

ВПЛИВ СПОСОБУ ОТРИМАННЯ ЗАГОТОВКИ ТА ЙОГО ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ НА ЯКІСНІ ПОКАЗНИКИ ПОРОДОРУЙНІВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ДОЛІТ

І.О. Шуляр

ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (0342) 771345,
e-mail: t n g m @ n u n g . e d u . u a

Розглядається проблема дослідження впливу на якісні показники робочої частини бурових доліт способу отримання його породоруйнівних елементів. Досліджено породоруйнівні елементи, виготовлені об'ємним армуванням у нерухомі форми, відцентровим армуванням у форми, що обертаються навколо вертикальної осі і у форми, що обертаються навколо двох взаємоперпендикулярних осей. Проведено експерименти з використанням позбленого ливарного обладнання. Досліджено макро- і мікроструктуру виливків, визначено мікротвердість армованої зони. Встановлено залежність концентрації твердого сплаву від температури нагрівання та частоти обертання ливарної форми, а також від кількості введеного твердого сплаву. Встановлено вплив законів розподілу твердосплавних частинок на їх концентрацію в перехідній зоні від робочої до хвостовика породоруйнівного елемента. Встановлено показники абразивної, ударно-абразивної та ударно-втомної стійкості і їх залежності від технологічних параметрів виготовлення породоруйнівних елементів бурових доліт.

Ключові слова: породоруйнівний елемент, технологічні параметри, знос, ударно-абразивна, ударно-втомна стійкість.

Рассматривается проблема исследования влияния на качественные показатели рабочей части буровых долот способа получения его породоразрушающих элементов. Исследованы породоразрушающие элементы, изготовленные объемным армированием в неподвижные формы, центробежным армированием в формы, вращающиеся вокруг вертикальной оси и в формы, вращающиеся вокруг двух взаимноперпендикулярных осей. Проведены эксперименты с использованием разработанного литейного оборудования. Исследованы макро- и микроструктура отливок, определена микротвердость армированной зоны. Установлена зависимость концентрации твердого сплава от температуры нагрева и частоты вращения литейной формы, а также от количества вводимого твердого сплава. Установлено влияние законов распределения твердосплавных частиц на их концентрацию в переходной зоне от рабочей к хвостовику породоразрушающего элемента. Установлены показатели абразивной, ударо-абразивной и ударо-усталостной стойкости и их зависимости от технологических параметров изготовления породоразрушающих элементов буровых долот.

Ключевые слова: породоразрушающий элемент, технологические параметры, износ, ударо-абразивная, ударо-усталостная стойкость.

The article deals with the problem of studying the influence of the way for obtaining the drill bit rock cutting elements on the qualitative characteristics of their working parts. The rock cutting elements, made with the help of three-dimensional reinforcement in the fixed casting moulds, with the help of centrifugal reinforcement in the moulds that rotate around their vertical axes, and moulds that rotate around two mutually perpendicular axes, were studied. The experiments were conducted using the foundry equipment. The macro- and microstructure of the casted elements was examined and microhardness of the reinforced zone was determined. The dependence of the hard alloy concentration on the heating temperature and rotations per minute of the casting mould, as well as on the quantity of the added hard alloy, was found out. The influence of the hard alloy particles distribution laws on their concentration in the transition zone that is between the working space and rock cutting tool shank was established. The indicators of abrasive, shock-and-abrasive, and shock-and-fatigue resistance and their dependencies on the process parameters of the drill bit rock cutting elements manufacturing were determined.

Keywords: rock-cutting element, process parameters, wear, shock-and-abrasive, shock-and-fatigue resistance.

Актуальність (постановка проблеми). Продуктивність буріння нафтових і газових свердловин значною мірою залежить від надійності, продуктивності і довговічності бурових шарошкових доліт. Залежно від типу долота функцію породоруйнівних елементів виконують зуби, виготовлені як одне ціле з шарошкою або зубці, що запресовуються у тіло шарошки.

Зазвичай, у промисловості зуби шарошки, доліт, призначених для розбурювання м'яких і середньом'яких порід, отримують шляхом фрезерування западин між зубами на кованих заготовках шарошок або литвом заготовок шарошок в оболонкові форми чи кокіль [1]. Для на-

дання зубам шарошок необхідної твердості і зносостійкості їхню робочу поверхню армують зернистим карбідом вольфраму методом індукційного або газополуменового наплавлення. Отримані таким чином зуби не забезпечують високих експлуатаційних характеристик доліт з тієї причини, що при зменшенні товщини армованого шару останній під впливом динамічних навантажень інтенсивно сколюється з поверхні зубів, що спричинює вихід з ладу бурового інструменту [2].

Шарошки доліт, призначених для буріння твердих порід, оснащують суцільними твердосплавними зубцями з голівкою сферичної або

клиноподібної форми. Зубці виготовляють методом порошкової металургії з карбідів вольфраму та порошку металевого кобальту. Циліндричною частиною зубці запресовують у тіло шарошки, що має високу пластичність, і тільки поверхневий шар насичують вуглецем і цементують. Під час роботи долота під дією знакозмінних динамічних навантажень зубці розтріскуються або розбивають отвір в тілі шарошки і випадають. Відтак шарошка втрачає свої експлуатаційні властивості, а частинки зруйнованих зубців на вибої пошкоджують металеві частини долота [2].

Запропонована нами вдосконалена технологія виготовлення породоруйнівних елементів бурових та породоруйнюючих інструментів об'ємним армуванням в процесі відцентрового литва [4, 5] забезпечує цим елементам комплексні експлуатаційні показники – високу твердість і зносостійкість робочої зони у поєднанні з пластичністю основи. Ця технологія поєднує операції ливарного виробництва, армування в процесі литва, термообробку, механічну обробку виливків з метою отримання потрібної точності та шорсткості тощо і може бути застосована для отримання високих експлуатаційних характеристик не лише бурових доліт, а й інших інструментів, що працюють в умовах значних динамічних і статичних навантажень в присутності абразивного середовища.

Саме тому виникла необхідність дослідження впливу способу отримання заготовки та його технологічних параметрів на якісні показники робочої частини інструментів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Відомо, що основними показниками якості заготовок породоруйнівних елементів доліт, отриманих за технологією об'ємного армування в процесі відцентрового литва, є концентрація армуючих частинок в об'ємі армованої зони, конфігурація цієї зони та її розміщення в об'ємі виробу, ступінь легування металозв'язки елементами армуючих частинок. Перелічені характеристики визначають твердість зубів та зубців шарошок, їхню механічну міцність та стійкість до абразивного і ударно-абразивного спрацювання на вибої [1, 2]. Попередніми дослідженнями [6–9] було виявлено загальні закономірності процесу об'ємного армування в процесі відцентрового литва і залежності параметрів якості породоруйнюючих елементів доліт від основних параметрів згаданого процесу. Встановлено, що частота обертання ливарної форми та її температура, температура рідкого металу і маса армуючих частинок впливають насамперед на конфігурацію армованої зони в тілі вилівка. Розмір армуючих частинок визначає ступінь їх розчинення в рідкому металі і, відповідно, такі фізико-механічні властивості металевій матриці, як пластичність і твердість, а отже, і здатність утримувати армуючі частинки в тілі інструменту. Розроблена нами технологія і устаткування для її реалізації дозволяють суттєво розширити можливості вже відомого методу відцентрового армування. Такими вдоско-

наленнями є можливість зміни положення осі обертання ливарної форми в процесі литва, регулювання швидкості та місця введення армуючих частинок в рідкий метал, можливість зміни кінематичних параметрів процесу [10–12]. Очевидно, що за допомогою вдосконаленої технології можна отримувати широкий спектр виробів для оснащення не тільки бурових доліт і породоруйнюючих інструментів, але й робочих елементів породоруйнівного обладнання гірничозбагачувальної промисловості. Отже, детальне дослідження залежності показників якості від технологічних параметрів процесу виготовлення є запорукою ефективного застосування розробленої технології.

Формулювання цілей статті. Метою даної роботи є дослідження впливу способу отримання заготовки, його технологічних параметрів та характеристик армованої зони на якісні показники породоруйнюючих елементів бурових доліт. При цьому передбачається проведення експериментів з використанням розробленого нами ливарного обладнання, металографічних досліджень макро- і мікроструктури отриманих зразків, визначення мікротвердості металозв'язки армованої зони та встановлення показників абразивної, ударно-абразивної та ударно-втомної стійкості робочої зони породоруйнюючих елементів доліт.

Виклад основного матеріалу. Нами досліджувались зубці шарошок бурових доліт, виготовлені способами:

- об'ємного армування виливків у нерухомих формах;
- відцентрового армування у формах, що обертаються навколо вертикальної осі;
- відцентрового армування у формах, що обертаються навколо двох взаємноперпендикулярних осей.

Дослідження макроструктури армованих виливків.

Макроструктура робочої зони породоруйнюючих елементів доліт є визначальним фактором їхньої працездатності і оцінюється за такими критеріями, як розташування і конфігурація власне армованої зони в об'ємі вилівка, наявність дефектів та об'ємна концентрація і рівномірність розподілу твердого сплаву в самій армованій зоні.

В результаті порівняння макроструктури досліджених зразків встановлено наступне. Армуючі деталі при литві в нерухомих формах, досить важко отримати рівномірний розподіл і високу (більше 35–40%) концентрацію зерен твердого сплаву в металевій матриці при її задовільній структурі. Основними дефектами є порожнини (рис. 1, в).

В результаті надання ливарній формі обертального руху процентний вміст твердого сплаву в армованій зоні підвищується до 55–60 % при більш рівномірному його розподілі по всьому перерізі (рис. 1, а, б).

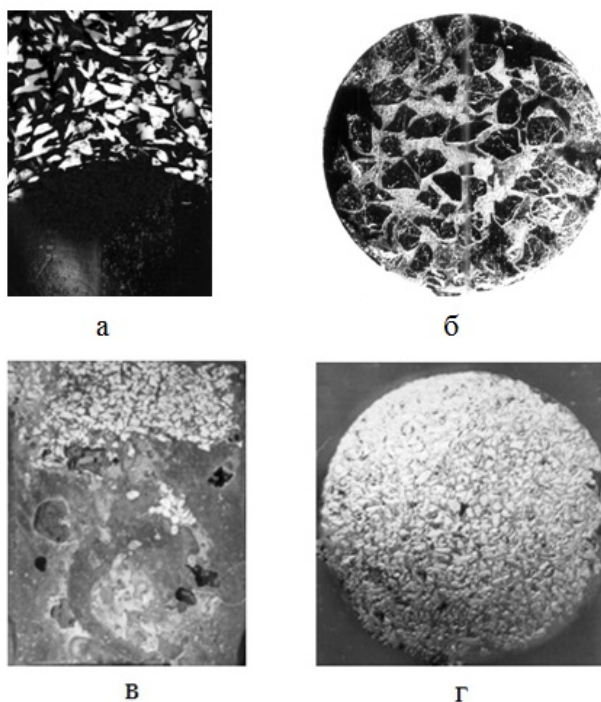


Рисунок 1 – Макроструктура зразків, армованих різними способами

При відцентровому армуванні вищезгадані дефекти практично повністю усуваються під дією відцентрових сил.

Окрім способу армування відчутний вплив на якість армованої зони має грануляція твердого сплаву і температура попереднього нагрівання ливарної форми. З підвищенням грануляції твердого сплаву від 1 мм до 1.6 мм концентрація зерен майже не зменшується при постійних значеннях інших вказаних параметрів. Підвищення температури нагрівання форми до 650 – 700 °С призводить до повного розчинення більшої частини твердого сплаву, що вводиться, внаслідок чого утворюється сильно легований метал (рис. 1, г). Це особливо помітно при армуванні виливок в нерухомі форми, оскільки переміщення гранул твердого сплаву в периферійну зону під дією сили тяжіння відбувається набагато повільніше, ніж під впливом відцентрових сил. Крім того, в умовах обертання ливарної форми обмивання гранул рідким металом відбувається інтенсивніше, ніж в спокійному стані.

Встановлено також, що при обертанні навколо двох взаємоперпендикулярних осей поліпшується заповнювання зернами твердого сплаву периферійних об'ємів форми. Це особливо важливо для зменшення розмірного зношування оснащення породоруйнівного інструменту різально-стираючого типу в період припрацювання і забезпечується майже повною відсутністю послабленої зони у відцентрово армованих виливках.

Мікроструктура або фазовий склад металеві матриці армованої зони визначає її механічну міцність і пластичність. Дослідження структури металозв'язки армованої зони, що визна-

чає стійкісні показники останньої, проводилося на металографічному робочому мікроскопі МИМ-8. Зразки травилися реактивом Мураками і 2% розчином азотної кислоти в спирті.

Основними їх структурними фазами металозв'язки, є: α -твердий розчин W у залізі, залізо-вольфрамовий карбід (η -фаза), подвійна евтектика $\alpha + \eta$, а також вольфрамід заліза – ε -фаза, подвійна $\eta + \theta$ і потрійна $\alpha + \eta + \theta$ евтектики. Травлення реактивом Мураками впродовж 5–10 с проявляється карбідна складова – η -фази, яка набуває коричневого забарвлення. α -твердий розчин не травиться і залишається світлим. Розчин HNO_3 травить виключно α -твердий розчин, виявляючи його неоднорідність, яка утворюється внаслідок нерівномірності насичення сплаву при розчиненні литого карбиду W [13].

Показниками якості мікроструктури є кількість і форма карбідних фазових складових, наявність порожнин і тріщин, а також нерівномірності структури по об'єму.

На фазовий склад металозв'язки армованої зони впливають як спосіб армування, так і технологічні параметри процесу.

При армуванні зразків, відлитих в нерухомі форми, структура металозв'язки відрізняється, в першу чергу, значною неоднорідністю складу в об'ємі. Характерні для неї є як значний розмір включень η -фази, особливо навколо зерна WC, так і об'єми α -твердого розчину і нелегованого основного металу. Механічна міцність зчеплення гранул твердого сплаву з такою металозв'язкою невисока за рахунок пустот, тріщин і порівняно великих розмірів зерен зв'язки (рис. 2, а).

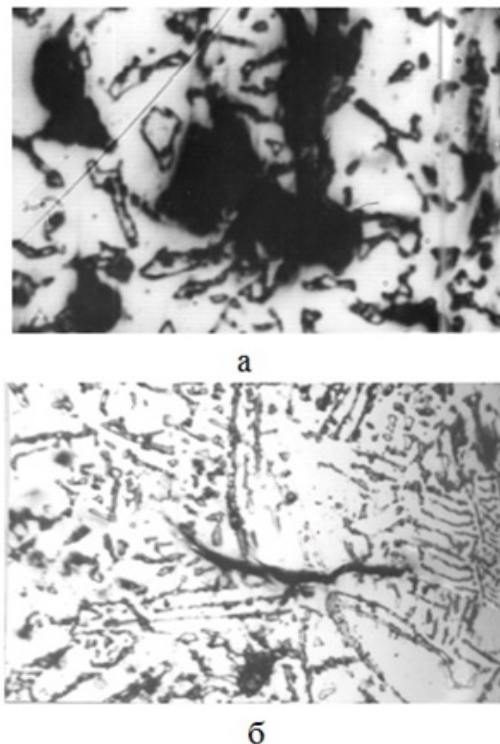


Рисунок 2 – Дефекти мікроструктури армованої зони

Наявність таких дефектів обумовлена, в основному, нерівномірністю протікання процесу кристалізації, усадочними явищами внаслідок введення зерен наповнювача, що є мікрохолодильниками. У виливку ускладнюється відведення газів. Все це сприяє виникненню значних внутрішніх напружень.

При обертанні ливарної форми відбувається наступне. Рухливість частинок розплаву, що кристалізується, зростає, поліпшується тепловіддача і подрібнюється зерно основного металу. Гранули твердого сплаву переміщуються в робочий об'єм виливка під впливом відцентрових сил і рівномірніше заповнюють його. Структура металозв'язки стабілізується і значно зменшується число дефектів, що мають місце в першому випадку (рис. 2, б).

При армуванні в процесі відцентрового лиття металозв'язка якісніша. На відміну від попередніх випадків, включення η -фази приблизно однакові за розмірами, мають пластинчасту форму і рівномірно розподілені в просторі між твердим сплавом, навколо зерен якого утворюється широка (до 10–20 мкм) облямівка η -фази. Рихлоти і тріщини зустрічаються рідко і, в основному, по межах армованої зони і основного металу.

З підвищенням температури форми до 650 °С і вище твердий сплав практично повністю розчиняється, що призводить до надмірного утворення карбідів, вольфрамідів і рихлот, а внаслідок розкладання θ -фази виділяється графіт.

Однорідність структури і її оптимальний фазовий склад спостерігається при об'ємній концентрації зерен (грануляцією 0,6–0,9 і 0,9–1,6 мм) від 45 до 65%. Зі зниженням концентрації структура стає неоднорідною. В деяких місцях не містить карбідів W. При грануляції зерен твердого сплаву менше 0,6 мм металозв'язка надмірно насичується великою η -фазою. Із зростанням грануляції твердого сплаву вище 1,6 мм розчинність останнього знижується.

Подальшими дослідженнями було встановлено, що найвищу стійкість до абразивного зношування мають армовані зразки, металозв'язка яких містить багато рівномірно розподіленої η -фази і подвійної евтектики $\alpha + \eta$, а навколо зерен твердого сплаву утворюється широка облямівка з дрібною η -фазою. Зразки з такою структурою добре протистоять ударно-абразивному зношуванню. Збільшення кількості і розмірів включень η -фази, так само, як і розширення облямівки навколо зерен твердого сплаву призводить до деякого підвищення абразивної стійкості зразків, але негативно позначається при випробуваннях на ударно-абразивне зношування.

Комплексним показником, що визначає якість композиційних матеріалів на сталевій металозв'язці, а, отже, і відцентрово армованих зубців, є середня мікротвердість. Вплив твердої складової на середню мікротвердість визнача-

ється за рахунок концентрації і розмірів твердосплавних частинок, а вплив металозв'язки визначається процесами її додаткового легування вольфрамом, вуглецем, нікелем, хромом, молібденом, ванадієм і так далі. Оскільки концентрація і розміри твердої складової композиційного матеріалу є стабільними, то і вплив твердої складової на композиційний матеріал стабільний і залежить від технологічних параметрів виготовлення.

Отже, зміна середньої мікротвердості певною мірою залежить і може регулюватися структурою металозв'язки, і, в основному, ступенем її легування вольфрамом і вуглецем, які в певній взаємодії з рідкою сталлю дозволяють отримати подвійні і потрібні карбіди вольфраму, що мають високу абразивну стійкість.

Вивчення залежності значень мікротвердості армованої зони досліджуваних зразків проводилося методами вколювання і дряпання за відомими методиками.

Значення мікротвердості металозв'язки залежать від її фазового і хімічного складу, що у свою чергу обумовлюється способом отримання заготовки.

При дослідженні металозв'язки у зразків, відлитих в нерухомі форми, встановлений великий розкид значень мікротвердості $(27,5–64,2) \cdot 10^2$ МПа, а середнє її значення складає $(44–48) \cdot 10^2$ МПа. Концентрація зерен реліта складає 34–39%, число карбідних включень незначне.

При дослідженні металозв'язки у відцентрово-армованих зразків зафіксовано підвищення середнього значення мікротвердості до $(62–65) \cdot 10^2$ МПа для концентрації гранул 53–58%. Фактичні значення мікротвердості в цьому випадку $(51,4–72,4) \cdot 10^2$ МПа, що обумовлене вищою якістю мікроструктури.

Характер зміни мікротвердості залежно від ступеня її легування і насичення карбідними складовими представлені на рис. 3.

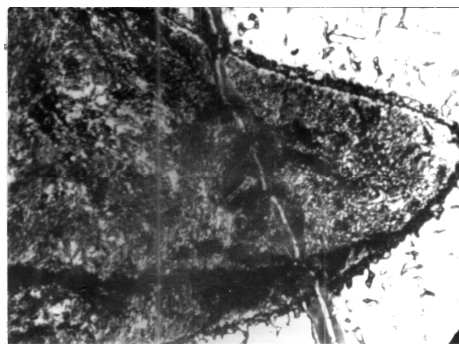


Рисунок 3 – Характер зміни мікротвердості при переході від зерна до металозв'язки

На значення середньої мікротвердості по певному перерізі армованої зони в цілому домінуючий вплив робить концентрація твердого сплаву.

При армуванні зразків в нерухомих формах середня мікротвердість зростає від 10,4·10² до 13,8·10² МПа при концентраціях відповідно 38 і 55%. Середня мікротвердість армованої

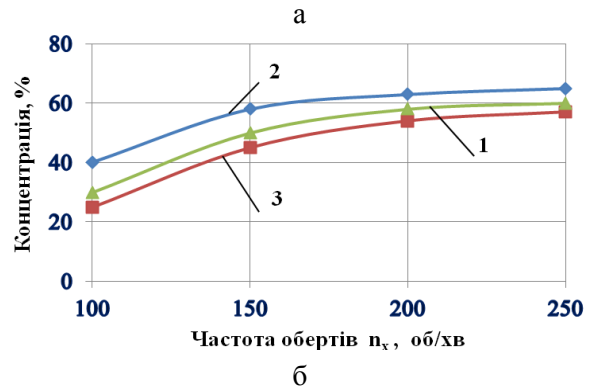
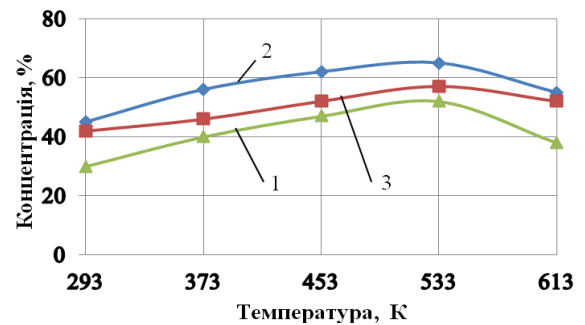
зони відцентрово-армованих зразків збільшується від 15,0·102 до 16,8·102 МПа з підвищенням концентрації твердого сплаву від 46 до 62%. Це пояснюється більшою щільністю металозв'язки і стабільністю її структури по перерізах армованої зони.

Експлуатаційні показники бурового інструменту, одержаного відцентровим армуванням, насамперед залежать від якості армованої зони. Комплексним показником якості армованої зони є концентрація в ній твердого сплаву.

Основні закономірності впливу параметрів розробленого процесу армування на концентрацію твердого сплаву реліт наступні. Переважаючий вплив на якість армування має температура нагрівання форми, маса і грануляція реліту.

Процес реалізується в неширокому інтервалі температур від 470К до 610К. Зниження температури форми до 293К супроводжується різким зниженням концентрації реліту – до 35–40 %. Оскільки термічний цикл процесу армування дуже малий, кристалізація металу в армованій зоні відбувається дуже швидко. Підвищення температури форми до 650–700 К викликає швидке розчинення гранул реліту, тому його концентрація зменшується до 40–45 %, а сама армована зона стає високолегованою із значним вмістом карбідів. Найбільшої концентрації твердого сплаву (до 62%) можна досягти у випадку використання реліту грануляцією 1,0 мм, оскільки зменшення розмірів гранул до 0,63 мм супроводжується їх швидким розчиненням, а збільшення до 1,6 мм викликає швидку кристалізацію металозв'язки (рис. 4, а).

Співвідношення частот обертання ливарної форми суттєво впливає на конфігурацію одержаної армованої зони, тому дослідження проводилися при фіксованому оптимальному значенні частоти обертання відносно вертикальної осі (рис. 4, б). Це значення встановлено попередніми методичними експериментами. Характер впливу частоти обертання форми відносно горизонтальної осі суттєво залежить від грануляції використовуваного реліту. Так, максимальної концентрації твердого сплаву вдається досягнути при грануляції 1,0 мм; керувати процесом легше при використанні гранул розміром 1,6 мм, а менш чутливим до зміни частоти обертання навколо горизонтальної осі процес стає за грануляції 0,63 мм, оскільки в цьому випадку переважає вплив в'язкості металу матриці, який кристалізується. Зниження частоти обертання менше 150 хв⁻¹ призводить до значного зниження концентрації реліту в армованій зоні. Збільшення частоти обертання понад 300 хв⁻¹ призводить до підвищення концентрації твердого сплаву і зменшення відсоткового вмісту металозв'язки. Із зменшенням частоти обертання форми відносно вертикальної осі нижче встановленого оптимального процес армування стає нестабільним і важкокеруваним, а з її збільшенням понад 800 хв⁻¹ практично неможливо одержати потрібну конфігурацію армованої зони в об'ємі виливка, оскільки бокові сторони останнього практично не армуються.



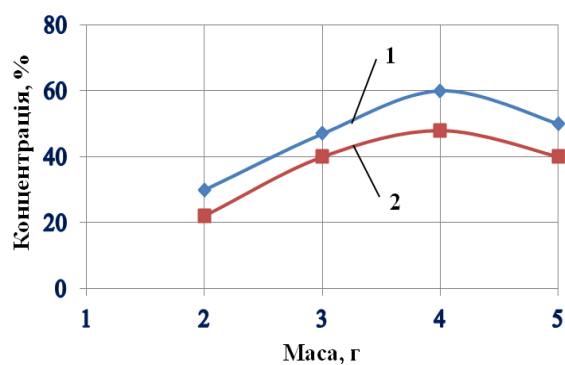
1 - 0,63 мм; 2 - 1,0 мм; 3 - 1,6 мм

Рисунок 4 – Вплив температури нагрівання форми (а) та частоти обертання форми навколо горизонтальної осі (б) на концентрацію реліту в армованій зоні при різних його грануляціях

Зміна кількості введеного реліту при армуванні суттєво визначає його концентрацію в армованій зоні (рис. 5): хоча найбільшої концентрації досягається при грануляції 1.0 мм і дещо меншій – при 1,6 мм, зменшення кількості введеного реліту знижує його концентрацію на 12–15% з одночасним звуженням армованої зони, а збільшення кількості гранул понад встановлений оптимум супроводжується різким падінням концентрації на 25–40% і збільшенням загального об'єму армування. Очевидним поясненням цього є пришвидшення кристалізації металу в зоні армування і повільне проходження гранул до периферійних об'ємів виливка.

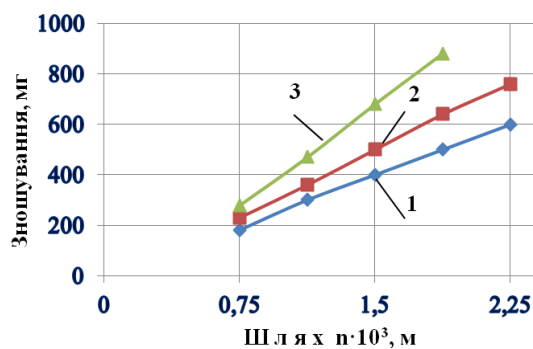
Змінюючи основні технологічні параметри, можна досягти розподілу концентрації армуючих частинок в армованій зоні, які б підлягали певним законам розподілу. Теоретично обґрунтовано, що концентрація армуючих частинок зменшується в напрямі від робочого торця до хвостової частини за: нелінійним законом із спадаючим градієнтом, лінійним законом, нелінійним законом із зростаючим градієнтом (рис. 6). На розподіл напружень в тілі зубця суттєво впливає розподіл концентрації армуючих частинок, який змінюється за нелінійним законом із спадаючим градієнтом.

Абразивне зношування визначає показники роботи породоруйнівних елементів і довговічність бурового долота загалом. Дослідження абразивного зношування породоруйнівних елементів проводилися для комбінованих зубців за стандартними методиками порівняно із серій-



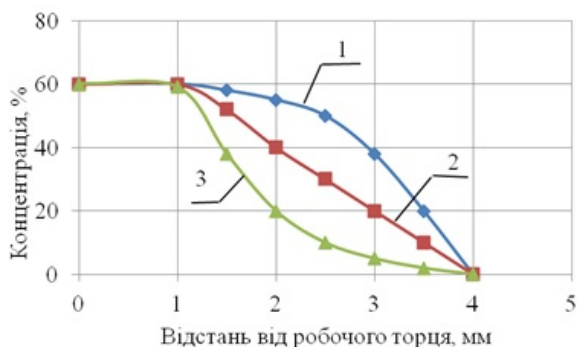
1 – 1,0 мм; 2 – 1,6 мм

Рисунок 5 – Вплив маси введеного реліту на його концентрацію в армованій зоні під час грануляції

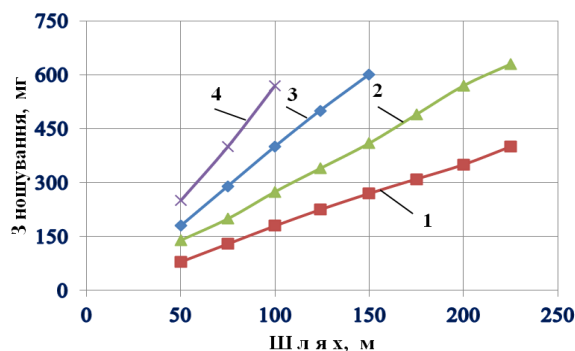


1 – 60%; 2 – 50%; 3 – 40%

Рисунок 7 – Зношення зубців за різних концентрацій твердого сплаву



1 – за нелінійним законом зі спадаючим градієнтом; 2 – за лінійним законом; 3 – за нелінійним законом із зростаючим градієнтом
Рисунок 6 – Розподіл концентрації твердого сплаву в сталевій матриці вздовж осі зубка в напрямку від робочого торця до хвостової частини



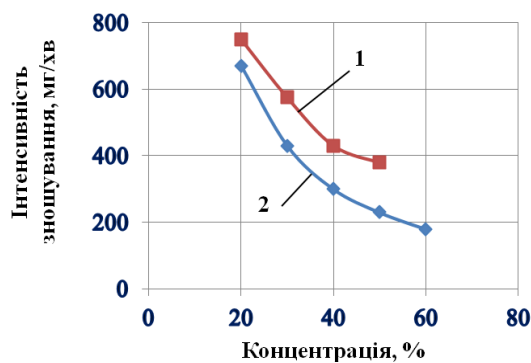
1 - серійні з твердого сплаву ВК8-ВК; 2 - серійні з твердого сплаву ВК11-ВК; 3 - відцентрово армовані з двома взаємноперпендикулярними осями; 4 - поверхнево армовані

Рисунок 8 – Зношення зубців при терті до абразивного круга

ними, виготовленими із твердих сплавів ВК8-ВК і ВК11-ВК, які сьогодні використовуються на Дрогобицькому долотному заводі, а також з поверхнево-армованими зубцями.

Найперше ми дослідили залежність величини абразивного зношення від концентрації армованих частинок (рис. 7). Для зубців характерна лінійна залежність абразивного зношення від концентрації твердого сплаву. Вона є найменшою за концентрації 60 %. В подальшому для різних досліджень вибирали зразки з такою концентрацією. Залежність величини абразивного зношення зразків від вибраного шляху зображена на рис. 8. Для зубців, одержаних різними способами, характерна лінійна залежність зношення залежно від шляху тертя, однак ступінь зношення та його інтенсивність для всіх способів різні.

Одержані результати випробувань при абразивному зношенні взаємозв'язані з даними, одержаними при вивченні впливу технологічних параметрів процесу армування на концентрацію твердого сплаву в армованій зоні. Залежність інтенсивності абразивного зношення від концентрацій зерен реліту різних фракцій, які вводяться при армуванні, зображена на рис. 9.

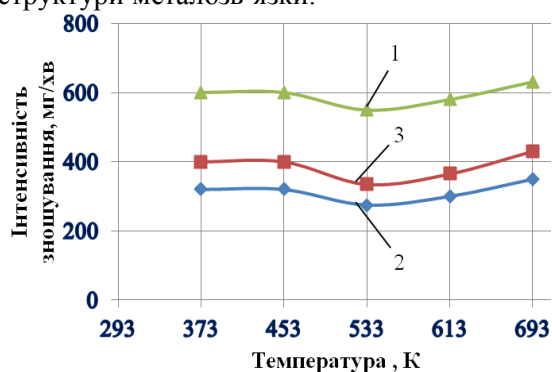


1 - 0,63 мм; 2 - 1,0 мм

Рисунок 9 – Вплив концентрації твердого сплаву на величину інтенсивності абразивного зношення під час грануляції

Збільшення концентрації більш дрібної фракції призводить до пришвидшення абразивного зношення за одиницю часу, а отже, зменшується стійкість до абразивного зношення. Дослідження свідчать, що вагове зношення за одиницю часу різко зменшується (в середньому в 1,8–2 рази) з підвищенням концентрації твердого сплаву в армованій зоні з 30 до 50–60%.

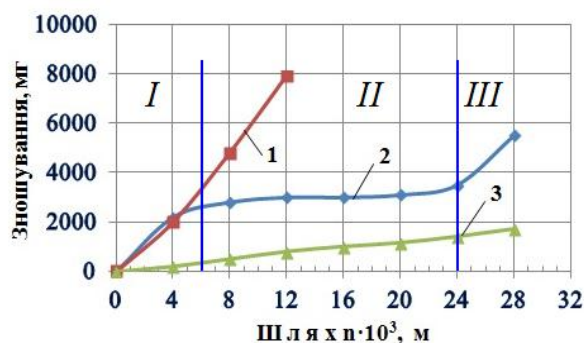
Вибором оптимальної грануляції реліту можна підвищити управління якістю армування і, відповідно, інтенсивністю зношування зубців зміною температури нагрівання ливарної форми в межах інтервалу значень реалізації процесу армування (рис. 10). При нижніх значеннях вказаного інтервалу температур зміна грануляції реліту від 0,63 мм до 1,6 мм знижує інтенсивність зношування на 27 % переважно за рахунок підвищення концентрації зерен і зміни конфігурації армованої зони внаслідок скорочення термічного циклу процесу. Зменшення грануляції реліту з одночасним нагріванням форми до 650 К різко знижує абразивну стійкість зубців, що пов'язано з підвищенням розчинності твердого справу і зменшенням середньої мікротвердості армованої зони. Правильний вибір грануляції реліту у поєднанні з оптимальними значеннями температури нагрівання форми 540–550 К знижує інтенсивність зношування зразків на 40 % за рахунок високої концентрації твердого сплаву і оптимальної мікроструктури металозв'язки.



1 - 0,63 мм; 2 - 1,0 мм; 3 - 1,6 мм

Рисунок 10 – Залежність інтенсивності абразивного зношування від температури нагрівання форми зубців, армованих релітом із різною грануляцією

Результати дослідження абразивного зношування поверхнево армованих, композиційно армованих і серійних твердосплавних зубців відображено на рис. 11.



1 - поверхнево-армовані; 2 - відцентрово армовані; 3 - серійні твердосплавні

Рисунок 11 – Залежність абразивного зношування від пройденого шляху при терті

Абразивна стійкість відцентрово армованих породоруйнівних елементів в 2–5 разів вища,

ніж поверхнево армованих, але в 2–2,5 рази нижча за стійкість серійних твердосплавних зубців. Підвищення абразивної стійкості відцентрово армованих породоруйнівних елементів пояснюється більшою площею контакту армованої зони з абразивним кругом при зношуванні, яка в процесі випробувань збільшується, в той час як у поверхнево армованих породоруйнівних елементів залишається постійною.

Залежність абразивного зношування поверхнево армованих зразків від пройденого шляху при терті має лінійний характер. Лінійним також є характер зношування твердосплавних зразків. Крива зношування відцентрово армованих зразків складається з трьох основних ділянок: I – припрацювання, яка утворюється при зношуванні послабленої і слабкоармованої зони; II – основного зношування (при зношуванні армованої зони); III – катастрофічного зношування внаслідок спрацювання слабколегованої і основної зон металу.

Відомо, що твердий сплав, маючи підвищену твердість, а значить і абразивну стійкість, погано витримує знакозмінні згинальні ударні навантаження, яким є навантаження оснащення породоруйнівного інструменту. Це повністю підтверджено результатами проведених порівняльних випробувань твердосплавного і відцентрово армованих породоруйнівних елементів при динамічному знакозмінному їх навантаженні (рис. 12).

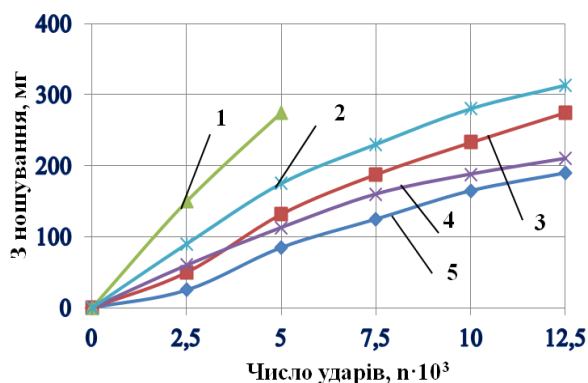
Найбільший вплив на ударно-абразивне зношування має грануляція використовуваного для армування реліту. Так, стійкість до ударно-абразивного зношування зразків, поверхнево армованих релітом грануляцією 1,6 мм, на 10–12 % нижча, ніж у відцентрово армованих релітом цієї грануляції. Ударно-абразивна стійкість у зразків, відцентрово армованих релітом грануляцією 1,0 мм, на 40–45 % вища, ніж у зразків, армованих релітом грануляцією 1,6 мм, на 8–10 % вища ніж у зразків, поверхнево армованих релітом грануляцією 1,0 мм і в три рази перевищує стійкість твердосплавних зразків.

Дослідження залежності ударно-абразивного зношування від концентрації твердого сплаву в армованій зоні свідчить, що з підвищенням концентрації від 25 % до 60 % інтенсивність зношування зразків значно зменшується (рис. 13).

Візуальне вивчення поверхні зношування свідчить про менше сколювання реліту по границях зерен. Викришування зерен по периферійних ділянках торців зустрічається рідко (рис. 14).

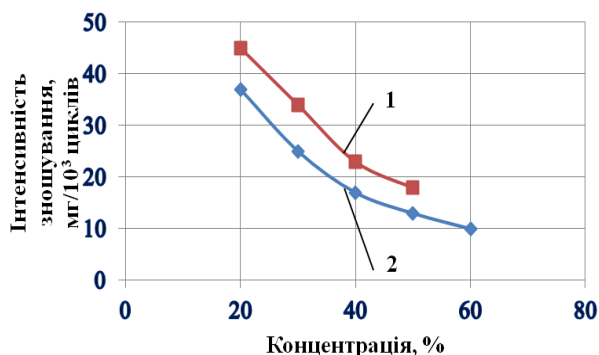
Результати ударно-втомних випробувань серійних твердосплавних, поверхнево-армованих і відцентрово-армованих зубців відтворені на рис. 15, а та рис. 15, б.

Основним видом руйнування твердосплавних зубців є втомне крихке руйнування, а саме, сколювання і ламання зубців. Це пояснюється знакозмінним динамічним характером прикладання навантаження. Спостереження в процесі експериментів показали, що в твердосплавному зубцю відбувається зародження тріщин найчас-



1 - серійні з твердого сплаву; 2 – поверхнево армовані релітом грануляцією 1,6 мм; 3 - відцентрово армовані релітом грануляцією 1,6 мм; 4 – поверхнево армовані релітом грануляцією 1,0 мм; 5 - відцентрово армовані релітом грануляцією 1,0 мм

Рисунок 12 – Залежність ударно-абразивного зношування від числа ударів при енергії удару 10 Дж



1 - 0,63 мм; 2-1,0 мм

Рисунок 13 – Вплив концентрації твердого сплаву на ударно-абразивну стійкість під час грануляції

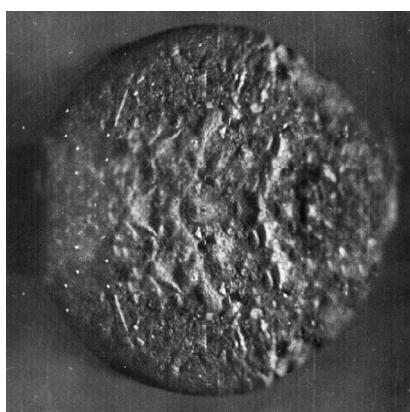
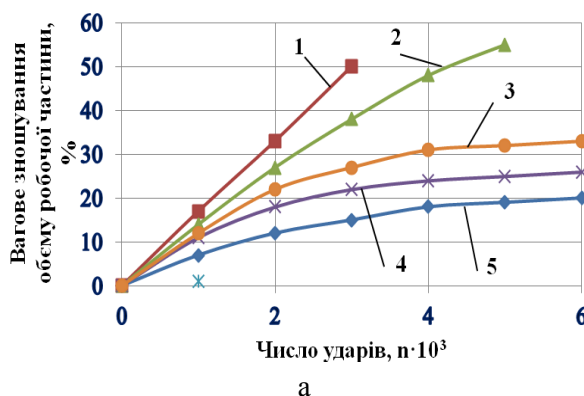
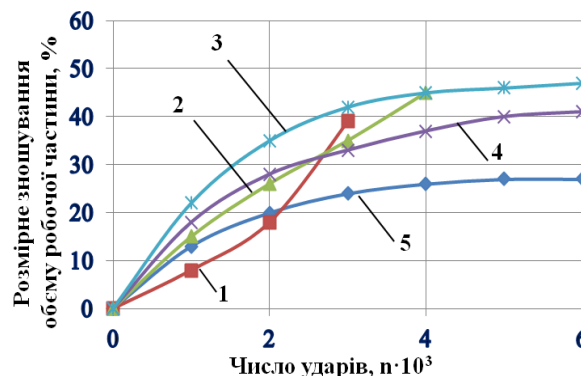


Рисунок 14 – Характер ударно-абразивного зношування армованої зони відцентрово армованого зразка

тіше в місці концентрацій напружень, викликаних запресуванням (в місці входу зубця в корпус шарошки). Наявність втомних тріщин в подальшому призводить до сколювання твердого сплаву.



а



б

1 - твердосплавний; 2 - поверхнево-армований; 3 - віброармований; 4 - відцентрово армований без ХТО; 5 - відцентрово армований з ХТО

Рисунок 15 – Залежність ударно-втомного вагового (а) та розмірного (б) зносу від числа ударів зубців

Під час випробувань сколювання твердосплавних зубців спостерігається на першій тисячі циклів (рис. 15, а), що призводить до різкого вагового зношування, однак частота випадіння зубця при цьому зберігається незмінною. Збільшення циклів навантаження призводить до різкого зменшення розміру твердосплавного зубця. Після 2000 ударів розмірне зношування сягає катастрофічного (рис. 15, б), і робоча частина зубця повністю відколюється. Захисний шар поверхнево армованого зубця, нанесений на еластичну основу, володіє підвищеною крихкістю і в процесі випробувань відколюється.

В початковий момент випробувань відцентрово армованого не термообробленого породоруйнівного інструмента характерне пластичне деформування поверхні зубця, а саме послаблення його слабкоармованої зони. Тому зазвичай зношування зубця є розмірним, а не ваговим. Зі збільшенням кількості циклів навантаження оголюється зона армування, проте під дією навантажень вона зміщується всередину зубця, який продовжує пластично деформуватися. Це дещо збільшує вагове зношування, однак розмірне зростає набагато швидше. Зношування породоруйнівного елемента відбувається із притупленням.

Дещо інший характер зношування відцентрово армованих породоруйнівних елементів, що пройшли хіміко-термічну обробку. В почат-

ковий момент випробувань відбувається зародження тріщин в цементованому шарі металу поверхні зубця. Із збільшенням циклів цементований шар сколюється, оголюючи армовану зону. При цьому значно пришвидшується вагове зношування, але випадання зубця зберігається, що стабілізує розмірне зношування. Зона армування, яка опинилася на поверхні, не вдаюється всередину зубця, тож зношування відбувається із загостренням. Після $4 \cdot 10^3$ циклів випробувань як вагове, так і розмірне зношування стабілізується і мають лінійний характер.

Проведений комплекс досліджень дає можливість встановити, що при знакозмінних динамічних навантаженнях при вищій у 2,5 рази абразивній стійкості відцентрово армовані породоруйнівні елементи мають утричі вищу втому стійкість, ніж твердосплавні.

Висновки

У роботі запропоновано комплексну схему лабораторних досліджень, яка дозволяє оцінити ефективність застосування вдосконаленої технології об'ємного відцентрового армування для виготовлення зубців бурових доліт і дослідити вплив технологічних параметрів процесу на показники якості останніх.

Встановлено характер залежності показників стійкості зубців бурових доліт від технологічних параметрів процесу армування, а саме:

- зниження температури ливарної форми до 293К супроводжується різким зменшенням концентрації «реліту» до 35–40 %; підвищення температури форми до 650–700 К призводить до інтенсивного розчинення гранул реліту, і зменшення його концентрації, а сама армована зона стає високолегованою із значним вмістом карбідів. Найбільшу концентрацію твердого сплаву (до 62%) отримують у випадку використання реліту грануляцією 1,0 мм за температури ливарної форми 550 К;

- абразивна стійкість відцентрово армованих виливків більше залежить від концентрації твердого сплаву, аніж від структури металозв'язки: при зростанні концентрації твердого сплаву до 60 % абразивна стійкість збільшується в 2 рази;

- збільшення грануляції твердого сплаву від 0,63 мм до 1,0 мм призводить до підвищення абразивної стійкості на 50 %;

- концентрацію твердого сплаву в армованій зоні і, відповідно, стійкість зразків до різних видів зношування можна регулювати кількістю введеного твердого сплаву.

Література

- 1 Виноградов В. Н. Абразивное изнашивание бурильного инструмента / В. Н. Виноградов, Г. М. Сорокин, В. А. Доценко. – М.: Недра, 1980. – 204 с.
- 2 Виноградов В. Н. Ударно-абразивный износ буровых долот / В. Н. Виноградов, Г. М. Сорокин, Г. К. Шрейбер. – М.: Недра, 1975. – 166 с.
- 3 А.с. 685429 СССР, В22D 19/02. Способ армирования оливок / К. А. Крылов, Ю.Н. Бу-

гай, В. А. Ясашин (СССР). – заявл. 24.04.78; опубл. 15.09.79; Бюл. №34.

4 А.с. 1001573 СССР, В22 D 19/02. Способ получения армированных оливок / Ю. Н. Бугай, Э. Б. Милевский, Р. Т. Карпик. И. О. Загайдук и др.(СССР).- заявл. 15.12.80; не подлежит опубл. в открытой печати.

5 Шуляр І.О. Відцентрове армування озброєння бурових інструментів / І. О. Шуляр, В. В. Кустов. Л. Я. Роп'як // Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем // IV міжнар. наук.-практ. конф., 23-25 трав. 2012 р.: тези доп. – Чернівці, 2012. – С. 29.

6 Бугай Ю. Н. Центробежно-армированный породоразрушающий буровой инструмент / Ю. Н. Бугай, И. В. Воробьев. - Львов: Выща шк. Изд-во при Львов. ун-те, 1989. – 208 с.

7 Бугай Ю.Н., Крылов К.А., Кацов К.Б. и др. Центробежное армирование металла для породоразрушающего инструмента. Академия наук СССР, XVIII сессия Научного Совета по проблеме «Новые процессы получения и обработки металлических материалов». Слоистые и волокнистые металлические материалы. Киев: ИЭС им. Е.О.Патона. – 1982. – С.28–30.

8 Борушак Б. О. Разработка технологического процесса центробежного армирования лопастных долот: дис. ... канд. техн. наук: 05.02.08 / Богдан Онуфриевич Борушак. – Ивано-Франковск, 1993. – 187 с.

9 Ясашин В.А. Конструкторские и технологические методы повышения эффективности работы буровых шарошечных долот большого диаметра : автореф. дис. д-ра техн. наук / В.А.Ясашин – М., 2009. – 48с.

10 Шуляр І. О. Технологія і устаткування для отримання армованих виливків відцентровим литвом із змінним положенням осі обертання форми [Електронний ресурс] / І. О. Шуляр. Л. О. Борушак, В. Г. Панчук // Науковий Вісник Донбаської державної машинобудівної академії. – Краматорськ, 2012. – № 2 (10Е). – С. 154–163.

11 Шуляр І. Дослідження рвхв твердих частинок у рідкому сплаві при відцентровому армуванні з двома взаємно перпендикулярними осями обертання ливарної форми / І. Шуляр, М. Маковійчук, Л. Роп'як // Наукові нотатки. – Луцьк. – 2013. – № 40. – С. 321–330.

12 Пат. 72194 Україна, МПК В 22 D 13/02. Машина для відцентрового литва і армування виливків / І. О. Шуляр, Л. О. Борушак, С. Л. Борушак; и201200992: заявл. 31.01.12, опубл. 10.08.12, Бюл. № 15.

13 Коваленко В. С. Металлургические реактивы / В. С. Коваленко. – М.: Металлургия. – 132 с.

Стаття надійшла до редакційної колегії
06.02.15

Рекомендована до друку
професором **Петриною Ю.Д.**
(ІФНТУНГ, м. Івано-Франківськ)
професором **Фреїком Д.М.**

(Прикарпатський національний університет
ім. В. Стефаніка, м. Івано-Франківськ)