	0,9729
105	$y=82,441Lgx-45,029$	12–71,5	0,8862
75	$y=82,164Lgx-45,05$	12–71,5	0,8505

Проведені дослідження магнітних властивостей різних компонентів шламу показали, що питома магнітна сприйнятливості пісковика Торезького родовища становить $2,36 \cdot 10^{-8}$ мЗ/кг, для алмазного порошку марки АС 200 зернистості 400/315 – $8,4 \cdot 10^{-8}$ мЗ/кг, а металовмісні складові функціональних елементів з КАМ мають значення в діапазоні від $(9000-10000) \cdot 10^{-8}$ мЗ/кг..

У дослідженні були проаналізовані магнітні властивості шламу, який отримано при двох різних інтенсивностях зношування елементів з КАМ: 170 мг/км та 75 мг/км. Виявлено, що величина питомої магнітної сприйнятливості шламу різнилась при цих інтенсивностях та складала відповідно $(42,94$ та $85,80) \cdot 10^{-8}$ кг/мЗ. На рисунку 5.2.2 представлено результати диференційного та інтегрального магнітнофракційного аналізу шламу, отриманого шляхом розділення у магнітному полі.

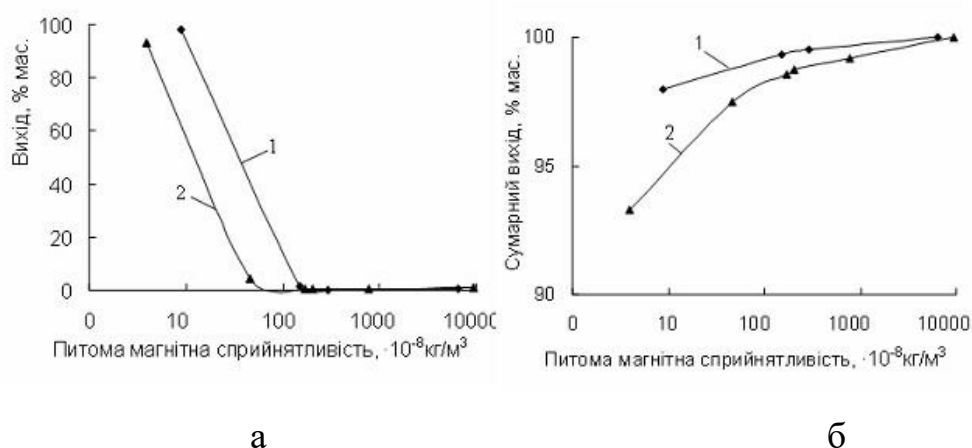


Рис. 5.2.2. Магнітнофракційний склад шламу (диференційний (а), інтегральний (б)) при інтенсивності зношування елементів з КАМ: 1 – 75 мг/км; 2 – 170 мг/км

На основі дослідження магнітних характеристик шламу, що був отриманий при різних інтенсивностях зношування експериментальних елементів з КАМ, було проведено аналіз розподілення маси частинок шламу з різною магнітною сприйнятливістю за допомогою диференційного та інтегрального магнітнофракційного складу (рис. 5.2.2). Із зображень видно, що питома магнітна сприйнятливість фракцій шламу знаходиться в діапазоні (8,8–6480) $10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$ для елементів зношування 75 мг/км та (3,9–9500) $10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$ для елементів зношування 170 мг/км. Високі значення питомої магнітної сприйнятливості було встановлено у шламі та магнітній фракції, які були отримані при більш високих інтенсивностях зношування елементів. Це може пояснюватися більшою кількістю металовмісних частинок зносу, які потрапляють у шлам при збільшенні інтенсивності зношування. Вихід магнітної фракції також залежить від інтенсивності зношування та складає від 0,44 до 0,80 мас. %.

Результати досліджень характеристик шламу обробки пісковика Торезького родовища за допомогою експериментальних функціональних елементів з КАМ, виготовлених методом інтенсивного резистивного електроспікання під тиском 300 МПа, на основі матричного матеріалу Ni(94%)-Sn(6%), що містить

шліфпорошок алмазу марки AC200 зернистості 400/315 з відотною концентрацією $K=100$, свідчать про:

- розміри та інтервал розподілення частинок шламу залежать від інтенсивності зношування функціональних елементів з КАМ та були виміряні за допомогою приладу DiaInspect OSM. При збільшенні інтенсивності зношування з 75 до 170 мг/км інтервал розподілення частинок стає меншим і складає від 12 до 225 мкм. У той же час, незалежно від інтенсивності зношування елементу, понад 90% частинок розподіляється в інтервалі розмірів 12–90 мкм.

- функцією $y=a \cdot \lg(x)+b$ можна описати інтегральне розподілення частинок шламу за розмірами. Було визначено коефіцієнти цієї апроксимації для інтенсивностей зношування функціональних елементів з КАМ 75, 105 та 170 мг/км. Отримані результати забезпечують достовірний розрахунок вихідних фракцій шламу заданого розміру з точністю не менше, ніж $R^2=0,85$

- магнітна сприйнятливість окремих складових шламу визначена наступним чином: для пісковика Торезького родовища вона складає $2,36 \cdot 10^{-8}$ мЗ/кг, для алмазного порошку марки AC 200 зернистості 400/315 - $8,4 \cdot 10^{-8}$ мЗ/кг, а для металовмісних складових функціональних елементів з КАМ $(9000-10000) \cdot 10^{-8}$ мЗ/кг.

- залежність величини питомої магнітної сприйнятливості від інтенсивності зношування функціональних елементів з КАМ відображається зростанням значень при збільшенні інтенсивності зношування з 75 до 170 мг/км. При цьому спостерігається збільшення питомої магнітної сприйнятливості шламу у 2 рази, магнітної фракції у 1,5 рази та вмісту магнітної фракції у 1,8 рази.

5.3 Дослідження гранулометричного складу продуктів зношування алмазо-вмісного композиту та продуктів руйнування гірської породи

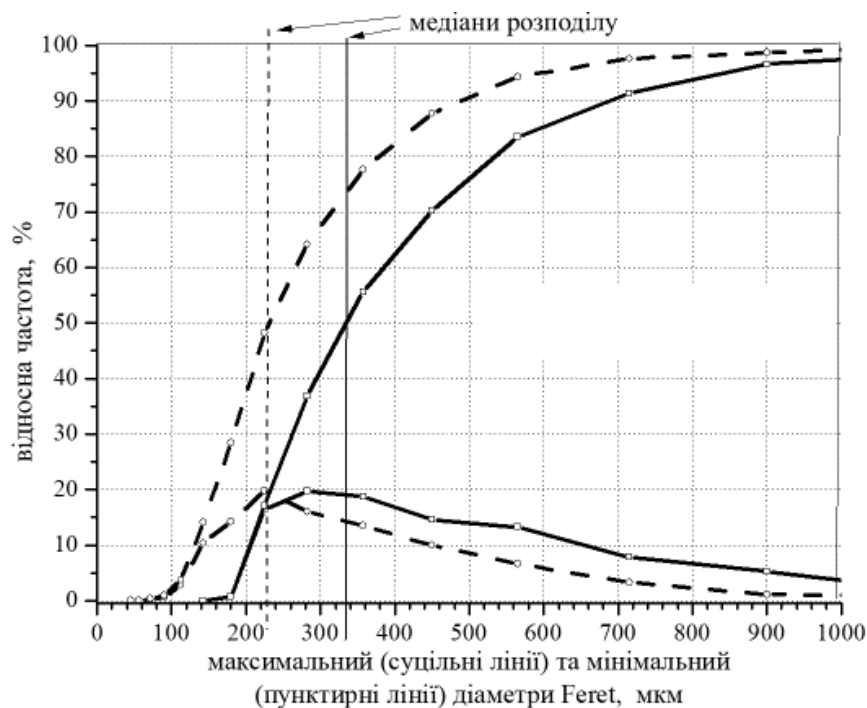
Попередні дослідження шламу показали, що характеристики крупності та магнітофракційний склад шламу залежить від інтенсивності зношування експериментальних функціональних елементів з КАМ. Тому необхідно було

дослідити як впливає концентрація, розмірні характеристики абразивної (зернистість), армованої складової матричного матеріалу експериментальних функціональних елементів (вставок) з КАМ на характеристики крупності шламу, особливо у інтервалі вище 200 мкм. Результати досліджень і випробувань наведено в табл. 5.3.1-5.3.3, рис. 5.3.1, 5.3.2.

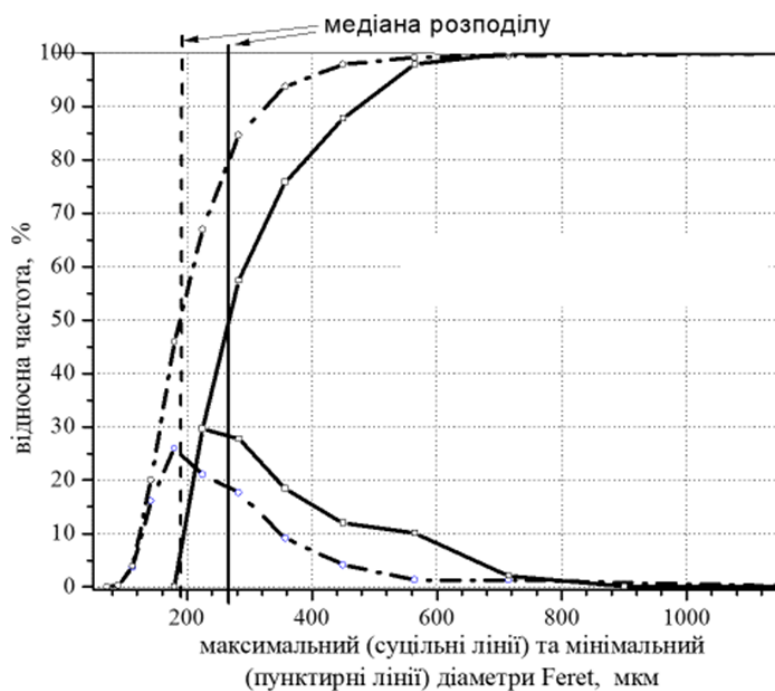
Таблиця 5.3.1 Характеристики абразивної (армівної) складової, топографії робочої поверхні вставок з КАМ, характеристики шламу

Характеристики							
Порошок алмазу марки АС 300		Робочої поверхні вставок		Шламу			
Зернистість	Концентрація, умов. %	Площа поверхні розкритих зерен алмазу, мм ²	Площа різальної поверхні вставки, мм ²	Маса шламу, г	Питома магнітна сприйнятливність шламу, χ , $\times 10^{-8}$, м ³ /кг	Середній діаметр частинок шламу, мкм	Вміст Ni+Sn в шламі, мас.%
630/500	100	7,639	60,18	88,53	2,75	282	0,120
	50	4,246	40,69	61,48	9,02	357	0,413
	25	2,442	54,66	62,67	27,13	357	0,741
500/400	100	7,215	29,78	47,94	1,81	225	0,118
	50	4,799	63,60	35,40	6,70	357	0,219
	25	2,497	55,96	52,85	16,78	357	0,300
400/315	50	3,959	46,42	56,38	19,40	225	0,048
	25	2,502	45,90	36,24	72,57	282	0,243

Слід зазначити, що в даній роботі характеристики крупності наведено у полулогарифмічній шкалі, тобто в системі координат " $\lg x-y$ ", де x – середній розмір частинок ($Feret_{max}$, середньінтервальне значення, мкм), y – сумарний вихід (представлено, як сумарна відносна частота, %). На осях відповідних логарифмічних величин відмічене значення діаметрів частинок шламу. Як відомо, з сумарної характеристики крупності порошку можна встановити вихід порошку будь-якого класу крупності.



а



б

Рис. 5.3.1. Характеристика крупності шламу (досліджено частинки більше за 200 мкм), отриманого в результаті випробувань елементів з КАМ з різною концентрацією порошку алмазу: а) Марка АС 300 зернистість 630/500. Концентрація алмазного порошку 100 умов. %; б) Марка АС 300 зернистість 500/400. Концентрація алмазного порошку 100 умов. %.

Як впливає з результатів, наведених в табл. 5.3.1, зниження зернистості та концентрації абразивної складової призводить до зниження середнього розміру частинок шламу, що узгоджується з результатами дослідження характеристик крупності шламу отриманого в результаті випробувань елементів з КАМ з різною концентрацією порошку алмазу (досліджено частинки більше за 200 мкм) (рис. 5.3.1), їх апроксимацією (табл. 5.3.2) та результатами дослідження наведеними у роботах.

Таблиця 5.3.2 Апроксимація кривих інтегрального розподілення частинок шламу за розмірами

Зернистість	Концентрація, умов. %	Апроксимація кривих сумарного виходу (% кількості частинок шламу)	Інтервал середнього діаметра частинок, мкм	Достовірність апроксимації, R^2
630/500	100	$y=46,82 \lg x-11,51$	17–357	0,8684
	50	$y=37,70 \lg x-8,59$	17–565	0,7588
	25	$y=41,48 \lg x-2,25$	17–565	0,8224
400/315	50	$y=35,08 \lg x-16,88$	17–450	0,7523
	25	$y=36,99 \lg x-9,04$	17–565	0,8046

Дослідження форми металічних частинок, які містяться у шламі показало, що частинки, переважно, мають форму трикутника і трапеції. Середня величина еквівалентного діаметра описаного кола проекцій частинок дорівнює 35 мкм. Тому представлено інтерес дослідження характеристик крупності шламу, отриманого в результаті випробувань елементів з КАМ з різною концентрацією порошку алмазу в інтервалі 16–63 мкм. результати дослідження наведено на рис. 5.4.2, табл. 5.4.3

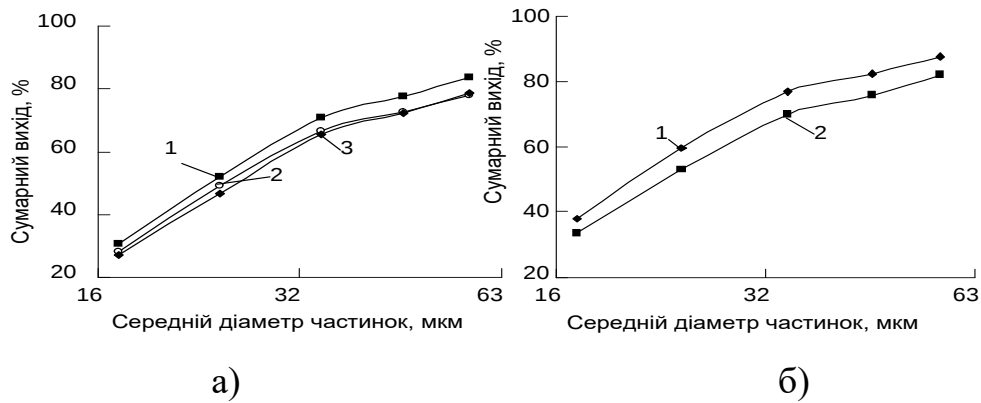


Рис. 5.3.2 Характеристика крупності шламу (дослідження частинок менше за 500 мкм, інтервал 16–63 мкм), отриманого в результаті випробувань елементів з КАМ з різною концентрацією порошку алмазу: а) Марка АС 300 зернистість 630/500. Концентрація алмазного порошку: 1 – 100; 2 – 50 , 3 – 25 умов. %; б) Марка АС 200 зернистість 400/315. Концентрація алмазного порошку: 1 – 50 , 2 – 25 умов. %.

Таблиця 5.3.3 Апроксимація кривих інтегрального розподілення частинок шламу за розмірами в інтервалі 16–63 мкм

Зернистість	Концентрація, умов. %	Апроксимація кривих сумарного виходу (%), кількості частинок шламу	Інтервал середнього діаметра частинок, мкм	Достовірність апроксимації, R2
630/500	100	$y=95,23 \lg x-84,82$	16–63	0,9569
	50	$y=101,42 \lg x-90,17$	16–63	0,9641
	25	$y=99,23 \lg x-91,72$	16–63	0,9701
400/315	50	$y=94,24 \lg x-73,43$	16–63	0,9522
	25	$y=92,59 \lg x-76,95$	16–63	0,9660

Як впливає з результатів, наведених на рис. 5.3.2, в діапазоні 16–63 мкм при використанні абразивної складової зернистості 630/500 зниження концентрації від 100 до 25 умов. % майже не впливає на характеристики крупності шламу, при використанні абразивної складової зернистості 400/315 та зниженні концентрації з 50 до 25 умов. % характеристики крупності розрізняються не значимо. Зміна концентрації абразивної складової в обох випадках суттєво не впливає на характеристики крупності в діапазоні 16–63 мкм.

5.4. Елементний та магнітнофракційний склад продуктів руйнування гірської породи та матричного матеріалу функціональних елементів з КАМ на металевій зв'язці

У зв'язку з тим, що зернистість та концентрація абразивної складової впливає на характеристики крупності шламу, представляє інтерес дослідження впливу концентрації, зернистості абразивної (армованої) складової матричного матеріалу експериментальних функціональних елементів (вставок) з КАМ на магнітно-фракційний та елементний склад шламу.

Спільно з співробітниками комплексної контрольно-аналітичної лабораторії, Інституту сорбції та проблем ендоекології НАН України проведено комплексне експериментальне дослідження шламу методом рентгенофлюоресцентної спектроскопії з використанням приладу "X-Ray Fluorescence Spectrometr Elvax", Сер-01 (Україна) встановлено елементний склад шламу (табл. 5.4.1), встановлено вміст магнітної фракції її питому магнітну сприйнятливість та питому магнітну сприйнятливість шламу.

Таблиця 5.4.1

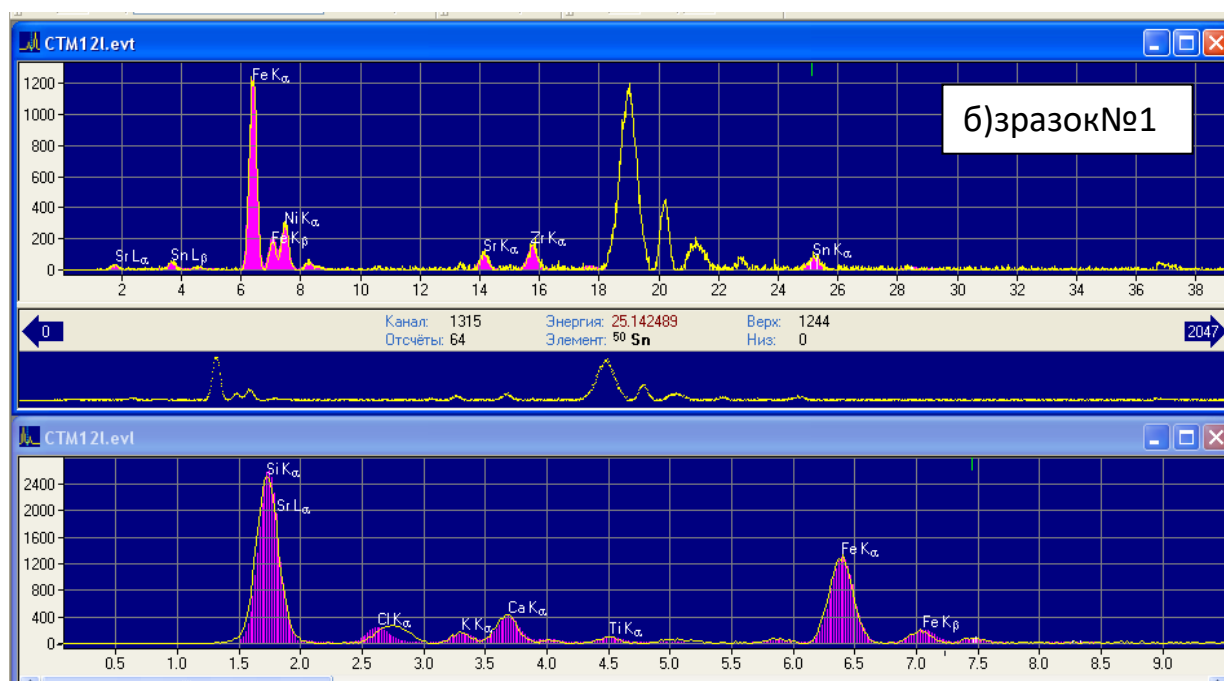
Елементний склад та магнітні характеристики шламу

Характеристики функціональних елементів з матричним матеріалом Ni(94%)-Sn(6%)				Характеристики шламу														
№ зразка	Абразивна складова - порошок алмазу марки, зернистості	Концентрація порошку, умов, %	Інтенси́вність зношування, мг/км	Сумарний вміст розчинних складових, мас. %	Вміст складових в шламі, мас. % (прилад "X-Ray Fluorescence Spectrometr Elvax, Сер-01 (Украина)")											Питома магнітна сприйнятливість шламу, x10 ⁻⁸ м³/кг	Магнітна фракція	
					Si	Cl	K	Ca	Ti	Fe	Ni	Zn	Zr	Sn	Ni+ Sn		Вміст фракції у шламі, мас %	Питома магнітна сприйнятливість, x10 ⁻⁸ м³/кг
11	АС300	100	103,3	11,0	35,116	1,904	16,015	36,687	0,355	9,358	0,266	0,029	0,101	0,148	0,414	2,75	0,14	188
12	630/500	50	186	27,6	34,480	1,645	15,976	36,730	0,466	9,130	1,251	0,040	0,108	0,175	1,426	9,02	0,80	355
13		25	301,5	21,7	34,261	1,502	15,622	35,647	0,492	9,782	2,379	0,028	0,109	0,177	2,556	27,13	0,27	1073
14	АС300	100	66,3	16,83	34,357	1,755	18,048	35,258	0,345	9,662	0,211	0,049	0,102	0,198	0,409	1,81	0,20	118
15	500/400	50	117,7	18,73	32,950	1,615	16,481	37,864	0,465	9,711	0,592	0,044	0,090	0,165	0,757	6,70	0,18	157
16		25	197,9	19,6	32,418	1,690	17,732	37,455	0,396	9,150	0,898	0,031	0,077	0,136	1,034	16,78	0,25	789
17	АС300 200/160	100	45,7	Не встановлювали	36,653	1,905	15,205	34,077	0,441	11,073	0,309	0,045	0,120	0,173	0,482	16,30	1,18	812
18	АС200 400/315	50	34,6		35,053	1,615	14,401	36,198	0,449	11,906	0,066	0,033	0,100	0,178	0,244	19,40	0,19	2864
18_2					32,71	2,21	15,43	32,66	0,40	2,33	0,09	0,020	0,083	0,074	0,164			
повтор					32,61	2,10	14,81	38,00	0,43	11,68	0,08	0,025	0,102	0,146	0,226			
19					35,376	1,611	15,443	33,692	0,386	12,508	0,670	0,034	0,112	0,169	0,839	72,57	1,18	2992

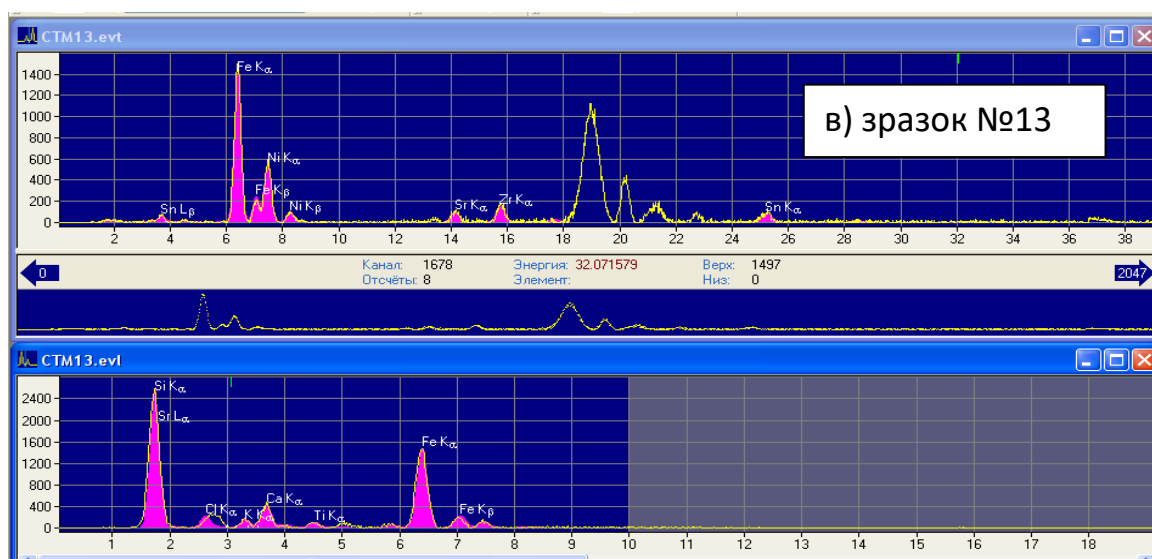
Результати рентгено-флюоресцентного спектрального аналізу зразків шламу наведено на рис. 5.4.1 а-з



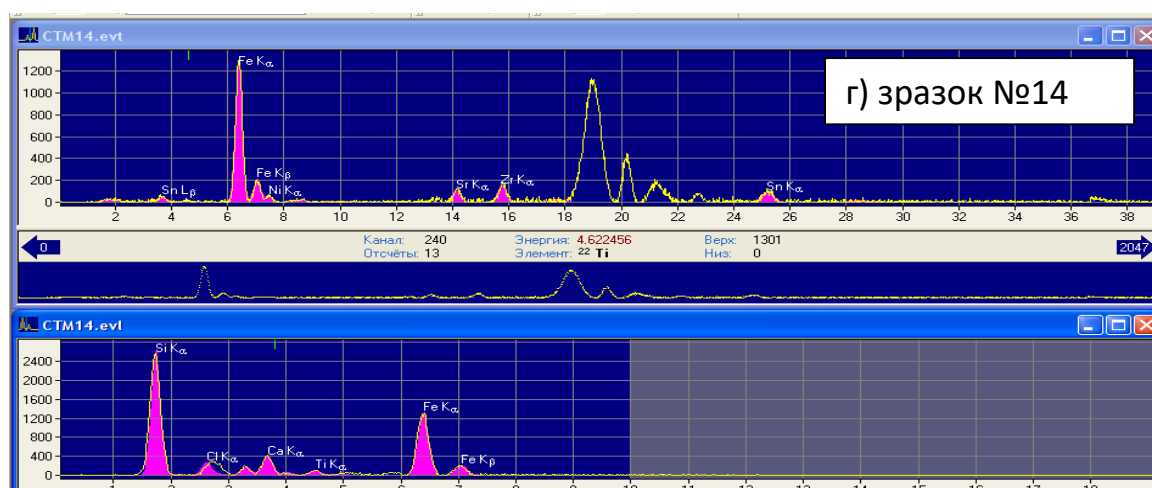
а



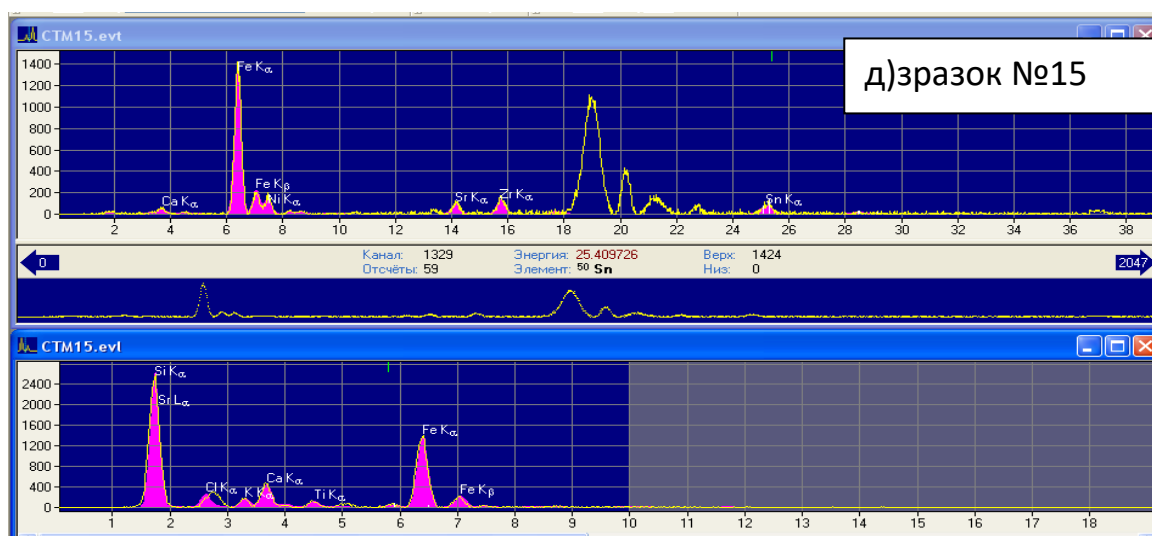
б



В



Г



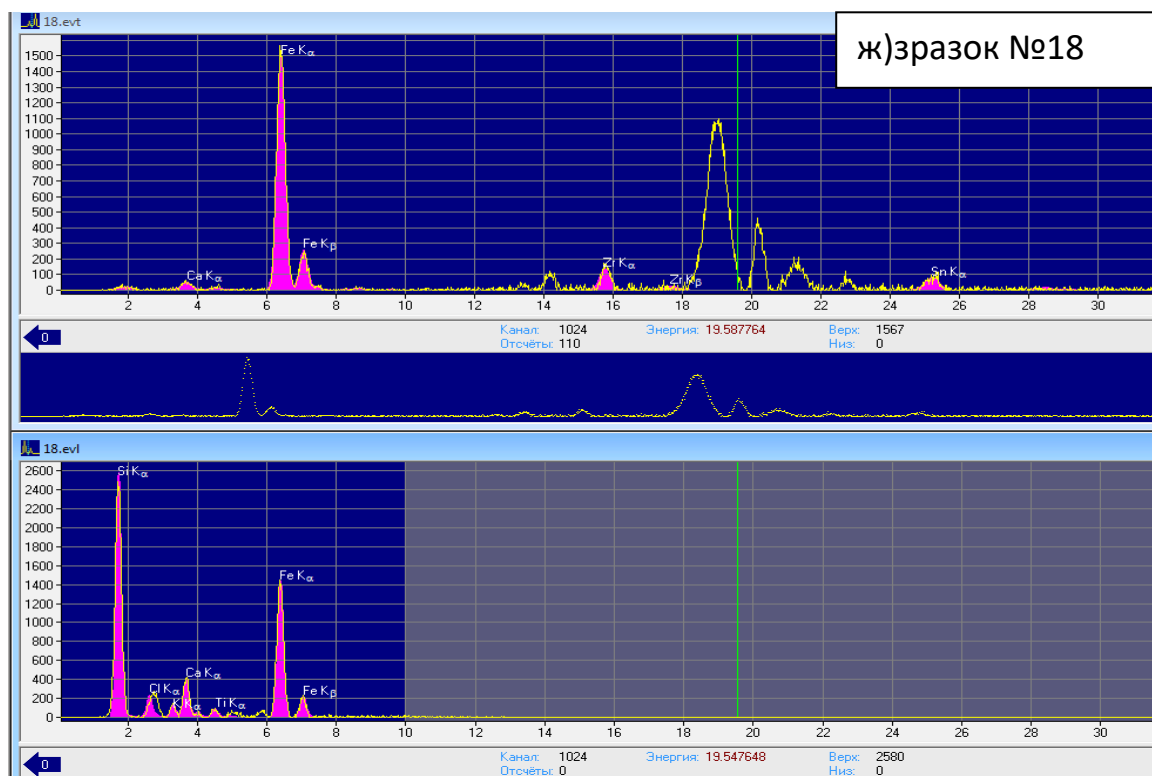
Д



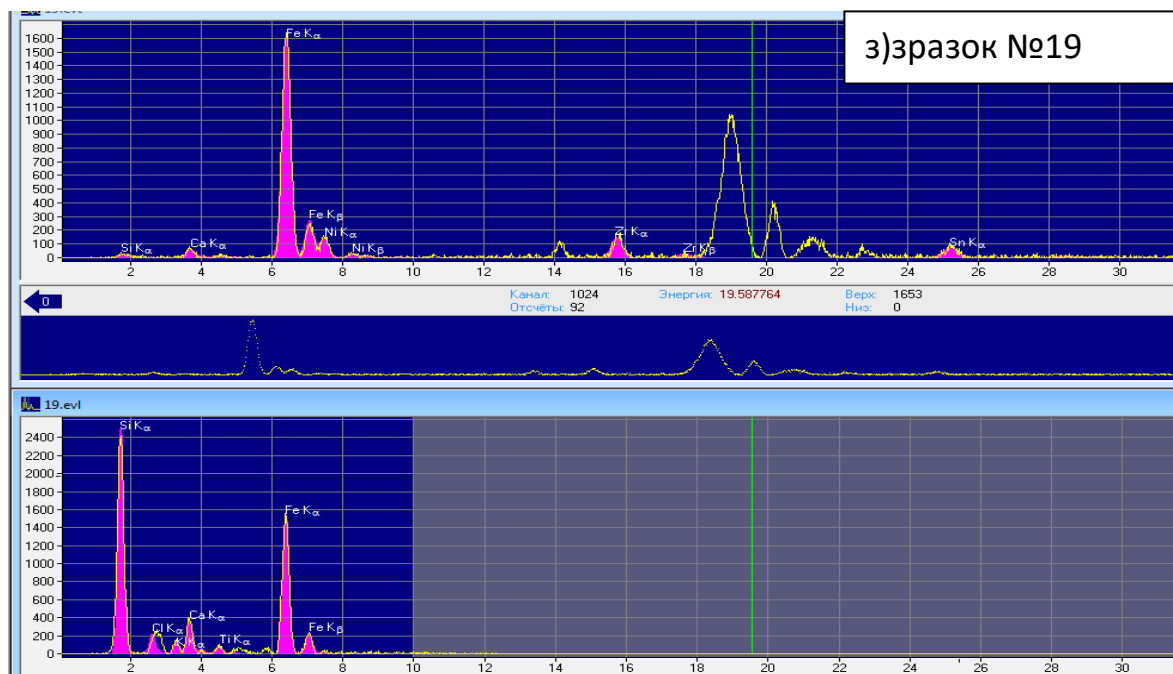
е



е



Ж



З

Рис. 5.4.1. Результаты рентгенофлуоресцентно спектрального анализа
зразків шламу: а - №11 630/500 100%; б - №12 630/500 50%; в -
№13 630/500 25%; г - №14 500/400 100%; д - №15 500/400 50%; е -

№16 500/400 25%; є - №17 200/160 100%; ж - №18 200/160 50%; з - №19 200/160 25%.

Дослідження хімічного та елементного складу шламу дозволило встановити, що вміст розчинних складових в шламі наближається до їх вмісту в пісковнику 19,85 мас.% при зернистості 630/500, концентрації 100 умов.%, та збільшується до 21,7 мас.% при зменшенні зернистості і концентрації абразивної складової. Елементний склад шламу представлено хімічними елементами: Si, Cl, K, Ca, Ti, Fe, Ni, Zn, Zr. Сумарний вміст Ni та Sn залежить від характеристик абразивної складової та знаходиться в інтервалі 0,048 – 0,741 об.%. Використання порошку алмазу у КАМ при постійній зернистості та зменшенні концентрації від 100 до 25 умов.% призводить до збільшення вмісту Ni та Sn в шламі від 2,5 до 6,2 разів, а використання постійної концентрації при зменшенні зернистості від 630/500 до 200/160 призводить до зменшення вмісту Ni та Sn в шламі від 3 до 8,6 разів.

Дослідження магнітофракціонного складу шламу показало, що величина питомої магнітної сприйнятливості шламу варіюється в інтервалі $(1,81-72,57) \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$, а магнітна фракція шламу становить від 0,12 до 1 мас.%.

При постійній концентрації порошку 50 умов.% та зниженні зернистості від 630/500 до 200/160 питома магнітна сприйнятливість шламу зростає в 2 рази.

Використання порошку алмазу у вставці однакової зернистості, але зниження її концентрації призводить до зростання питомої магнітної сприйнятливості шламу, і відображає підвищення зношування зв'язки. В процесі руйнування гірської породи та зношування вставки одночасно у шлам потрапляє два феромагнітних метали: Fe та Ni. Зі зменшенням середнього діаметру частинок шламу змінюється вміст феромагнітних елементів у ньому. Вміст Fe в шламі при використанні зернистості 630/500

складає 9,358–9,782 мас.%; а при використанні зернистості 200/160 вміст Fe зростає до 12,508 мас. %.

Розділення шламу в магнітному полі дозволяє отримати фракції матеріалу, які більш ніж в 150 разів відрізняються між собою за величиною питомої магнітної сприйнятливості.

Таким чином, комплексним дослідженням характеристик шламу встановлено:

- зменшення зернистості абразивної складової, а також зниження її концентрації призводить до тенденції зниження середнього розміру частинок шламу;

- вміст розчинних складових в шламі становить 19,85 мас. %, збільшується до 21,7 мас. % при зниженні зернистості і концентрації абразивної складової;

- шлам містить елементи: Si, Cl, K, Ca, Ti, Fe, Ni, Zn, Zr. Сумарний вміст Ni і Sn змінюється від 0,048 до 0,741 об. % та залежить від характеристик абразивної, армованої складової КАМ. Використання постійної зернистості і зменшення її концентрації від 100 до 25 ум.% призводить до збільшення сумарного вмісту Ni і Sn в шламі від 2,5 до 6,2 разів. Використання постійної концентрації і зменшенні її зернистості від 630/500 до 200/160 призводить до зменшення сумарного вмісту Ni і Sn в шламі в 8,6 раз і 3 рази, відповідно; - величина питомої магнітної сприйнятливості шламу становить $(1,81-72,57) \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$ залежить від характеристик абразивної, армованої складової КАМ. Використання постійної концентрації абразивної складової 50 і 100 ум. % при зниженні зернистості від 630/500 до 200/160 питома магнітна сприйнятливість шламу зростає до 2 разів. Використання однакової зернистості при зниженні її концентрації призводить до зростання величини питомої магнітної сприйнятливості шламу. Що корелює з інтенсифікацією зношування і зростанням вмісту Fe від 9,358-9,782 мас. % до 12,508 мас. %.

Таким чином, зміна концентрації і зернистості абразивної, армівної складової КАМ корелює зі зміною магніто-фракційного і елементного складу. Цей факт дає підставу для розробки методу оцінки зносостійкості композиційного алмазовмісного матеріалу з різним ступенем армування його робочої поверхні з урахуванням зміни хімічного складу шламу.

5.5 Дослідження впливу ступеня армування алмазами на гранулометричні характеристики продуктів зношування матеріалу зв'язки КАМ

Ясно, що розміри частинок гірської породи під час руйнування, залежать від розмірів кристалів алмазу, що використовуються, і від того, на якій глибині вони знаходяться в породі. У свою чергу, розміри фрагментів зв'язки КАМ, які відламуються, залежать від топографії розміщення кристалів на робочій поверхні і щільності шламу, що утворюється між поверхнями, які взаємодіють між собою.

Відзначимо, що середня вільна відстань між алмазами $\langle W \rangle_{\text{сер}}$ на робочих поверхнях вставок, тобто ширина просвіту не захищеного від абразивного впливу гірської породи на зв'язку, у встановленому діапазоні армування їх поверхонь алмазами, варіювалася від 0,29 до 2,1 мм, що перевищує розміри фрагментів зношування зв'язки до 8 разів (табл. 5.6.1, рис. 5.6.2).

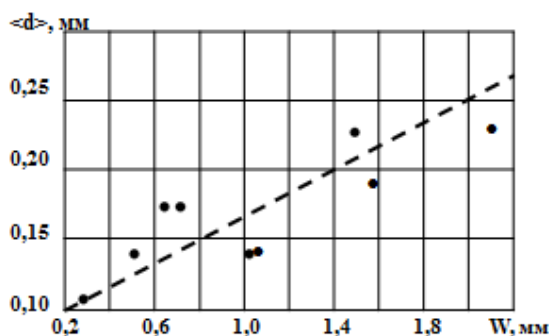


Рис. 5.5.1—Вплив топографії розташування зерен алмаза на робочій поверхні вставки на розміри фрагментів зношування зв'язки в шламі

Насамперед аналізувалася топографія робочих поверхонь вставок, у результаті чого визначалися загальна (сумарна) площа поверхонь розкритих кристалів алмаза на робочій поверхні вставки ($\sum \langle s \rangle_{\text{ал}}$), габітус яких, у порошку марки АС300, у більшості відповідав формі кубооктаедра та площа поверхні вставки, що перебуває в контакті з оброблюваним керном $S_{\text{вст}}$, дане співвідношення назвали ступінь армування КАМ. Площі поверхонь розкритих кристалів порошку алмаза обчислювалися на підставі виконаних вимірів площ проекцій кристалів на поверхні вставки у вигляді шестикутників перетину кубооктаедра, які вимірялися за допомогою цифрового мікроскопа Levenhuk DTX 50 із програмним забезпеченням Adobe Autocad, а площі поверхонь розкритих кристалів наближено обчислювалися на підставі співвідношення між половиною площі поверхні кубооктаедра ($0,5S_{\text{кубокт.}}$, де $S_{\text{кубокт.}}=2a^2(3+\sqrt{3})$, де a - довжина ребра кубооктаедра) та площею шестигранника у серединному перетині кубооктаедра ($S_{\text{пер}}=3\sqrt{3}a^2/2$) його серединного перетину, тобто $0,5S_{\text{кубокт.}}/S_{\text{пер}}=1,823$. У підсумку, надалі пропонується визначати ступінь армування робочої поверхні алмазовмісних функціональних елементів кристалами алмаза як співвідношення загальної площі вскритих алмазів до загальної контактуючої поверхні елемента (вставки) $\langle s \rangle_{\text{ал}}/S_{\text{вст}}$, рис. 5.5.2, таб. 5.5.1

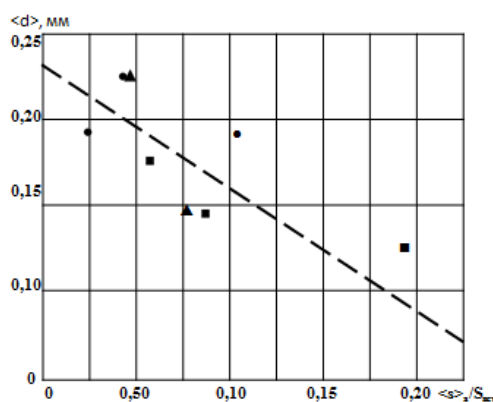


Рис. 5.5.2 – Вплив ступеня армування робочої поверхні функціонального елемента КАМ ($\langle s \rangle_{ал} / S_{вст}$) на розміри відокремлених фрагментів зв'язки

$$КАМ \langle d \rangle_{сер}$$

Таблиця 5.5.1 – Залежність гранулометричних характеристик частинок зв'язки КАМ від ступеня армування КАМ

Зернистість, мкм	Концентрація алмазів, %	Розмір частинок зв'язки КАМ після колориметрії, мм	Ступінь армування алмазами КАМ $\langle s \rangle_a / S_{вст}$
630/500	100	142,5	0,0834
	50	180	0,0689
	25	225	0,0290
500/400	100	142,5	0,1097
	50	142,5	0,0488
	25	225	0,029
400/315	50	112,5	0,0561
	25	180	0,0363

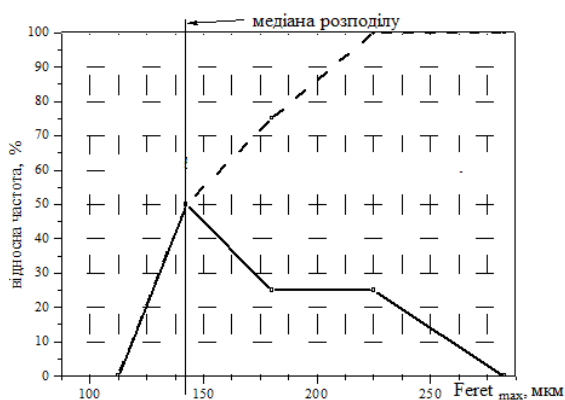


Рис. 5.5.3 - Розподіл діаметра FERET max частинок зв'язки, розміром до 500 мкм, отриманих при відпрацюванні зразку зі зернистістю алмазів 500/400 та концентрацією алмазів 100%, що піддавались магнітній сепарації та ідентифікувались методом колориметрії, при застосуванні спеціального програмного забезпечення приладу DiaInspect, OSM.

Таблиця 5.5.2- Морфометрична характеристика частинок матриці (FERET max (р.і. – розмірний інтервал) до 500 мкм), отриманого при відпрацюванні зразка зі зернистістю алмазів 500/400 та концентрацією алмазів 100%

№ п/п	Межі р.і., мкм		Середньоінтервальне значення, мкм	Відносна частота, %
13	80.00	100.00	90.00	.0000
14	100.00	125.00	112.50	.0000
15	125.00	160.00	142.50	50.0000
16	160.00	200.00	180.00	25.0000
17	200.00	250.00	225.00	25.0000
18	250.00	315.00	282.50	.0000

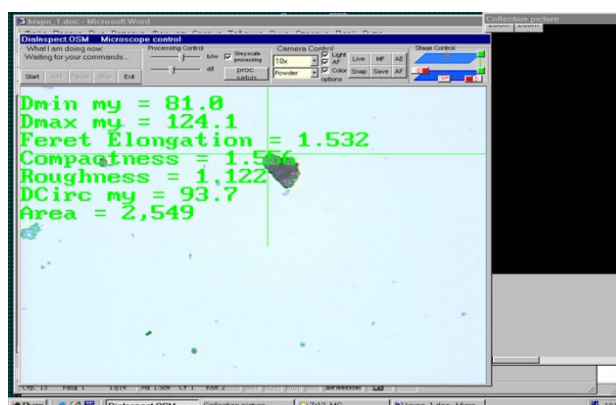


Рис.5.5.4 - Фото, отримане за допомогою приладу DiaInspect, OSM частинки зв'язки КАМ

Таблиця 5.5.3 - Розподіл зерен за формою прийнятих можливих базових фігур-аналогів (БФА) їх проекції ($f_k^{(д)}$, % – диференціальний показник формоподібності, $\Delta_k^{(д)}$, % – відносна похибка формозаміни) та однорідність (%) за диференціальною формоподібністю проекції зерен частинок матричного матеріалу зразків 11 (100%), 12 (50%), 13 (25%) АС300 630/500

Назва БФА	Зразок 11, 100%		Зразок 12, 50%		Зразок 13, 25%	
	АС300, 630/500					
	$f_k^{(д)}$	$\Delta_k^{(д)}$	$f_k^{(д)}$	$\Delta_k^{(д)}$	$f_k^{(д)}$	$\Delta_k^{(д)}$
Овалоподібні фігури (коло, еліпс)	0,00	00,00	0,00	00,00	0,00	00,00
Прямокутник	0,00	00,00	0,00	00,00	0,00	00,00
Ромб	20,00	33,46	10,00	31,07	0,00	00,00
Трапеція	40,00	13,80	40,00	13,25	50,00	13,01
Квадрат	10,00	16,57	0,00	00,00	5,00	11,52
Правильний п'ятикутник	0,00	00,00	0,00	00,00	0,00	00,00

Правильний шестикутник	0,00	00,00	0,00	00,00	0,00	00,00
Правильний восьмикутник	0,00	00,00	0,00	00,00	0,00	00,00
Трикутник	30,00	28,40	50,00	26,45	45,00	27,01
Паралелограм	0,00	00,00	0,00	00,00	0,00	00,00

Таблиця 5.5.4 Розподіл зерен за формою прийнятих можливих базових фігур-аналогів (БФА) їх проекції ($f_k^{(д)}$, % – диференціальний показник формоподібності, $\Delta_k^{(д)}$, % – відносна похибка формозаміни) та однорідність (%) за диференціальною формоподібністю проекції зерен частинок матричного матеріалу зразків 14 (100%), 15 (50%), 16 (25%) **АС300 500/400**

Назва БФА	Зразок 14, 100%		Зразок 15, 50%		Зразок 16, 25%	
	АС300, 500/400					
	$f_k^{(д)}$	$\Delta_k^{(д)}$	$f_k^{(д)}$	$\Delta_k^{(д)}$	$f_k^{(д)}$	$\Delta_k^{(д)}$
Овалоподібні фігури (коло, еліпс)	0,00	00,00	0,00	.0000	0,00	.0000
Прямокутник	0,00	00,00	0,00	00,00	0,00	00,00
Ромб	20,00	31,57	0,00	00,00	12,50	40,29
Трапеція	40,00	15,21	75,00	15,54	37,50	13,51
Квадрат	0,00	00,00	0,00	00,00	0,00	00,00
Правильний п'ятикутник	0,00	00,00	0,00	00,00	0,00	00,00
Правильний шестикутник	0,00	00,00	0,00	00,00	0,00	00,00
Правильний восьмикутник	0,00	00,00	0,00	00,00	0,00	00,00
Трикутник	40,00	28,02	25,00	29,36	50,00	26,96
Паралелограм	0,00	00,00	0,00	00,00	0,00	00,00

Таблиця 5.5.5 Розподіл зерен за формою прийнятих можливих базових фігур-аналогів (БФА) їх проекції ($f_k^{(д)}$, % – диференціальний показник формоподібності, $\Delta_k^{(д)}$, % – відносна похибка формозаміни) та однорідність (%) за диференціальною формоподібністю проекції зерен частинок матричного матеріалу зразків 17 (100%), 18 (50%), 19 (25%)

Назва БФА	Зразок 17, 100%		Зразок 18, 50%		Зразок 19, 25%	
	АС АС300, 200/160					
	$f_k^{(д)}$	$\Delta_k^{(д)}$	$f_k^{(д)}$	$\Delta_k^{(д)}$	$f_k^{(д)}$	$\Delta_k^{(д)}$
Овалоподібні фігури (коло, еліпс)	00,00	00,00	0.00	0,00	0.00	0,00
Прямокутник	00,00	00,00	44.44	27,43	36.84	23,66
Ромб	00,00	00,00	0.00	0,00	10.53	44.45

Трапеція	100,00	12,17	5.56	0,00	0.00	0,00
Квадрат	00,00	00,00	11.11	22,53	10.53	26,32
Правильний п'ятикутник	00,00	00,00	0.00	0,00	0.00	0,00
Правильний шестикутник	00,00	00,00	5.56	0,00	15.79	31,69
Правильний восьмикутник	00,00	00,00	0.00	0,00	5.26	16,85
Трикутник	00,00	00,00	33.33	30,24	21.05	31,11
Паралелограм	00,00	00,00	0.00	0,00	0.00	0,00

Таблиця 5.5.6 Розподіл зерен за формою прийнятих можливих базових фігур-аналогів (БФА) їх проекції ($f_k^{(л)}$, % – диференціальний показник формоподібності, $\Delta_k^{(л)}$, % – відносна похибка формозаміни) та однорідність (%) за диференціальною формоподібністю проекції зерен

Назва БФА	Зразок 2.0, 100%		Зразок 2.1, 50%		Зразок 2.2, 25%	
	АС300 630/500					
	$f_k^{(д)}$	$\Delta_k^{(д)}$	$f_k^{(д)}$	$\Delta_k^{(д)}$	$f_k^{(д)}$	$\Delta_k^{(д)}$
Овалоподібні фігури (коло, еліпс)	0.00	.0000	0,00	00,00	0,00	00,00
Прямокутник	0,00	00,00	0,00	00,00	0,00	00,00
Ромб	0,00	00,00	0,00	00,00	14,29	34,77
Трапеція	50,00	13,31	20,00	14,10	28,57	11,55
Квадрат	0,00	00,00	0,00	00,00	0,00	00,00
Правильний п'ятикутник	0,00	00,00	0,00	00,00	0,00	00,00
Правильний шестикутник	0,00	00,00	0,00	00,00	0,00	00,00
Правильний восьмикутник	0,00	00,00	0,00	00,00	0,00	00,00
Трикутник	50,00	25,23	80,00	28,49	57,14	30,47
Паралелограм	0,00	00,00	0,00	00,00	0,00	00,00

На рис. 5.5.3, таб. 5.52. та рис. 5.5.4 зображений приклад графіку та таблиця розподілів середнього діаметру частинок зв'язки, виділений методом колориметрії та відповідні зображення самої зруйнованої частинки зв'язки. Як видно з таблиць 5.5.4-5.5.6, частинки матричного матеріалу мають, переважно, форму трапеції та трикутника, що свідчить про крихкий механізм пошкодження зв'язки.

5.6. Формулювання моделі механізму зношування алмазовмісних композитів в процесі руйнування гірської породи

У попередніх розділах ми досліджували процес зношування функціональних елементів КАМ з урахуванням розподілу зерен алмазу на робочих поверхнях функціональних елементів. Ми проаналізували розподіли розмірів та форми частинок зв'язки КАМ відокремлених від поверхонь робочих елементів та інтенсивність втрати маси відносно довжини рейсу інструменту, але при цьому не було визначено механізм їх відокремлення.

Дослідженнями механізмів зношування абразивних інструментів в процесі шліфування металів приділено надзвичайно багато уваги, зокрема у численних фундаментальних роботах Лоладзе Т.Н., Лавріненко В.І., Солод В.Ю. та багатьох інших [122,123,124]. В цих роботах аналізувались трибологія контактної взаємодії, температурні джерела, дифузійні процеси та механізми деформування й руйнування поверхневих шарів оброблюваного металу. Але проблемі контактних явищ та зношування алмазних композитів при взаємодії КАМ з металами або гірською породою присвячені тільки одиничні роботи, зокрема, Ципін Н.В., Вовчановський І.Ф. та інші [2, 20].

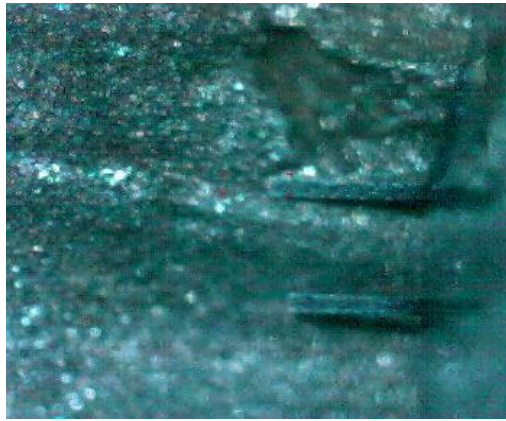
Механізмами ініціювання й розвитку тріщини відокремлення фрагментів металу у випадку рухомого штампа по поверхні пари тертя з урахуванням коефіцієнта тертя, зокрема, під час експлуатації технічної пари «колесо-рейка» поверхні кочення залізничних рейок спостерігаються пошкодження у вигляді утворення тріщиноподібних дефектів [125-128]. При цьому, у напрямку переміщення рухомої частини пари тертя [129-132] формується дефект типу «нора» з двома гілками тріщин. Оцінювання контактної міцності та довговічності пошкодженої такого типу визначається на підставі аналізу напружено-деформованого стану або по коефіцієнтах інтенсивності напружень у вершинах тріщин – місцях подальшого руйнування матеріалу. В роботі [133] виявлено велику ймовірність утворення таких дефектів саме контактно-втомного походження. В цій роботі контактний тиск штампа (колеса) на рейку моделюється

односпрямований повторно-поступальним переміщенням уздовж краю півплощини герцівського контактного тиску з дотичною складовою.

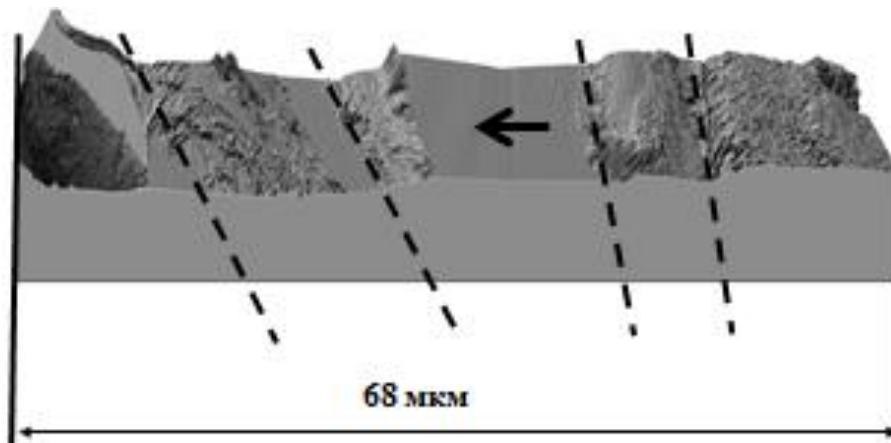
Такий саме тип навантаження має місце й при навантаженні поверхні зв'язки вставки КАМ при терті по її поверхні дискретними зернами шламу. Як показали дослідження картини формування й відриву фрагментів зв'язки в процесі тертя вставки КАМ по шару вільного шламу практично стереотипно повторює картину, яка спостерігається при формуванні пошкоджень поверхневих шарів рейок.

Частинки шламу з середніми розмірами від 225 до 357 мкм переміщуються в прошарку між поверхнями пари тертя відносно поверхні зв'язки утворюючи також герцівськи нормальні контактні зусилля частинок шламу на вставку (300 Н) та дотичною складовою (від 105 до 170 Н), внаслідок циклічної дії яких у поверхневому шарі зв'язки ініціюються мікротріщини втоми, які розповсюджуються в масиві вставки та призводять до відколу фрагментів зв'язки (див. рис. 5.6.5). Фрактографічні дослідження поверхонь руйнування зв'язки вставок КАМ виконувалось з використанням атомно-силового мікроскопа (АСМ) NT-206V *.

Розглянемо ймовірний механізм ініціювання мікротріщин та їх розповсюдження в поверхневому шарі зв'язки елементу із КАМ при терті у присутності вільного абразиву. Спочатку виконувалось сканування обраної зони борозенки на поверхні зношування функціонального елементу КАМ (в 128 точках у напрямку X довжина кожного растру 13 мкм). Далі здійснюється повернення зонда в початкову точку поточної лінії сканування з наступним переміщенням на наступну лінію сканування в напрямку Y всього 128 ліній сканування, довжина кожної ділянки (растра) у напрямку Y (теж 13 мкм) й таких растрів 5 – 6, тобто довжина, тобто загальна довжина ділянки, що досліджується становить від 65 до 80 мкм – рис. 5.6.1.

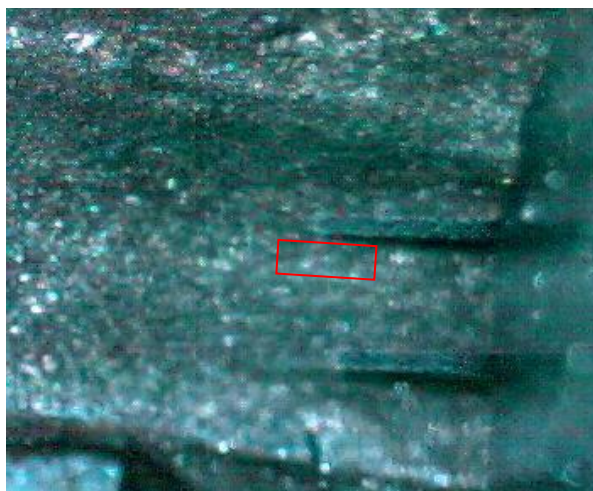


а

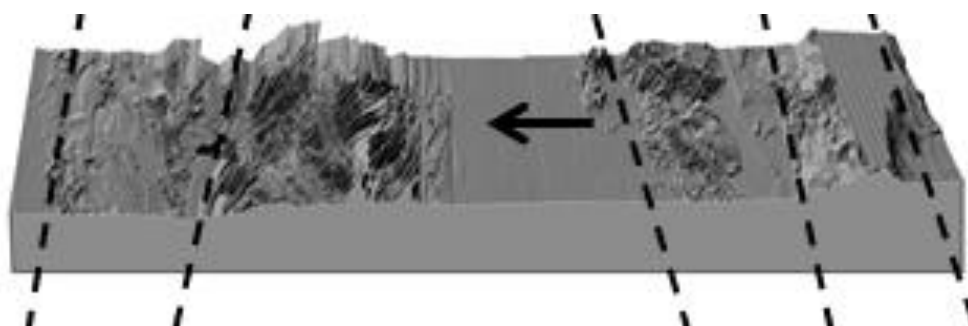


б

Рис. 5.6.1 - Зовнішній вигляд досліджуваної ділянки (№ 13-2) поверхні борозенки зношування зв'язки в КАМ (напрямок руху шламу по поверхні борозенки справа наліво (розміри кожного растру 13х13 мкм) - (а); аксонометрія поверхні руйнування виділеної ділянки (стрілкою показаний напрямок розповсюдження тріщини втоми з наступним зломом) - (б)

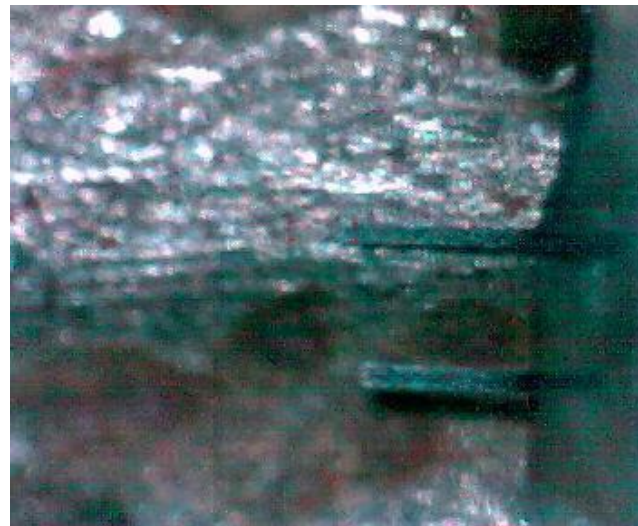


а

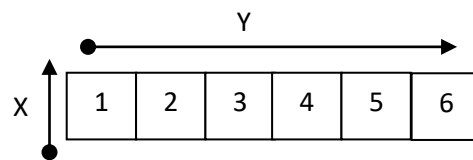


б

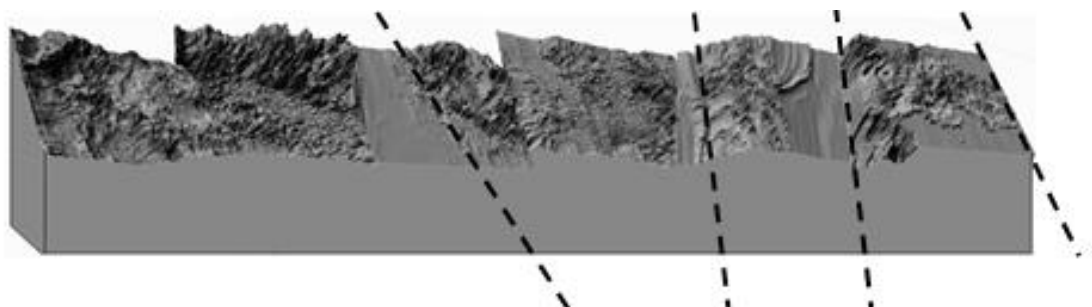
Рис. 5.6.2 - Зовнішній вигляд досліджуваної ділянки (№ 13-3) поверхні борозенки зношування зв'язки в КАМ (напрямок руху шламу по поверхні борозенки справа наліво; розміри кожного растру 13x13 мкм - (а); аксонометрія поверхні руйнування виділеної ділянки (стрілкою показаний напрямок розповсюдження тріщини втомі з наступним відокремленням фрагменту зв'язки) - (б).



а



б

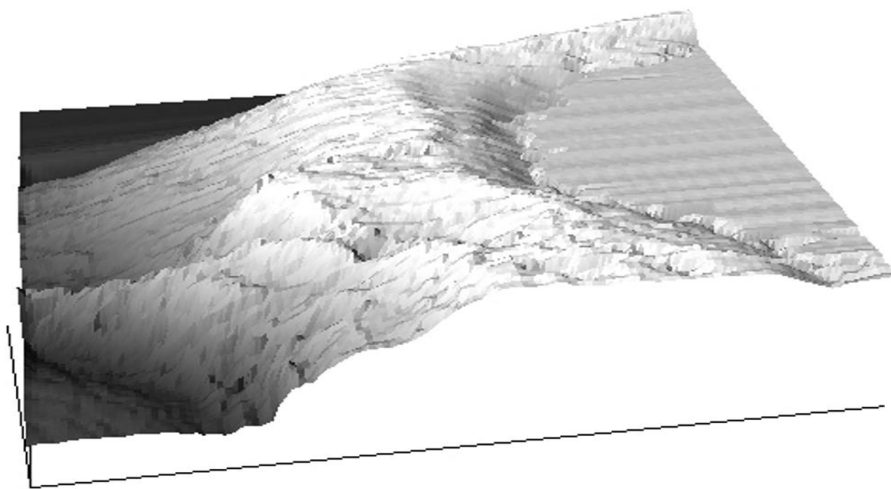


в

Рис. 5.6.3 - Зовнішній вигляд досліджуваної ділянки (№11-2) поверхні борозенки зношування зв'язки в КАМ (напрямок руху шламу по поверхні борозенки справа наліво; розміри кожного растру 13x13 мкм) - (а); послідовність переїздів п'єзосканеру при дослідженні мікро-рельєфу обраної ділянки вставки - (б); аксонометрія поверхні виділеної ділянки руйнування - (в).

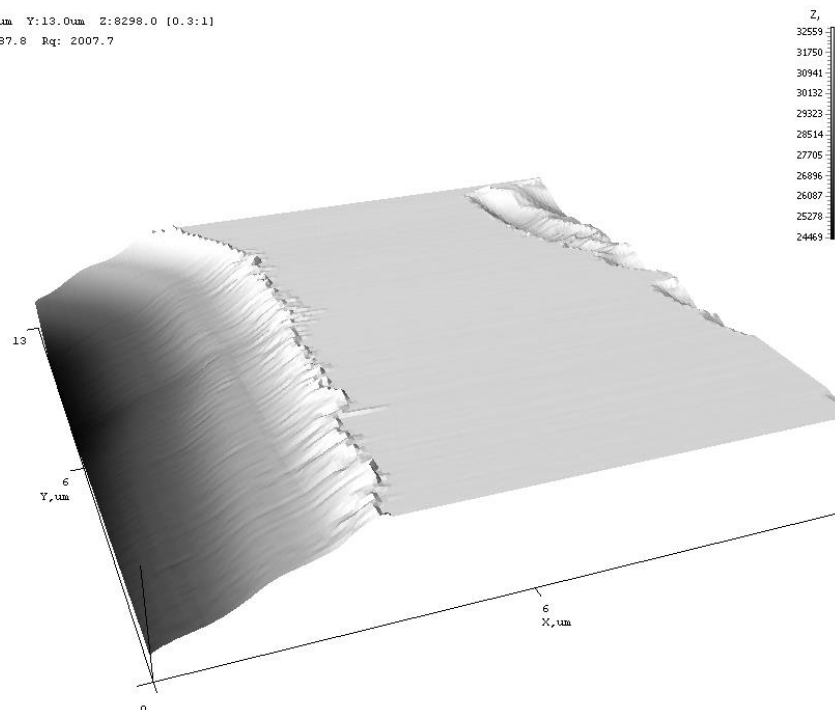
З аналізу наведених аксонометрій виділених ділянок руйнування поверхневих шарів зв'язки (рис.5.6.1-5.6.3) витікає, що фрагменти зв'язки

відокремлюються від основи масиву внаслідок утворення мікротріщини втоми (на рис. 5.6.1-5.6.3 початок утворених тріщин позначені пунктирною лінією), яка розвивається до критичного розміру в умовах діючих напружень й далі спостерігається відокремлення фрагменту по в'язкому механізму.



а

X: 13.0um Y: 13.0um Z: 6298.0 [0.3:1]
Ra: 1587.8 Rq: 2007.7



б

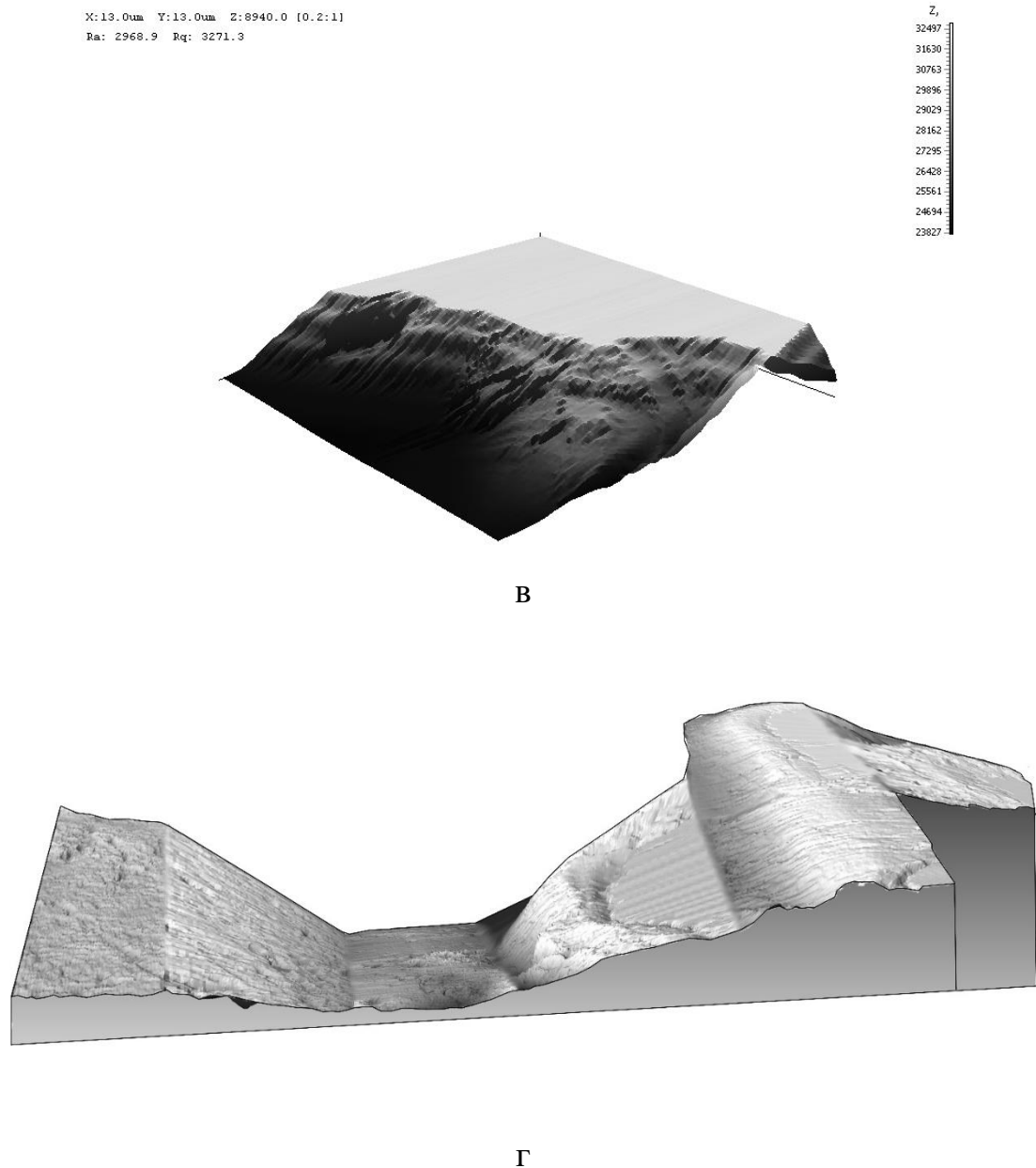


Рис. 5.6.4 – Мікрофрактограми ділянок розповсюдження тріщин втоми з наступним відокремленням фрагмента від масиву зв'язки - (а, б, в) ; об'єднуюча аксонометрія поверхонь виділених ділянок руйнування зв'язки КАМ - (г).

На наведених аксонометричних зображеннях поверхонь руйнування зв'язки спостерігається почергове розповсюдження тріщин втоми з наступним в'язким відокремленням фрагментів зв'язки від масиву по змішаному механізму, тобто під дією нормального розтягу з зсувом, від поверхневого шару зв'язки елементу із КАМ (рис. 5.6.4). Наведені

зображення поверхонь дають підставу висловити гіпотезу, що домінуючим механізмом зношування елементів КАМ є ініціювання в поверхневих шарах зв'язки тріщин втоми та їх розповсюдження, що призводять до відокремлення фрагментів зв'язки від основи функціональних елементів, тобто втрати їх маси.

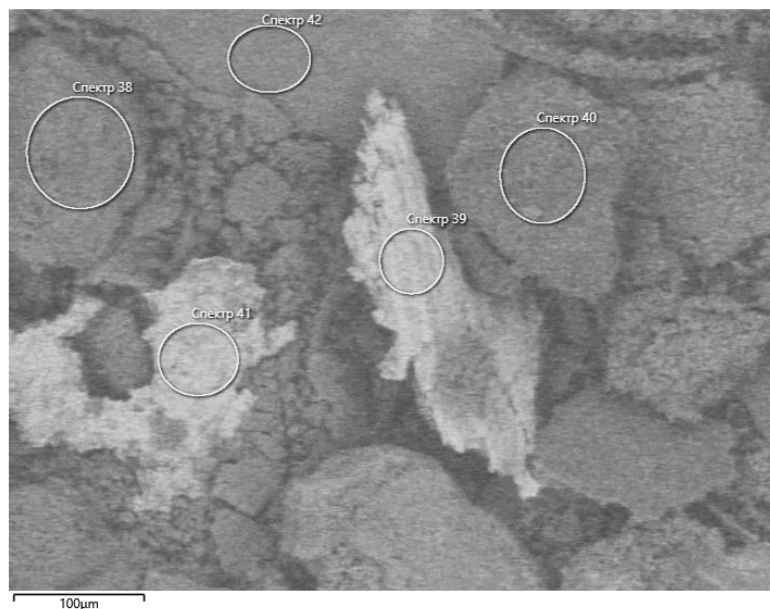


Рис. 5.6.5— Загальний вигляд відокремлених фрагментів зв'язки КАМ в шламі

* - Дослідження виконувались спільно з д.ф.-м.н., проф. Бондаренко М.О., Черкаський державний технологічний університет, м.Черкаси, Україна

Висновки до 5 розділу

1. Виконана морфометрична класифікація шламу, отриманого при різанні гірської породи, на підставі якої визначені розподіли розмірів проекцій частинок шламу показано, що вони змінюються в межах від 225 до 357 мкм, в залежності від ступеня армування робочої поверхні функціональних елементів породоруйнівних інструментів. Також, вперше на підставі аналізу форм частинок за формами прийнятих можливих базових

фігур-аналогів (БФА) та їх проекцій формоподібності показано, що формування частинок шламу проходить переважно по механізму крихкого руйнування;

2. Вперше з використанням методу колориметрії із загального шламу виділені частинки матеріалу зв'язки КАМ та побудовані розподіли їх розмірів, медіани яких змінювались від 80 до 225 мкм, в залежності від ступеня армування елементів КАМ;

3. Методами оптичного та контактного профілографування досліджена топографія зношування робочих поверхонь функціональних вставок з КАМ з різним ступенем армування робочих поверхонь та відповідні до них поверхні руйнування гірської породи. Аналіз отриманих профілограм показав, що середня відстань між поверхнями пар тертя змінюванні $\langle h \rangle_{\text{прош}}$ від 17 до 110 мкм, а щільність шламу $\rho_{\text{прош}}$ у прошарку змінюватись від 0,208 до 0,831 г/см³, що дає підставу оцінити присутність шламу в прошарку у стані вільного абразиву;

4. Вперше, з використанням атомно-силового мікроскопа NT-206V встановлено, що домінуючим механізмом зношування елементів КАМ є ініціювання в поверхневих шарах зв'язки тріщин втоми та їх розповсюдження, що призводять до відокремлення фрагментів зв'язки від основи функціональних елементів, тобто втрати їх маси.

Список використаної літератури до 5 розділу

94. Дослідження магнітофракційного складу та оцінка ефективності розділення в магнітному полі продуктів руйнування гірської породи функціональними елементами з алмазовмісного композиційного матеріалу на металевих зв'язках " авторів: А.Л. Майстренко, Н.О. Олійник, Г.Д. Ільницька, О.П. Виноградова, О.С. Васильчук, Г.А. Базалій у збірнику «Якість, стандартизація, контроль: теорія та практика» . – Матеріали 20-ї

Міжнародної науково-практичної конференції 07–11 вересня 2020 р., м. Одеса. – Київ: АТМ України, 2019, с.94–95.

95. Майстренко А.Л., Загора А.П., Шмегера Р.С. и др. Інтенсивність зношування породоруйнівних елементів з КАМ залежно від хімічного складу та способу нанесення покриттів на алмазні зерна// Породоразрушающий и металло-обрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения: сб. науч. тр. – К.: ИСМ им. В. Н. Бакуля НАН Украины, 2017, Вып. 20, С. 469–481.

96. Виноградова О.П. Руйнування гірських порід інструментом з функціональними елементами із композиційних алмазовмісних матеріалів: дис. Виноградової О.П. канд. техн. наук: 05.15.09. Київ, 2015, 195 с.

97. Кварц [Электр. ресурс] – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Кварц>

98. Н.А.Олейник, Г.Д. Ильницкая, Е.П.Виноградова, А.П. Загора, Г.А. Базалий, А.Л. Майстренко, В.Н. Ткач, Г.А. Петасюк Вопросы ресурсосбережения при извлечении частиц алмаза из шлама горной породы, образующегося в процессе работы алмазного бурового и камнеобрабатывающего инструмента /Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения: Сб. науч. тр. – Вып. 22. –Київ: ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины, 2019, с. 396-401.

99. Petasyuk G. A. System and criterial method of the identification and quantitative estimation of the geometrical shape of the abrasive powder grains projection // Powder Technology. V. 264, 2014, pp. 78-85.

100. Порошки алмазные синтетические. Общие технические условия. ДСТУ3292-95– К.: Госстандарт Украины, 1995, 72 с.

101. Шліфпорошки синтетичних алмазів термостійкі. Технічні умови ТУ У 28.5-05417377-075-2003. Інм ім. В.М. Бакуля НАН України. № реєстрації 081/028256 23.12.2003 р. Всеукраїнський державний науково –

виробничий центр стандартизації, метрології, сертифікації та захисту прав споживачів. 14 с.

102. Лавриненко В.И., Ильницкая Г.Д., Зайцева И.Н., Смоквина В.В., Максименко А., Скрыбин В. Улучшение физико-механических характеристик синтетических алмазов, синтезированных в разных ростовых системах, для повышения эффективности алмазного камнеобрабатывающего и правящего инструмента ,ISSN 2078-7405. Різання та інструмент в технологічних системах, 2019, вип. 91, с. 107-124.

103. Виноградова Е., Майстренко А., Загора А., Ильницкая Г., Олейник Н., Ткач В., Петасюк Г. Исследование возможности повреждения матрицы бурового алмазосодержащего инструмента движущимися частицами шлама //Современные вопросы производства и ремонта в промышленности и на транспорте : Мат-лы 19-го Междунар. Науч.-техн. семинара, 18–22 февраля 2019 г., г. Кошице. – Киев : АТМ України, 2019. – с.13-16.

104. Майстренко А.Л., Олійник Н.О., Ільницька Г.Д., Базалій Г.А., Загора А.П., Виноградова О.П., Петасюк Г.А., Васильчук О.С. Характеристики порошку алмазу, який застосовують в КАМ для руйнування гірської породи, та шламу руйнування / Зб. наук. праць Міжнародної наукової конференції "Матеріали для роботи в екстремальних умовах – 9, - НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», Інженерно-фізичний факультет, Україна, Київ. 18-19

105. Майстренко А. Л. Формирование структуры композиционных алмазо-содержащих материалов в технологических процессах. – К: Наукова думка, 2014, 342 с.

106. Гибридный алмазный композиционный поликристаллический материал и его свойства / А. А. Шульженко, Е. Е. Ашкинази, Р. К. Богданов и др. // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения: сб. науч. тр. – К.: ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины, 2010, Вып. 13, С. 214–223.

107. М88 Украины 90.256–2004. Методика определения удельной магнитной восприимчивости порошков сверхтвердых материалов (СТМ). – К.: ИСМ им. В. Н. Бакуля НАН Украины, 2004, 9 с.

108. Petasyuk G. A. System and criterial method of the identification and quantitative estimation of the geometrical shape of the abrasive powder grains projection // Powder Technology. 2014, V. 264, P. 78–85.

109. Майстренко А.Л. Характеристики порошку алмазу, який застосовують в КАМ для руйнування гірської породи та шламу руйнування / А. Л. Майстренко, Н. О. Олійник, Г. Д. Ільницька, Г. А. Базалій, А. П. Закора, О. П. Виноградова, Г. А. Петасюк, О. С. Васильчук // Зб. наук. праць Міжнародної наукової конференції «Матеріали для роботи в екстремальних умовах – 9» (18–19 грудня 2019 р.). – Київ: НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», 2019, С. 25–28. – Режим доступа: <http://iff.kpi.ua/nauka/konferentsii>.

110. Ю. Д. Филатов. Формообразование прецизионных плоскооптических поверхностей при полировании// Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент техника и технология его изготовления и применения: Сб. науч. тр. – Вып.10, - Киев: ИСМ им. В.Н. Бакуля, 2007, с.442–448.

111. Filatov Yu. D. Mechanism of formation of surface microrelief in machining glass // SovietJournal of superhard materials.–13, N 5, 1991, P. 63–67.

112. Rogov V. V., Filatov Yu. D., Kottler W., Sobol V. P. New technology of precision polishing of glass optic // OpticalEngineering. 40, August 2001, P. 1641-1645.

113. Filatov Yu. D. Polishing of aluminosilicate materials with bound abrasive tools // Journal of superhard materials (Allerton Press, New York). 23, N 3, 2001, P. 32–42.

114. Shmegeera R. S., Kushch V. I., and Maistrenko A. L. Metal binder based on nickel for an intensive electrosintering of diamond-containing composites // Journal of Superhard Materials. – №6.- 2014. – p. 44–53.

115. Інтенсивне електроспінання алмазних бурових коронок та результати їх тендових досліджень /Р.С.Шмегера, В.М.Сердюк, М.В.Супрун// Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент–техника и технология его изготовления и применения: Сб. науч. тр. – Вып.18, - Киев: ИСМ им. В.Н. Бакуля, 2015, с.109–113.

116. Petasyuk G. A. System and criterial method of the identification and quantitative estimation of the geometrical shape of the abrasive powder grains projection // Powder Technology. 2014, V. 264, P. 78–85.

117. Виноградова О.П. Геометричні параметри частинок продуктів зношування матричного матеріалу у породоруйнівних елементах із композиційного алмазовмісного матеріалу, вилучених методом магнітної сепарації зі шламу / О.П. Виноградова, О.У.Стельмах, А.С.Манохін, Г.А. Петасюк, О.С. Васильчук, А.Л. Майстренко // Матеріали міжнародної конференції «Проблеми геоінженерії та підземної урбаністики», 29–31 травня 2019 року. – КПП ім. Ігоря Сікорського.

118. Майстренко А.Л. Вплив абразивної складової КАМ на формування характеристики крупності шламу, який отримують при обробці гірської породи / А.Л. Майстренко, Н.О. Олійник, О.П.Виноградова, Г.А. Петасюк, Г.Д. Ільницька, О.С. Васильчук, Г.А.Базалій. – Сучасні питання виробництва та ремонту в промисловості і на транспорті: Матеріали Міжнародного науково-технічного семінару, 15–19 березня 2021 р., м. Львів. – Київ: АТМ України, 2021, С. 76–78.

119. Виноградова О.П. Аналіз продуктів зношування композиційного алмазовмісного матеріалу /О.П. Виноградова, А.Л. Майстренко, Р.С. Шмегера, А.С. Манохін, Г.Д.Ільницька, Н.О. Олійник, Г.А. Петасюк, В.М. Ткач, О.С. Васильчук, Л.М. Бологова // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения: Сб. науч. тр. – К.: ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины, 2019, Вып. 22, С.93–102.

120. А.Л. Майстренко, Г.А.Петасюк, Г.Д. Ільницька, Н.О. Олійник, А.П.Закора, О.П.Виноградова, О.С.Васильчук, Г.А.Базалій, О.І.Закутевський. Вплив ступеня армування алмазами функціональних елементів з КАМ на характеристики продуктів руйнування гірської породи. // Інженерія поверхні та реновація виробів: матеріали 21-ї Міжнародної науково-технічної конференції, 07-11 червня 2021 р., м.Свалява. – Київ: АТМ України, 2021, 172 с, С. 85-86.

121. Вплив ступеня армування порошком алмазу функціональних елементів з КАМ на характеристики продуктів руйнування гірської породи./ А.Л.Майстренко, Г.А.Петасюк, Г.Д.Ільницька, Н.О.Олійник, О.І.Закутевський, А.П.Закора, О.П.Виноградова, О.С.Васильчук, Г.А.Базалій. //Міжвуз. зб. наук. праць «Наукові нотатки» за галузями знань «Фізико-математичні науки» та «Технічні науки». – Луцьк: Луцький національний технічний університет. 2021, Вип. 71, С. 277–281.

122. Лоладзе Т. Н. Прочность и износостойкость режущего инструмента. – М.: Машиностроение, 1982, 320 с.

123. Дослідження впливу фізико-механічних характеристик алмазних зерен з металізованим покриттям на зносостійкість шліфувальних кругів[Електронний ресурс] / В.І. Лавріненко, Г. Д. Ільницька, О. А. Дєвицький, В. В. Смоквина, О. О. Пасічний, І. М. Зайцева, О. В. Іщенко, С. В. Гайдай // Вісник Житомирського державного технологічного університету. Серія : Технічні науки. 2015, № 2, С. 66-72. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vzhdtu_2015_2_12

124. Лавриненко В. И. Солод В. Ю. Инструменты из сверхтвердых материалов в технологиях абразивной и физико-технической обработки. — Каменское: ДГТУ, 2016, 529 с.

125. Дацишин О. П., Марченко Г. П., Глазов А. Ю. Про поверхневе руйнування головок залізничних рейок // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту.2017, № 4 (70)

126. Галин Л.А. Контактные задачи теории упругости и вязкоупругости. // М.: Наука, 1980, 304 с.
127. Горячева, И.Г., Добычин, М.Н. Контактные задачи в трибологии // Изд-во: М.: Машиностроение. 1988, 256 с.
128. Александров А.И., Грабко Е.В. Решение контактной задачи о вдавлении прямоугольного штампа в упругое шероховатое полупространство при наличии кулонова трения // Вест. самарс. гос. универ. Сер.Физ.-мат.наук. 2014, №4(37), с. 42-52.
129. 3D characterization of rolling contact fatigue crack networks / C. Jessop, J. Ahlstrom, L. Hammar [et al.] // Wear. 2016, Vol. 366–367., P.392–400.
130. Modelling wear and rolling contact fatigue: Parametric study and experimental results / G. Trummer, C. Marte, S. Scheriau [et al.] // Wear. 2016, Vol. 366–367, P.71–77.
131. Ringsberg, J.W., Bergkvist A. On propagation of short rolling contact fatigue cracks // Fatigue and Fracture of Engineering Materials and Structures. 2003, Vol. 26, P.969–983.
132. The competitive role of wear and RCF in a rail steel / G. Donzella, M. Faccoli, A. Ghidini [et al.] // Engineering Fracture Mechanics. 2005, Vol. 72., Iss. 2, P. 287–308.
133. Йосифович, Р. М. Дослідження залишкового ресурсу дефектних рейок типу Р50 із випробуванням на циклічну витривалість // Наука та прогрес транспорту. 2015, № 6 (60), С. 78–87.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Розроблений технологічний процес виготовлення вставок із композиційних алмазовмісних матеріалів (КАМ) для породоруйнівних інструментів електроспінанням під тиском (ЕСТ) - (ТІ 01000.20299).

2. Визначений вплив концентрації, зернистості та покриттів алмазів в КАМ, що виготовлені електроспінанням під тиском на зміну теплопровідності. Зразки із гранульованими алмазами значно погіршується теплопровідність, а з алмазами нанесеними PVD методом покриттям покращуються на 4-10% теплопровідність.

3. Вперше експериментально досліджено процес зношування композиційних алмазовмісних матеріалів (КАМ) на металевій зв'язці на основі Ni–Sn, які виготовлені електроспінанням. Визначено, що в залежності від ступеня армування робочої поверхні функціональних елементів зернами алмазу, інтенсивність їхнього зношування змінювалась від 34,6 до 301,5 мг/км. Встановлено, що інтенсивність їх зношування залежить не від зернистості армуючих алмазів, а від площі їх поверхонь на контактній площині функціонального елементу.

4. На підставі запропонованої моделі напруженого стану навантаженого зерна алмазу розраховано, що при ідеальному контакті зерна алмазу зернистості 400/315 із металевою зв'язкою при навантаженні напруженням 270 МПа критичне вскриття алмазу над зв'язкою досягає 135 мкм, а величини максимальних напружень досягають межі текучості матеріалу зв'язки, що призводить до ймовірного викиду зерна алмазу зі зв'язки;

5. В результаті розділення продуктів руйнування гірської породи та зношування функціональних елементів з КАМ в магнітному полі показано, що загальний шлам поділяється в магнітному полі на фракції, які розрізняються за питомою магнітною сприйнятливістю від $(3,9-8,8) \cdot 10^{-8}$ до $(1500-9500) \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$;

6. З використанням методу рентгено-флюоресцентної спектроскопії визначена залежність вмісту частинок зв'язки КАМ в шламi від ступеня армування робочої поверхні елементу КАМ алмазами - 0,120...0,741 % мас.;

7. Вперше виконана морфометрична класифікація шламу, отриманого при різанні гірської породи, на підставі якої визначені розподіли розмірів проекцій середнього діаметра частинок шламу та показано, що вони змінюються в межах від 225 до 357 мкм, в залежності від ступеня армування робочої поверхні функціональних елементів породоруйнівних інструментів.

8. Вперше з використанням методу колориметрії із загального шламу виділені частинки матеріалу зв'язки КАМ та побудовані розподіли їх розмірів, медіани яких змінювались від 80 до 225 мкм, в залежності від ступеню армування елементів КАМ. Також, вперше на підставі аналізу форм частинок за формами прийнятих можливих базових фігур-аналогів (БФА) та їх проекцій $f_k^{(л)}$ формоподібності показано, що формування частинок шламу проходить переважно по механізму крихкого руйнування;

9. Методами оптичного та контактного профілографування досліджена топографія зношування робочих поверхонь функціональних вставок з КАМ з різним ступенем армування робочих поверхонь та відповідні до них поверхні руйнування гірської породи. Аналіз отриманих профілограм показав, що середня відстань між поверхнями пар тертя змінюванні $\langle h \rangle_{\text{прош}}$ від 17 до 110 мкм, а щільність шламу $\rho_{\text{прош}}$ у прошарку змінюватись від 0,208 до 0,831 г/см³, що дає підставу оцінити присутність шламу в прошарку у стані вільного абразиву;

10. Вперше, з використанням атомно-силового мікроскопа NT-206V встановлено, що домінуючим механізмом зношування елементів КАМ є ініціювання в поверхневих шарах зв'язки тріщин втоми та їх розповсюдження, що призводять до відокремлення фрагментів зв'язки від основи функціональних елементів, тобто втрати їх маси

ДОДАТКИ

Додаткок А

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Публікації у фахових виданнях України

1. Виноградова О.П., Майстренко А.Л., Шмегера Р.С., Манохін А.С., Ільницька Г.Д., Олійник Н.О., Петасюк Г.А., Ткач В.М., Васильчук О.С., Бологова Л.М. Аналіз продуктів зношування композиційного алмазовмісного матеріалу. *Породоразрушающий инструмент из сверхтвердых материалов и технология его применения*. 2019, 22, 93-102.

Особистий внесок здобувача: підготовка та проведення інтенсивного резистивного електроспікання дослідних зразків, випробування експериментальних зразків, виконання мікроскопічних досліджень, дослідження гранулометричних та морфометричних характеристик, формулювання висновків.

2. Васильчук О.С., Майстренко А.Л., Петасюк Г.А., Олійник Н.О., Ільницька Г.Д., Виноградова О.П., Закора А.П., Базалій Г.А. Розподілення частинок за розмірами та магнітні характеристики шламу, який отримують при обробці пісковика функціональними елементами з КАМ на металевих зв'язках. *Інструментальне матеріалознавство*. 2020, 23, 72-78.

Особистий внесок здобувача: підготовка та проведення інтенсивного резистивного електроспікання дослідних зразків, випробування експериментальних зразків, виконання мікроскопічних досліджень, дослідження гранулометричних та морфометричних характеристик, розробка методики виокремлення магнітної фракції від гірської породи, формулювання висновків.

3. Майстренко А.Л., Петасюк Г.А., Ільницька Г.Д., Олійник Н.О., Закутевський О.І., Закора А.П., Виноградова О.П., Васильчук О.С., Базалій Г.А. Вплив ступеня армування порошком алмазу функціональних елементів з

КАМ на характеристики продуктів руйнування гірської породи. *Міжвузівський збірник «НАУКОВІ ПОТАТКИ»*. 2021, 71, 277-281.

Особистий внесок здобувача: підготовка та проведення інтенсивного резистивного електроспікання дослідних зразків, випробування експериментальних зразків, дослідження фізико-механічних характеристик, виконання мікроскопічних досліджень, дослідження гранулометричних та морфометричних характеристик, формулювання висновків.

4. Васильчук О.С., Майстренко А.Л., Петасюк Г.А, Олійник Н.О., Ільницька Г.Д., Виноградова О.П, Закора А.П, Закутевський О.І., Базалій Г.А, Ковтун М.Ф. Дослідження впливу абразивної складової експериментальних вставок з КАМ для породоруйнівного інструменту на характеристики продуктів руйнування гірської породи. *Інструментальне матеріалознавство*. 2021, 24, 288-296. *Особистий внесок здобувача: підготовка та проведення інтенсивного резистивного електроспікання дослідних зразків, випробування експериментальних зразків, дослідження гранулометричних та морфометричних характеристик, формулювання висновків.*

Публікації у виданнях, що входять до міжнародної науково-метричної бази Scopus, Web of Science.

5. Vasylchuk O.S., Maystrenko A.L., Petasyuk G.A., Vynohradova O.P, Ilnitska G.D, Oleinyk N.O, Zakutevskyi O.I, Zakora A.P., Manohin A.S. Wear of Diamond Composite Materials during Rock Destruction. *Journal of Friction and Wear*. 2021, 42, 454–460.

Особистий внесок здобувача: підготовка та проведення інтенсивного резистивного електроспікання дослідних зразків, випробування експериментальних зразків, виконання мікроскопічних досліджень, дослідження гранулометричних та морфометричних характеристик, , формулювання висновків.

6. Майстренко А.Л., Бондаренко М.О., Антонюк В.С. , Петасюк Г.А., Виноградова О.П. , Васильчук О.С., Закора А.П., Закутевський О.І., Олійник Н.О. Інтенсивність зношування функціональних елементів із композиційних алмазовмісних матеріалів під час роботи інструментів в процесі руйнування гірської породи. Надтверді матеріали. 2023, 3, 59-68.

Особистий внесок здобувача: підготовка та проведення інтенсивного резистивного електроспікання дослідних зразків, випробування експериментальних зразків, виконання мікроскопічних досліджень, дослідження гранулометричних та морфометричних характеристик, формулювання висновків.

Матеріали конференцій

7. Vynohradova O.P., Maystrenko A.L, Vasylchuk O.S. The mechanism of wear of diamond-containing composite in drilling tools. *International scientific and technical internet conference “innovative development of Resource-saving technologies of Mineral mining and processing”*. December 14, 2018, 218-220.

Особистий внесок здобувача: підготовка та проведення інтенсивного резистивного електроспікання дослідних зразків, випробування експериментальних зразків, дослідження гранулометричних та морфометричних характеристик, формулювання висновків.

8. Виноградова О.П., Васильчук О.С., Стельмах О.У., Манохін А.С., Петасюк Г.А., Майстренко А.Л. Геометричні параметри частинок продуктів зношування матричного матеріалу у породоруйнівних елементах із композиційного алмазовмісного матеріалу, вилучених методом магнітної сепарації зі шламу. *Матеріали міжнародної конференції «Проблеми геоінженерії та підземної урбаністики», КПІ ім. Ігоря Сікорського. - 29-31 травня 2019 року.* 2019, 86-88.

Особистий внесок здобувача: підготовка та проведення інтенсивного резистивного електроспікання дослідних зразків, випробування експериментальних зразків, виконання мікроскопічних

досліджень, дослідження гранулометричних та морфометричних характеристик, розробка методики виокремлення магнітної фракції від гірської породи, формулювання висновків.

9. Васильчук О.С., Майстренко А.Л., Олійник Н.О., Ільницька Г.Д., Базалій Г.А., Закора А.П., Виноградова О.П., Петасюк Г.А. Характеристики порошку алмазу, який застосовують в КАМ для руйнування гірської породи, та шламу руйнування. Зб. робіт Міжнародної наукової конференції «Матеріали для роботи в екстремальних умовах – 9», НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», 18-19 грудня 2019, Інженерно-фізичний факультет, Київ, Україна. 2019, 25-28.

Особистий внесок здобувача: виконання мікроскопічних досліджень, дослідження гранулометричних та морфометричних характеристик, формулювання висновків.

10. Vasylychuk O.S., Maystrenko A.L., Oliinyk N.O., Ilnitska G.D., Petasyuk G.A., Vynohradova O. P., Bazaliy G.A., Zakora A.P. Магнито-фракционный состав и морфометрические характеристики шлама, полученного при обработке песчаника функциональными элементами из КАМ. 6-th international conference «HighMatTech-2019». 2019, 110-113.

Особистий внесок здобувача: підготовка та проведення інтенсивного резистивного електроспікання дослідних зразків, випробування експериментальних зразків, виконання мікроскопічних досліджень, дослідження гранулометричних та морфометричних характеристик, розробка методики виокремлення магнітної фракції від гірської породи, формулювання висновків.

11. Васильчук О.С., Майстренко А.Л., Олійник Н.О., Ільницька Г.Д., Виноградова О.П., Базалій Г.А. Дослідження магніто-фракційного складу та оцінка ефективності розділення в магнітному полі продуктів руйнування гірської породи функціональними елементами з алмазо-вмісного композиційного матеріалу на металевих з'язках. Якість, стандартизація, контроль: Теорія та практика: Матеріали 20-ї Міжнародної науково-

практичної конференції, 07–11 вересня 2019 р., м. Одеса. – Київ: АТМ України. 2019, 94-96.

Особистий внесок здобувача: підготовка та проведення інтенсивного резистивного електроспікання дослідних зразків, випробування експериментальних зразків, виконання мікроскопічних досліджень, розробка методики виокремлення магнітної фракції від гірської породи, дослідження гранулометричних та морфометричних характеристик, формулювання висновків.

12. Васильчук А.С., Майстренко А.Л., Олейник Н.А., Ильницкая Г.Д., Петасюк Г.А., Базалий Г.А., Закора А.П., Виноградова Е.П. Влияние интенсивности износа породоразрушающих элементов из КАМ на изменение магнито-фракционного состава шлама и его морфометрических характеристик. *Современные вопросы производства и ремонта в промышленности и на транспорте: Материалы 20-го Международного научно-технического семинара, 23–28 марта 2020 г., г. Тбилиси.* – Киев : АТМ України. 2020, 26-29.

Особистий внесок здобувача: підготовка та проведення інтенсивного резистивного електроспікання дослідних зразків, випробування експериментальних зразків, дослідження гранулометричних та морфометричних характеристик, формулювання висновків.

13. Vasylychuk O.S., Maystrenko A.L., Oliinyk N.O., Ilnitska G.D., Petasyuk G.A., Vynohradova O. P., Bazaliy G.A., Zakora A.P. Magnetic-fraction composition and morpho-metric characteristics of the sludge, obtained during the processing of the sandstone by functional elements from composite diamond-containing materials. 7-th International Samsonov Conference “Materials Science of High Melting Compounds” (MSHMC).- (May 25-28, 2020 Kyiv, Ukraine). 2020, 63.

Особистий внесок здобувача: підготовка та проведення інтенсивного резистивного електроспікання дослідних зразків,

випробування експериментальних зразків, дослідження гранулометричних та морфометричних характеристик, формулювання висновків.

14. Васильчук О.С., Майстренко А.Л., Олійник Н.О., Ільницька Г.Д., Закора А.П., Виноградова О.П., Базалій Г.А. Аналіз шламу, який отримують при обробці пісковика функціональними елементами з КАМ на металевих зв'язках. *Матеріали Міжнародної наукової конференції «Матеріали для роботи в екстремальних умовах».* – 10–11 грудня 2020, Київ. 2020, 60-63.

Особистий внесок здобувача: підготовка та проведення інтенсивного резистивного електроспікання дослідних зразків, випробування експериментальних зразків, дослідження гранулометричних та морфометричних характеристик, формулювання висновків.

15. Васильчук О.С., Майстренко А.Л., Олійник Н.О., Петасюк Г.А., Виноградова О.П., Ільницька Г.Д., Базалій Г.А. Вплив абразивної складової КАМ на формування характеристики крупності шламу, який отримують при обробці гірської породи. *Тези конференції «Сучасні питання виробництва і ремонту в промисловості і на транспорті»* .- березень 2021 р., м. Львів. 2021, 76-78.

Особистий внесок здобувача: підготовка та проведення інтенсивного резистивного електроспікання дослідних зразків, випробування експериментальних зразків, дослідження гранулометричних та морфометричних характеристик, формулювання висновків.

16. Васильчук О.С., Майстренко А.Л., Петасюк Г.А., Ільницька Г.Д., Олійник Н.О., Закора А.П., Виноградова О.П., Базалій Г.А., Закутевський О.І. Вплив ступеня армування порошком алмазу функціональних елементів з КАМ на характеристики продуктів руйнування гірської породи. *Матеріали 21-ї Міжнародної науково-технічної конференції «Інженерія поверхні та реновація виробів»* 07–11 червня 2021 р., м. Свалява. 2021, 85-87.

Особистий внесок здобувача: підготовка та проведення інтенсивного резистивного електроспікання дослідних зразків, випробування експериментальних зразків, дослідження фізико-механічних характеристик, дослідження гранулометричних та морфометричних характеристик, формулювання висновків.

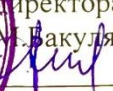
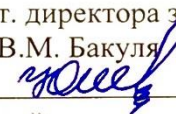
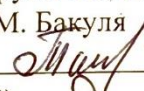
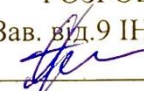
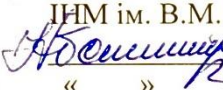
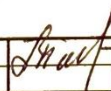
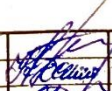
17. Vynohradova O., Vasylchuk O., Zakora A., Petasyuk G., Garashchenko V. The analysis of nature of damage of the matrix material, used in production of diamond drilling and stone-working tools during the destruction of a rocks. REnergy- and resource-saving technologies of developing the raw-material base of mining regions multi-authored monograph / reviewers: Mihaela TODERAS, Khavalbolot KELGENBAI, Dimitar ANASTASOV. – Petroșani, Romania : UNIVERSITAS Publishing 2021, 344-357.

Особистий внесок здобувача: підготовка та проведення інтенсивного резистивного електроспікання дослідних зразків, випробування експериментальних зразків, виконання мікроскопічних досліджень, формулювання висновків.

18. Oliinyk N., Maystrenko A., Petasyuk G., Ilnytska H., Vynohradova O., Zakora A., Zakutevskyi O., Vasylchuk O., Bazaliy G., Kovtun M. Influence of the reinforcing component of experimental inserts made of a composite diamond-containing material on the characteristics of the products of destruction of rocks. HighMatTech-2021 5-7 October 2021, Kyiv, Ukraine Book of Abstracts. 2021, 19.

Особистий внесок здобувача: підготовка та проведення інтенсивного резистивного електроспікання дослідних зразків, випробування експериментальних зразків, дослідження гранулометричних та морфометричних характеристик, формулювання висновків.

Додаток Б

						13	1	
		ІНМ				25000.00857		
		Вставки для бурового інструменту						
		Національна Академія Наук України Інститут надтвердих матеріалів ім.В.М.Бакуля ЗАТВЕРДЖУЮ Заст. директора ІНМ ім. В.М. Бакуля  С.А.Клименко «___» _____ 2023 р. ТЕХНОЛОГІЧНА ІНСТРУКЦІЯ на виготовлення вставок електроспінанням під тиском із композиційних алмазовмісних матеріалів (КАМ) для бурового інструменту ТІ 25000.00857 ПОГОДЖЕНО Заст. директора з технічних питань ІНМ ім. В.М. Бакуля  Ю.П.Ущаповський «___» _____ 2023 р. Рук. групи стандартизації ІНМ ім. В.М. Бакуля  Л.М.Тимошенко «___» _____ 2023 р. РОЗРОБЛЕНО Зав. від.9 ІНМ ім. В.М. Бакуля  А.Л.Майстренко «___» _____ 2023 р. Пров. наук.співр. лаб. 9/2 ІНМ ім. В.М. Бакуля  М.О. Бондаренко «___» _____ 2023 р. М.н.с. відд.9 ІНМ ім. В.М.Бакуля  О.С. Васильчук «___» _____ 2023 р. Пров.інженер від.9 ІНМ ім. В.М. Бакуля  Л.М. Бологова «___» _____ 2023 р.						
		Перевірив	Тимошенко		Розробив	Майстренко		
						Бондаренко		
						Васильчук		
						Бологова		
		ТІ						

3

25000.00857

4 Вимоги безпеки та охорони навколишнього середовища

4.1 Вставки КАМ виготовляються методом електроспінання під високим тиском (ЕСВТ). У процесі приготування наважок і спікання вставок КАМ можливе незначне виділення пилу речовин, що застосовуються. Клас небезпеки, гранично-допустима концентрація (ГДК) в повітрі робочої зони речовин, що застосовуються, наведені в таблиці 1.

Таблиця 1

Найменування речовини або компонентів	ГДК, мг/м ³	Клас небезпеки
металеві суміші	4	III
смола епоксидна	0,8-1,0	II
масло вазелінове	5	III
бензин	300	IV
кислота олеїнова	-	-
ацетон	200	IV
калоїдально-графітовий препарат	-	-

Токсикологічний вплив компонентів шихти на організм приведено в таблиці 2.

Таблиця 2

Найменування речовини	Токсикологічн вплив	Нормативно-технічний документ
металеві суміші смола епоксидна масло вазелінове бензин кислота олеїнова ацетон калоїдально-графітовий препарат	Впливають на органи дихання та зору	Вредные вещества в промышленности. Том 3/ Под. ред. Н.В. Лазарева. -Л.: Химия, 1977. - 831 с.

ТІ

				5
				25000.00857
5 Технологічні операції				
5.1 Технологічна схема процесу приготування вставок із КАМ складається з операцій, наведених у таблиці 3.				
Таблиця 3				
Найменування та зміст операції		Устаткування, технологічне оснащення, прилади, засоби вимірювання		
1		2		
1 Приготування алмазних гранул вставок КАМ.				
1.1 Просіяти металеву суміш, грудки протерти через сито за допомогою гумового корку.		Вібросито Сітка полутомпакова Бачок		
1.2 Приготувати суміш олеїнової кислоти з вазеліновим маслом 1:3, злити в скляну тару, змішати шпателем і витримати при кімнатній температурі.		Тара скляна Кришка поліетиленова Шпатель Респіратор ТУ У 33.1-01530125-008-2002		
1.3 Розфасовка епоксидної смоли в труби 3-4 шт., що встановлені у хімічний стакан, за допомогою воронки та закрити труби.		Труби металеві №11 50 мм x 145мм Стакан ВВ500 Воронка		
1.4 Зважити наважку металеві суміші на партію вставок. Покласти на кальку.		Ваги лабораторні ричажні 4 кл. марка Т200		
1.5 Вичавити на лист кальки наважку епоксидної смоли.		Т1000		
1.6 Зважити наважку металеві суміші для приготування первинних гранул. Висипати наважку металеві суміші з епоксидною смолою і вручну перемішати шпателем. Насипати металеву суміш, обкатати гумовим корком. Просіяти через сито. Загрузити в барабан гранулятора, обкатати металеві сумішю.		Ваги настільні циферблатні 4-5 кл. Совок Шпатель Стіл для шихтовщиків Гумовий корок Сита 120 мм Гранулятор.		
ТІ				

					6
					25000.00857
Продовження таблиці 3					
1			2		
2 Розфасовка шихти наважок КАМ для 100% концентрації алмазів.			Пристрій для дозування		
2.1 Маса алмазів покритих іоно-плазмовим напиленням - 0,94 г, маса металевої зв'язки - 4,026 г або маса гранульованих алмазів хромом - 1,642 г, маса металевої зв'язки - 3,326 г або маса алмазів без покриттів - 0,612 г, маса зв'язки - 4,356 г. Наважки засипати у сталеву пресформу.			Поворотний стіл		
			Ваги електронні лабораторні Axis ADA 1200		
			Совок		
			Стіл для шихтування		
			Тиглі низькі, касета для тиглей		
3 Формування алмазних вставок КАМ, неробочого і робочого шару.			Прес гідравлічний для холодної підпресовки		
3.1 Підготовка прес-форм - змастити робочі торці пуансонів водним калюїдально-графітовим препаратом, просушити.			Сталева (марки У8А) прес-форма		
3.2 Засипати у матричні отвори навіски металевої шихти. Встановити підпресувальні пуансони.			Пресувальні пуансони		
3.3 Провести пресування неробочого шару.					
3.4 Вийняти підпресувальні пуансони.					
ТІ					

				7
				25000.00857
Продовження таблиці 3				
1		2		
3.5 В отвори матриці сталеві прес-форми з заформованим неробочим шаром засипати послідовно наважки алмазо-металевих гранул.		Прес гідравлічний для холодної підпресовки заготовок вставок Прес-форми графітові		
3.6 Вставити сталеві пуансони в матричні отвори сталеві прес-форми .				
3.7 Пресувати робочий шар відповідно до таблиці 4 .				
Таблиця 4				
Діаметр вставки, мм		Зусилля підпресовки $\pm(3-5)\%$ МПа		
6		110		
8		185		
10		300		
12		413		
ТІ				

				8
				25000.00857
Продовження таблиці 3				
1		2		
4 Підготовка технологічного оснащення для виготовлення вставок КАМ.		Установка ЕСВТ для електроспінання вставок КАМ конструкції ІНМ		
4.1 Підготувати прес і настроїти установку ЕСВТ для електроспінання вставок КАМ конструкції ІНМ, включити та провести підготовку до роботи відповідно до інструкції з експлуатації установок з високим рівнем електричного струму.		Трансформатор силовий на 30 кВт Трансформатор регулюючий РЭНО-40 Компресор поршневий VBM-2T0.4-100 WERK - 10 атм. 2,2 кВт, вхід: 420 л/хв., ресивер 100		
4.2 Встановити технологічний вузол всередині нижньої прокладки.		Пірометр Кліщі ОТ 845.0.0.00		
4.3 Включити пневматичний прес та створити зусилля на пресформу 290 МПа. Увімкнути електричний струм для нагрівання.		Прокладки НХ 391.0.0.00 Манометр МТП 160/1-600х2,5 Годинник електричний ВЧСІ-М2Щ24Р-150-450		
4.4 Відрегулювати потужність, силу струму (1,2 кА) та напругу (3-4 В) на стендових приладах установки до отримання в технологічному вузлі стабільної температури. Спикати тривалістю (10-20 с) з відліком відповідно до таблиці 4.		Прес пневматичний зусиллям 350 кН		
4.5 Вимкнути нагрівання, зняти тиск і помістити технологічний вузол в лоток із піском для охолодження.				
ТІ				

Продовження таблиці 3

5 Спикання вставок

5.1 Зібрати технологічний вузол для спикання вставок відповідно до схеми - рис.1.

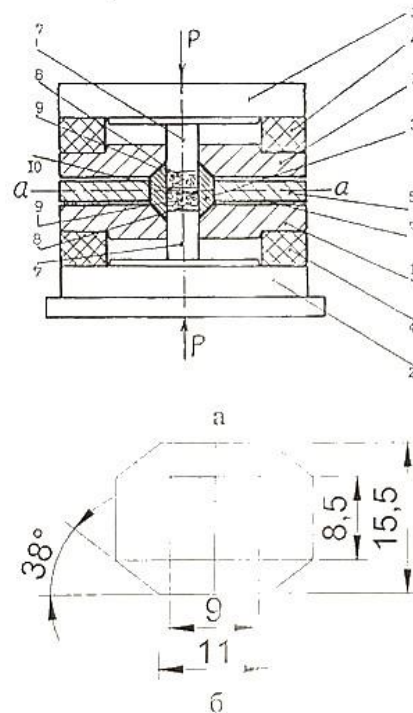


Рисунок 1. Схема зборки технологічного вузла установки ЕСВТ: прокладки-1, опорні ковадла-2, контейнери із пірофіліту -3, верхня та нижня гумові прокладки-4, обойми -5, верхній та нижній пуансони-7, лускатий графіт-8, брикет-10 -(а); контейнер з пресованого пірофіліту для електроспикання вставок КАМ - (б).

5.2 Встановити 2 контейнери в технологічний вузол. Робочі частини контейнерів повинні знаходитися в зоні резистивного нагріву установки ЕСВТ.

Установка ЕСВТ для електроспикання під високим тиском конструкції ІНМ

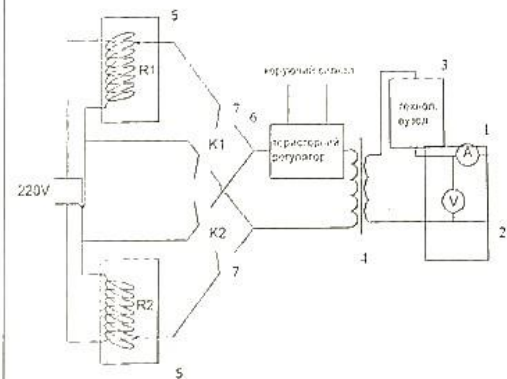


Рисунок 2. Електрична схема установки ЕСВТ: 1-амперметр, 2-вольтметр, 3-технологічний вузол, 4-трансформатор, 5-R1, R2 регулятори для зміни величини вхідної напруги, 6-теристорний регулятор, 7-вимикач.

Пірометр

Кліщі ОТ 845.0.0.00.

Прокладки НХ 391.0.0.00.

Лоток для охолодження технологічного вузла П 809.0.0.00.

Манометр МТП 160/1-600х2,5

Годинник електричний ВЧС1-М2Щ24Р-150-450

Прес П411А.

10

25000.00857

Продовження таблиці 3

1	2																																
5.3 Встановити поза пресом прокладку обмежувач. Увімкнути прес. Прикласти початкове навантаження до прес-форми згідно з таблиці 5 5.4 Увімкнути струм для нагрівання. Здійснити спікання вставок. Розподіл зусиль та часу спікання за стадіями наведено у таблиці 5. Таблиця 5 <table> <tr> <th rowspan="2">Стадії</th><th rowspan="2">Час, с</th><th colspan="4">Діаметр вставок, мм</th></tr> <tr> <th>6</th><th>8</th><th>10</th><th>12</th></tr> <tr> <td rowspan="3">Нагрівання</td><td>18</td><td>90</td><td>148</td><td>245</td><td>340</td></tr> <tr> <td>14</td><td>107</td><td>176</td><td>292</td><td>405</td></tr> <tr> <td>11</td><td>125</td><td>205</td><td>340</td><td>472</td></tr> <tr> <td>Охолодження</td><td>290</td><td colspan="4">Відповідне зусилля</td></tr> </table>	Стадії	Час, с	Діаметр вставок, мм				6	8	10	12	Нагрівання	18	90	148	245	340	14	107	176	292	405	11	125	205	340	472	Охолодження	290	Відповідне зусилля				Установка ЕСВТ для електроспікання вставок КАМ під тиском конструкції ІНМ Пірометр Кліщі ОТ 845.0.0.00 Прокладки НХ 391.0.0.00 Лоток для охолодження кілець ІІ 809.0.0.00. Манометр МТП 160/1-600х2,5 Годинник електричний ВЧСІ-М2Щ24Р-150-450 Прес П411А
Стадії			Час, с	Діаметр вставок, мм																													
	6	8		10	12																												
Нагрівання	18	90	148	245	340																												
	14	107	176	292	405																												
	11	125	205	340	472																												
Охолодження	290	Відповідне зусилля																															

ТІ

[illegible]

Додаток В



№ 080-2023 від 07.04.2023р.

АКТ

використання бурових вставок виробництва ІНМ НАН України

Вставки із композиційних алмазовмісних матеріалів для бурового інструменту, отримані електроспінанням під тиском (ТІ 25000.00857) в ІНМ НАН України, які виготовлені відповідно до результатів і рекомендацій дисертаційної роботи О.С. Васильчука «Визначення впливу вмісту алмазів в композиційних алмазовмісних матеріалах, що отримані електроспінанням, на зносостійкість функціональних елементів породоруйнівних інструментів», використовуються в бурових інструментах, що проектується, виготовляються та експлуатуються в ПрАТ «Науково-дослідному і конструкторському бюро бурового інструменту»:

- калібратори КЛСВ-210, КЛСВ-212, КЛСВ-215,9;
- лопаті пристроїв ПВУ-114 та ПВУ-138 для вирізання вікон в обсадних колонах діаметром, відповідно, 146 і 168 мм;
- бурильні головки К212,7/100ТКЗ.

Від ПрАТ «Науково-дослідне і конструкторське бюро бурового інструменту»:

Генеральний директор, д.т.н.

Я.В. Кунцяк

Головний конструктор, к.т.н.

Д.М. Мартинюк

Від ІНМ ім. В.М. Бакуля НАН України:

Завідувач відділу №9 ІНМ НАНУ, д.т.н.

А.Л. Майстренко

м.н.с. відділу №9

О.С. Васильчук