

УДК 622.24.051

ВПЛИВ ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ СТАЛІ ШАРОШКИ НА МІЦНІСТЬ З'ЄДНАННЯ „ШАРОШКА–ЗУБОК” В ТРИШАРОШКОВИХ БУРОВИХ ДОЛОТАХ

Ю.Д.Петрина, Р.С.Яким, Т.Б.Пасинович

ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422) 43024
e-mail: public@nuing.edu.ua

Установлено позитивное влияние физико-механических свойств цементированной и закаленной стали 14XНЗМА на прочность соединения „зубок-шарошка”. Физико-механические свойства этой стали позволяют осуществлять запрессовку зубков в шарошку на скоростях 1-3 мм/с, что дает возможность не только повысить прочность соединения до 30%, но и производительность труда.

At has been determined that physico-mechanical properties of case-hardened and tempered steel 14XНЗМА influence positively on strength of the „conetooth” connection. This steel physico-mechanical properties let to carry out the pressing of teeth into the cone at a speed of one-three millimeters per second that leads not only the strength raise of the connection to 30 per cent but also the raise of labour productivity.

Якість закріплення вставних композиційних зубків в тілі шарошки є одним з основних чинників, що визначає надійність бурового долота. У свою чергу, надійність з'єднання „зубок-шарошка” обумовлюється не тільки конструкцією з'єднання, але і матеріалами деталей та технологією їх обробки. Тому вивчення впливу фізико-механічних характеристик матеріалів спряжених деталей на міцність з'єднання „зубок-шарошка” є актуальним з огляду на пошук резервів підвищення довговічності і ефективності шарошкових доліт.

В цьому напрямку здійснено значний поступ в роботах [1, 2, 6, 8, 10] та ін. Аналіз цих робіт показує, що у розв'язанні даної проблеми є декілька напрямків. Серед них можна виділити: оптимізація технологічного процесу зміцнюючої обробки шарошки і зубка, підбір раціонального матеріалу деталей, вдосконалення технології складання з'єднання. Проте вимоги, які ставляться до фізико-механічних, експлуатаційних властивостей шарошки і зубка, є суперечливими, а в деяких випадках – взаємовиключними. Це вимагає докладного і всебічного виявлення та вивчення чинників, в першу чергу – фізико-механічних, які впливають на міцність з'єднання „зубок-шарошка”.

Встановлено [1], що зі зменшенням перепаду характеристик міцності матеріалу отворів у вінцях шарошок шляхом ліквідації загартованого цементованого шару збільшується довговічність твердосплавного озброєння. Зараз широко використовуються долота з цементованими вінцями. Однак використання даного методу ускладнюється тим, що долота, які виготовляють на ВАТ „Дрогобицький долотний завод” та в Росії, мають значно менший виліт зубків з тіла шарошки і працюють за менших витрат промивної рідини [2]. В результаті цього вінці шарошок піддаються більш сильному впливу абразивних середовищ, що призводить до інтенсивного гідроабразивного та ударноабразивного зношування, оголення твердосплав-

них зубків і швидкого руйнуванню твердосплавного озброєння (рис. 1).



Рисунок 1 – Випадання твердосплавних зубків, спричинене гідроабразивним та ударноабразивним зношуванням матеріалу вінців шарошки

Наближення фізико-механічних властивостей шарошки і зубка під час виготовлення комбінованого зубка „сталь-твердий сплав” [3, 4] дало можливість значно підвищити міцність з'єднання. Однак дане технічне рішення не знайшло застосування в долотобудуванні з огляду на недостатній рівень технології виготовлення комбінованого зубка. В роботі [4] запропоновано технологію виготовлення комбінованих зубків. Міцність конструкції зубка забезпечується плавним переходом концентрації твердого сплаву від робочої до кріпильної частини зубка. Проте відсутність стендових випробовувань ускладнює оцінювання стійкості з'єднання зубків до експлуатаційних навантажень на заборі. В першу чергу, це стосується важких умов буріння, особливо твердих гірських порід.

У низці робіт [5, 6] пропонується вплавити композиційні зубки в тіло шарошки. Проте ці розробки не знайшли подальшого застосування при виготовленні бурових доліт.

Вивчення явища взаємодії озброєння шарошкових доліт із забоем показав [1], що в процесі взаємодії з породою зубки сприймають складні навантаження. Це спричинює утворення мікротріщин в цементованому шарі шарошки. Тому тріщиностійкість матеріалу шарошки є параметром, який визначає довговічність з'єднання „зубок-шарошка”. Проте це питання є ще дискусійним, оскільки тріщиностійкість є одним з низки критеріїв [7], згідно яких підходять до вибору конструкційних сталей і їх зміцнення для виготовлення шарошок.

При дослідженні точності формування отворів під запресовування зубків авторами [8] встановлено, що між глибиною цементованого шару та силою випресовування існує тісний зв'язок. А саме: цементований шар на поверхні шарошки при механічній обробці підвищує точність отворів, а на етапі запресовування є причиною виникнення мікротріщин навколо отвору, що значно погіршує міцність кріплення зубка. Проте питання впливу фізико-механічних властивостей матеріалу шарошки на міцність з'єднання „шарошка-зубок” не розглядалося.

Для моделювання напружено-деформованого стану деталей з'єднання твердосплавний „зубок-шарошка” в роботі [9] запропоновано використання методу скінченних елементів. Проте не наведено математичної моделі, яка б дала змогу оцінити міцність з'єднання.

Значення концентрації напружень в зоні входу зубка в шарошку значно залежить від характеристик міцності матеріалу шарошки. Встановлено залежність [10] між границею плинності сталей шарошок і випаданням зубків, а також відзначено, що зусилля розпресування зростає зі збільшенням (до певного значення) границі плинності. Таким чином, можна вважати, що з ростом границі плинності серцевини шарошок випадання зубків буде зменшуватись.

Виходячи з вище наведених суперечностей і прогалин, сформульовано завдання дослідити вплив фізико-механічних властивостей сталі шарошки на міцність з'єднання „шарошка-зубок”.

Гіпотезою дослідження є твердження про те, що оптимізація параметрів фізико-механічних властивостей за глибиною отвору в шарошці та вдосконалення процесу складання, підвищить міцність з'єднання „зубок-шарошка”. При цьому припускається, що діючі експлуатаційні навантаження на зубок та на зону спряження „зубок-шарошка” спричинюють нівеляцію натягів у з'єднанні за рахунок неоднорідності фізико-механічних характеристик матеріалу шарошок.

Оскільки твердість є характеристикою опору деформації матеріалу, то було поставлено завдання: вивчити вплив твердості і структури долотних сталей на міцність з'єднання „зубок-шарошка”.

Твердість в зоні отворів під твердосплавні зубки вимірювали за стандартною методикою на темплетях з досліджуваних шарошок за допомогою ПМТ-3.

Мікроструктурні дослідження проводилися згідно стандартної методики [11] за допомогою мікроскопа ММ-2Р, з використанням цифрової камери КЦ-13. Виявлення мікроструктури здійснювалось травленням поверхні шліфа в 4% спиртовому розчині азотної кислоти.

Стендові випробовування доліт проводилося на устаткуванні СВД. Механізм обертання долота в контакт з металевим забоем здійснювали при частоті обертання долота 75 об/хв, осьовому навантаженні на долото – 170-180 кН, крутному моменті – 1764 Н·м.

Проводилося дослідження шарошок з долотних сталей 14ХНЗМА, 16ХНЗМА, 17НЗМА, 20ХНЗА. Хіміко-термічну обробку шарошок здійснювалось згідно серійної типової технології на ВАТ „Дрогобицький долотний завод”.

Заміри твердості в зоні отвору вставного зубка на спеціально підготовлених темплетях (рис. 2) вказують на градієнт зміни твердості від поверхні шарошки до дна отвору під зубок для досліджуваних сталей (рис. 3, табл. 1).

Для досліджуваних сталей, як відомо [12], з метою отримання необхідного запасу пластичності серцевини при збереженні необхідної конструкційної міцності, рекомендується забезпечувати твердість серцевини в межах 40-42 НРС. Згідно наших випробовувань спостерігається оптимальний розподіл твердості по глибині отвору в шарошках з сталей 14ХНЗМА та 20ХНЗА, причому кращі показники спостерігалися в шарошках зі сталей 14ХНЗМА.

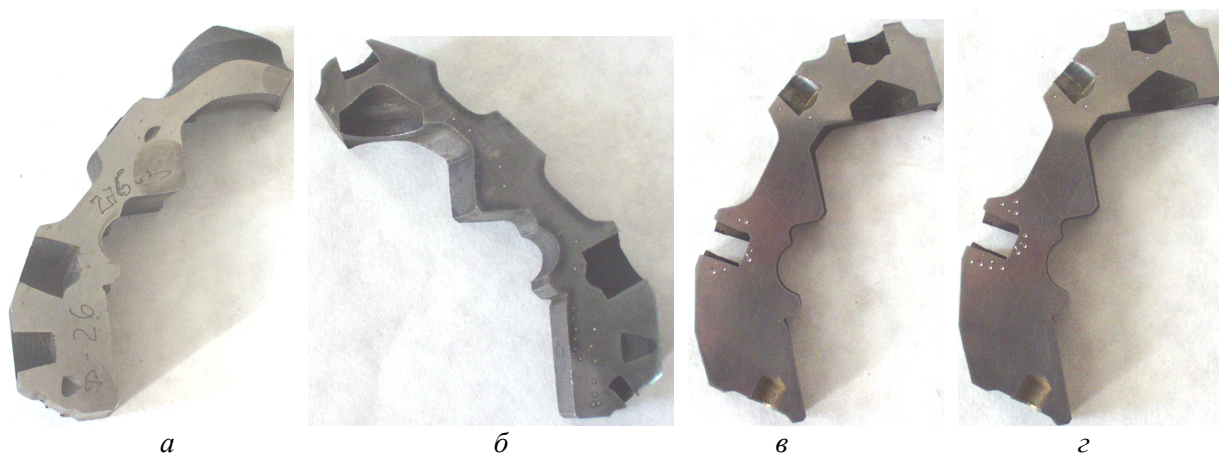
Також спостерігалася занижена твердість цементованого шару шарошок зі сталей 16ХНЗМА та 17НЗМА (табл. 2). Значно кращі показники у сталі 14ХНЗМА, а для сталі 20ХНЗА показники знаходяться в межах норми.

Результати дослідження градієнту твердості в цементованому шарі наведено в табл. 2.

В результаті мікроструктурних досліджень встановлено, що найбільш оптимальною і однорідною структурою володіє сталь 14ХНЗМА. Зокрема виявлено (рис. 4), що цементований шар на сталі 14ХНЗМА має структуру мартенсит + перліт та карбідні включення 1 балу. Перехідна зона та ділянка коло дна отвору під зубок має структуру тростосорбіту. Серцевина шарошки має структуру сорбітоподібного перліту.

Цементований шар на сталі 16ХНЗМА (рис. 5) має структуру мартенсит + перліт з карбідними включеннями 1 балу. Перехідна зона має структуру аустеніт + мартенсит. Ділянка коло дна отвору під зубок – сорбітоподібний перліт. Серцевина шарошки – тростит і рівномірно розподілені дрібні зерна фериту.

Цементований шар на сталі 20ХНЗА (рис. 6) має аустенітно-мартенситну структуру з карбідними включеннями 2-3 балу. Перехідна зона та ділянка коло дна отвору під зубок має структуру тростосорбіту. Серцевина шарошки має структуру сорбітоподібного перліту, мають місце дрібні зерна фериту.



а – г – послідовність вимірювання твердості

Рисунок 2 – Темплети з шарошок 244,5 ОК-ПГВ-D26, виготовлених з досліджуваних сталей.

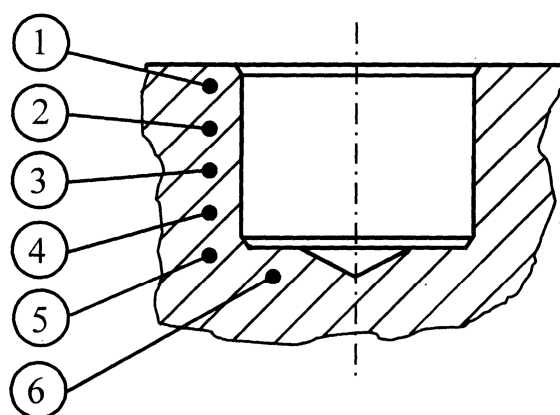


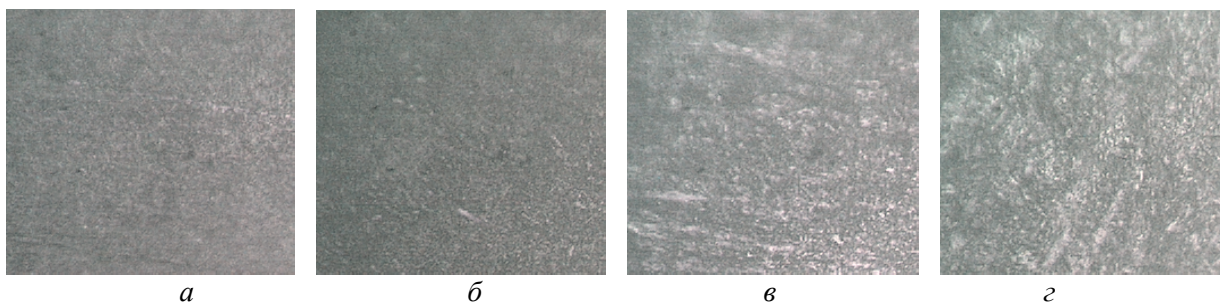
Рисунок 3 – Схема точок вимірювання твердості

Таблиця 1 – Розподіл твердості матеріалу шарошки по глибині отвору

| Номер точки | Твердість, HRC | | | |
|-------------|----------------|---------|--------|--------|
| | 14ХНЗМА | 16ХНЗМА | 17НЗМА | 20ХНЗА |
| 1 | 41 | 39 | 37 | 44 |
| 2 | 40 | 38 | 35 | 42 |
| 3 | 39 | 37 | 33 | 40 |
| 4 | 38 | 35 | 30 | 39 |
| 5 | 37 | 32 | 29 | 38 |
| 6 | 35 | 30 | 27 | 37 |

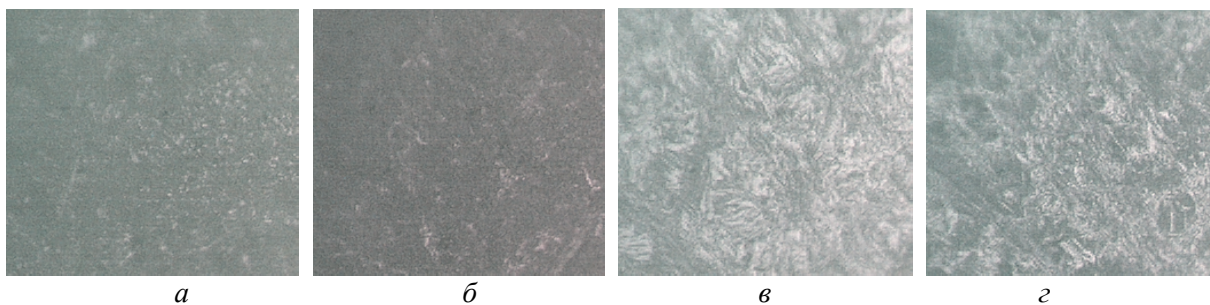
Таблиця 2 – Розподіл твердості по глибині цементованого шару шарошки

| Сталь | Повна глибина, h, мм | Гradient твердості (HRC) по глибині (мм) | | | | |
|---------|----------------------|--|-------------|-------------|-------|----|
| | | 0–0,12 | 0,12 – 0,25 | 0,12 – 0,25 | 0,5 h | h |
| 14ХНЗМА | 1,6-1,8 | 62-60 | 60-58 | 58-56 | 55 | 46 |
| 16ХНЗМА | 1,5-1,6 | 59-58 | 58-57 | 57-56 | 54 | 40 |
| 17НЗМА | 1,3-1,6 | 57-56 | 56-54 | 54-50 | 40 | 38 |
| 20ХНЗА | 1,8-2 | 65-63 | 65-63 | 63-60 | 58 | 52 |



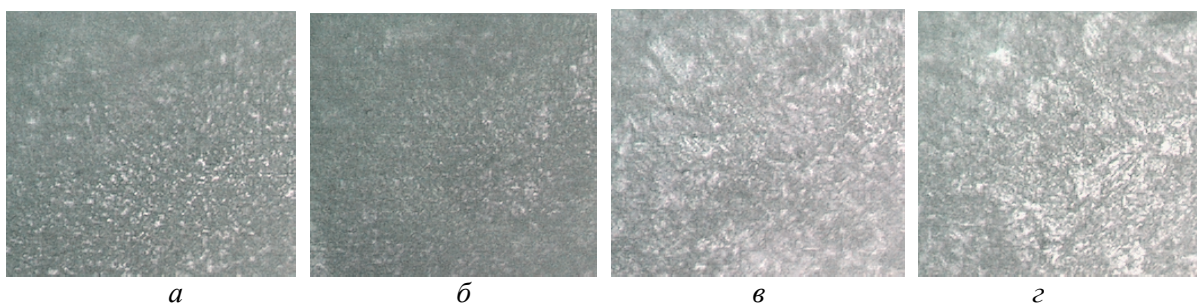
*a – цементований шар; б – перехідна зона;
в – ділянка біля дна отвору під зубок; з – серцевина шарошки*

Рисунок 4 – Мікроструктура темплету з шарошок, виготовлених зі сталі 14ХН3МА (×500)



*a – цементований шар; б – перехідна зона;
в – ділянка біля дна отвору під зубок; з – серцевина шарошки*

Рисунок 5 – Мікроструктура темплету з шарошок, виготовлених зі сталі 16ХН3МА (×500)



*a – цементований шар; б – перехідна зона;
в – ділянка біля дна отвору під зубок; з – серцевина шарошки*

Рисунок 6 – Мікроструктура темплету з шарошок, виготовлених зі сталі 20ХН3А (×500)

Цементований шар на сталі 17Н3МА має структуру, подібну до структури сталі 20ХН3А, але з наявністю аустеніту 3 балу. Серцевина є сорбітоподібним перлітом з дрібними включеннями фериту.

Отже, можна припустити, що фізико-механічні властивості сталі 14ХН3МА повинні забезпечувати найкращу міцність з'єднання „зубок–шарошка”. З метою перевірки цього припущення було проведено стендові випробування (рис. 7).

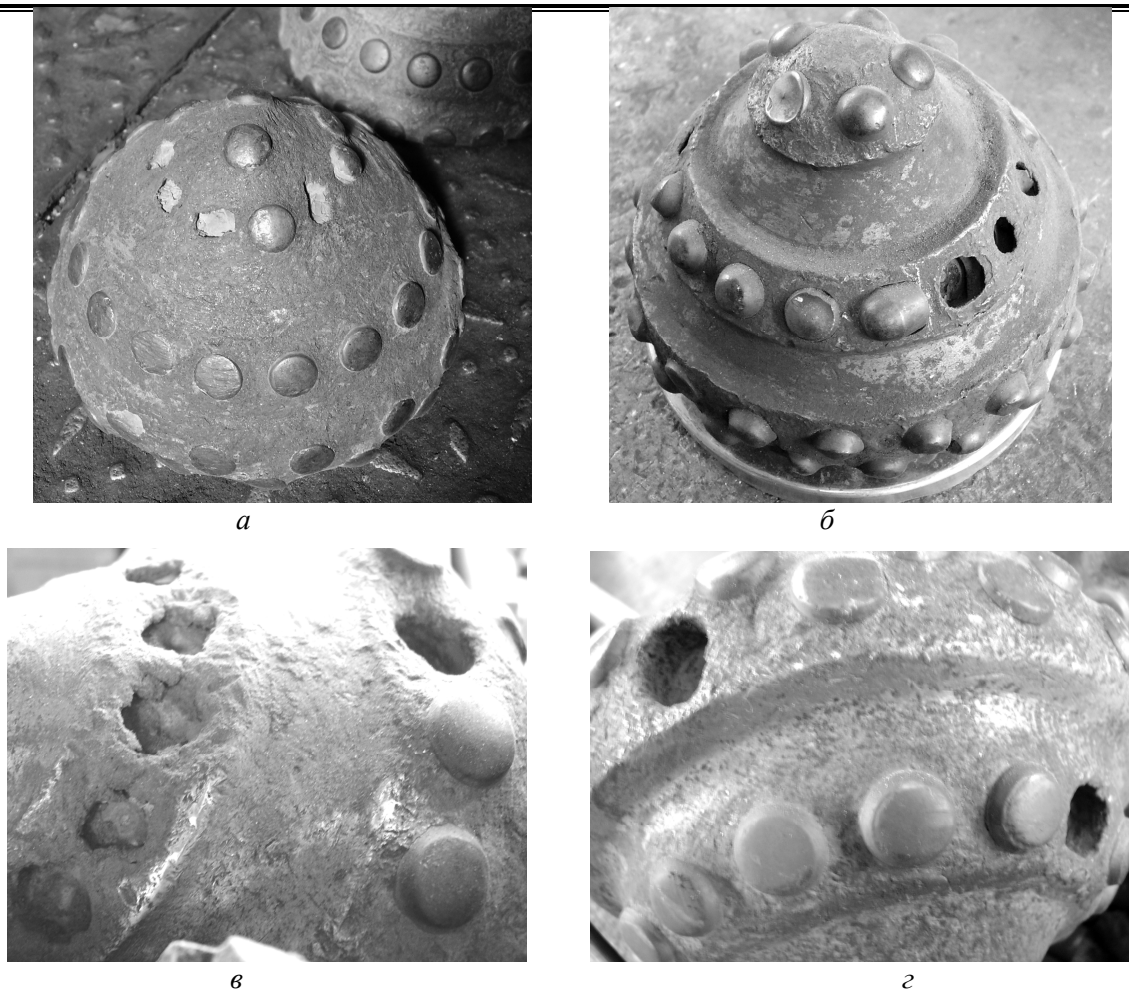
Шарошки зі сталі 14ХН3МА, показавши найвище напрацювання, мали загальне зношування озброєння і тіла шарошки. Спостерігали сколювання зубків із залишками хвостовика в тілі шарошки.

Випробування шарошок зі сталі 16ХН3МА засвідчили сколювання зубків до 3% та викорчовування, розхитування та випадання зубків, що засвідчило найнижчу міцність з'єднання „зубок–шарошка”.

Для шарошок зі сталі 17Н3МА характерним є випадання зубків з пластичною деформацією вінців у зоні отворів, з яких випали зубки. Тобто сталь не забезпечує належної міцності з'єднання „зубок–шарошка”.

В шарошках зі сталі 20ХН3А спостерігається випадання близько 2% зубків і загальне зношування озброєння та вінців. Необхідно зауважити, що на шарошці немає яскраво вираженої пластичної деформації, як це спостерігається в шарошках зі сталей 14ХН3МА, 16ХН3МА, 17Н3МА. Це свідчить, що випадання зубків спричинене нижчою границею плинності сталі 20ХН3А, і тут має місце висока жорсткість в системі „шарошка–зубок–забій”.

Як відомо [1], величина напружень, які розповсюджуються за час контакту зубка з порою, залежить від жорсткості системи „порода – зубок – шарошка”. За відомих характеристик міцності породи, матеріалів зубків озброєння і шарошки жорсткість системи можна оп-



*а – 14ХНЗМА (23 год.), б – 16ХНЗМА (5 год.),
в – 17НЗМА (10 год.), з – 20ХНЗА (16 год.).*

Рисунок 7 – Вихід з ладу твердосплавного озброєння в шарошках доліт 244,5 ОК-ПГВ-D26 зі сталей

тимізувати шляхом відповідного підбору хіміко-термічної обробки вінців шарошок, відповідних натягів в спряженні „зубок-шарошка” і введенням відповідних конструктивних елементів. Наприклад, збільшення глибини забивання зубка та його діаметра призводить до росту зусилля розпресовування.

Отже, стендові експерименти підтвердили припущення, висунуті на основі результатів фізико-механічних випробовувань. Найкращі показники напрацювання отримано для шарошок зі сталі 14ХНЗМА.

Відомо, що міцність пресового з’єднання та сила запресовування значною мірою визначаються швидкістю виконання цієї операції. Встановлений позитивний вплив фізико-механічних властивості сталі 14ХНМА на міцність з’єднання „зубок-шарошка” підтверджується даними [10]. Позитивна роль оптимальних значень твердості та границі плинності 14ХНМА порівняно з досліджуваними сталями дає можливість зробити технологічний процес складання продуктивнішим. Тобто, створюються передумови для прискорення процесу складання без очікування утворення в зоні контакту „зубок-шарошка” недостатнього чи надлишкового натягу.

Швидкість запресовування при експериментах становила 10...15 мм/с. Така швидкість запресовування використовується на ВАТ "Дрогобицький долотний завод" для забезпечення максимальної продуктивності праці. Проте найбільша міцність з’єднання при наших дослідженнях (рис. 8) була досягнута при порівняно менших швидкостях (1-3 мм/с). Причому це підвищення сягало до 30%, що підтверджує вищу стабільність процесу.

В результаті проведених досліджень встановлено позитивний вплив фізико-механічних властивостей цементованої і загартованої сталі 14ХНЗМА на міцність з’єднання „зубок-шарошка”. Фізико-механічні властивості даної сталі дозволяють проводити запресовування зубків в шарошку при швидкостях 1-3 мм/с, що дає можливість підвищити міцність з’єднання до 30%. Отримані результати дають можливість не тільки підвищити продуктивність праці при виготовленні шарошкових доліт з твердосплавним озброєнням, але й підвищити його надійність та довговічність.

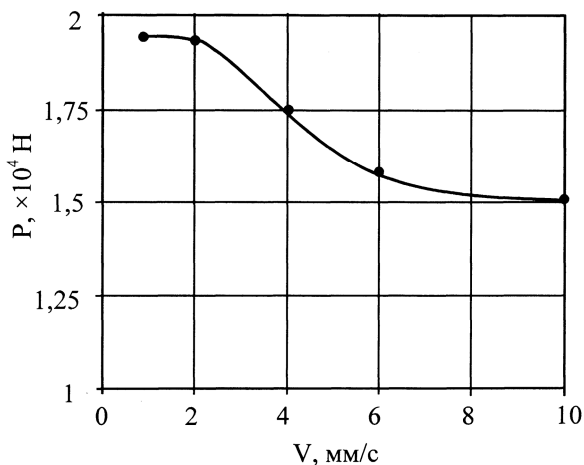


Рисунок 8 – Залежність зусилля розпресування від швидкості запресування

Стендові випробування експериментальної партії доліт показали високі перспективи впровадження запропонованих рішень в технологічний процес виготовлення доліт.

У подальшому актуальним є вивчення тріщиностійкості та контактної витривалості шарошкових сталей в результаті різних режимів хіміко-термічної обробки.

Література

1 Крылов К.А., Стрельцова О.А. Повышение долговечности и эффективности буровых долот. – М.: Недра, 1983. – 206 с.

2 Международная инженерная энциклопедия. Серия: Нефтегазовая техника и технология (Международный транслятор-справочник) Т.1. Шарошечные долота / Под ред. В.Я.Кершенбаума, А.В.Торгашова, А.Г.Мессера. – М.: Нефть и газ, 2003. – 257 с.

3 Петрина Ю.Д. Розробка науково-прикладних основ підвищення довговічності бурових доліт шляхом раціонального використання матеріалів: Автореф. дис... доктора техн. наук: 05.15.07 / Івано-Франківський державний технічний університет нафти і газу. – Івано-Франківськ, 1996. – 46 с.

4 Артım В.І. Підвищення працездатності шарошкових доліт, оснащених вставними композиційними зубками: Дис... канд. техн. наук: 05.15.07. – Івано-Франківськ, 1999. – 135 с.

5 Григоренко С.І. Вдосконалення конструкції і технології виготовлення шарошок бурових доліт типу „Т” // Тези науково-технічної конференції професорсько-викладацького складу університету. – Івано-Франківськ: ІФДТУНГ, 2000. – С.42-43.

6 Байдик О.В. Розробка технологічного процесу виготовлення бурових доліт, оснащених вставними композиційними зубками: Автореф. дис... канд. техн. наук: 05.02.08 / Національний технічний університет України. „КПІ”. – К., 1997. – 20 с.

7 Петрина Ю.Д., Корнута О.В., Лукань Т.В. Критерії застосовності конструкційних сталей для виготовлення бурових доліт // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2005. – №2(15). – С. 54-58.

8 Вплив глибини цементованого шару шарошки на точність форми оброблювального отвору під запресовку зубків / Б.О.Борушак, Ю.Д.Петрина, Л.О.Борушак, В.Т.Глик // Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ. Серія: Нафтогазпромислове обладнання. – Івано-Франківськ. – 1998. – Вип. 36 (Том 4). – С. 100-108.

9 Корнута В.А. Аналіз можливостей моделювання напружено-деформованого стану деталей з’єднання твердосплавний зубець-шарошка // Анотації Міжнародної науково-технічної конференції „Ресурсозберігаючі технології в нафтогазовій енергетиці” „ІФНТУНГ-40” 16-20 квітня 2007 р. – Івано-Франківськ: Факел, 2007. – С.183.

10 Долговечность шарошечных долот / Н.А.Жидовцев, В.Я.Кершенбаум, Э.С.Гиндзбург, И.К.Бикбулатов, Е.Н.Бородина – М.: Недра, 1992. – 272 с.

11 Структурний аналіз металів. Металографія. Фрактографія. / О.М.Бялік., С.Є.Кондратюк, М.В.Кіндрачук, В.С.Черненко. – К.: ВПІ ВПК „Політехніка”, 2006. – 328 с.

12 Кальнер В.Д. Цементация и нитроцементация стали. – М.: Машиностроение, 1973. – 40 с.