

622.24.051(043)

A86

Івано-Франківський державний технічний
університет нафти і газу

АРТИМ ВОЛОДИМИР ІВАНОВИЧ

**ПІДВИЩЕННЯ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ ШАРОШКОВИХ ДОЛІТ,
ОСНАЩЕНИХ ВСТАВНИМИ КОМПОЗИЦІЙНИМИ ЗУБКАМИ**

УДК 622.24.051. (043)

Спеціальність 05.05.12 – Машини нафтової
та газової промисловості

A86

П/ІІВ

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

ІВАНО-ФРАНКІВСЬК - 2000

Дисертація є рукопис

Робота виконана в Івано-Франківському державному технічному університеті нафти і газу, Міністерство освіти України

Науковий керівник:

доктор технічних наук, професор **Петрина Юрій Дмитрович**, Івано-Франківський державний університет нафти і газу, завідувач кафедри технології машинобудування, м.Івано-Франківськ.

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор **Заміховський Леонід Михайлович**, Івано-Франківський державний університет нафти і газу, завідувач кафедри автоматизованого управління, м.Івано-Франківськ;

доктор технічних наук, доцент **Гладкий Ярослав Миколайович**, Технологічний університет Поділля, завідувач кафедри технології машинобудування, м.Хмельницький.

Провідна установа:

ВАТ "Український нафтогазовий інститут", Міністерство енергетики України, м.Київ.

Захист відбудеться *18 лютого 2000 року о 14 год. 30 хв.* на засіданні

спеціального комітету з дисертацій при Івано-Франківському державному технічному університеті нафти і газу, м.Івано-

Франківськ.

З дисертації вченому надано право вільно цитувати дані дані роботи.

Івано-Франківський державний технічний університет нафти і газу, м.Івано-

Франківськ, кафедра технології машинобудування, м.Івано-Франківськ.

м.Івано-Франківськ, вул. Січових Героїв, 10. Контактна особа: д-р техн.

т. (0362) 252-11-11, ф. (0362) 252-11-11, е. info@nftu.edu.ua, www.nftu.edu.ua

Авторецензії: д-р техн. **Гладкий Ярослав Миколайович**, Технологічний університет Поділля, м.Хмельницький.

Вчений спеціаліст: д-р техн. **Гладкий Ярослав Миколайович**, Технологічний університет Поділля, м.Хмельницький.

д-р техн. **Гладкий Ярослав Миколайович**, Технологічний університет Поділля, м.Хмельницький.

д-р техн. **Гладкий Ярослав Миколайович**, Технологічний університет Поділля, м.Хмельницький.

д-р техн. **Гладкий Ярослав Миколайович**, Технологічний університет Поділля, м.Хмельницький.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. В розвитку економіки України значна увага відводиться нафтовій та газовій галузі, як найважливішій складовій паливно-енергетичної бази народного господарства. Вирішення завдань, що стоять перед нафтовою та газовою промисловістю, потребує перш за все підвищення техніко-економічних показників бурових робіт, прискорення технічного переозброєння, широкого освоєння принципово нової техніки, матеріалів та технологій, зменшення термінів будівництва свердловин і підвищення строків служби обладнання та породоруйнівного інструменту.

Розвиток паливно-енергетичного комплексу країни потребує значного підвищення довговічності породоруйнівного інструменту, зменшення використання у виробництві дефіцитних і дорогих матеріалів, таких як вольфрам, кобальт, нікель та інших, при одночасному підвищенні якості праці та зменшенні енергоємності виготовлення породоруйнівних інструментів.

Зубки з твердих сплавів ВК-4, ВК-8, ВК-8ВК та ін., що зараз серійно випускаються промисловістю для оснащення шарошкових доліт, мають цілий ряд недоліків. Внаслідок значень твердості та жорсткості твердосплавних зубків значно більших, ніж самої шарошки, та значного значення натягу після запресовки їх в тіло шарошки, при експлуатації відбуваються сколювання, розкитування та випадання їх з корпусу (до 25%), що призводить до подальших більш інтенсивних сколювань та випадань внаслідок забруднення свердловини частинами твердого сплаву, що випали. Тому застосування твердосплавних зубків накладає обмеження на регулювання довжини вильоту зубка над тілом шарошки та внаслідок цього на технологічні параметри буріння, такі як швидкість проходки та ін. В той же самий час буровий інструмент – це інструмент разового використання, в роботі якого приймає участь тільки виступаюча робоча частина зубків, а більша його частина (до 70%) із дефіцитного і дорогого твердого сплаву запресовується в корпус шарошки. Таким чином, використання твердого сплаву є досить неефективним.

Тому проблема розробки нових технологій оснащення породоруйнівного інструменту зносостійкими композиційними матеріалами, що дають змогу значно зменшити використання дефіцитних твердих сплавів на стадії формування заготовок інструменту при одночасному покращенні його конструкції та ефективності, зменшенні енергоємності виготовлення та підвищенні його надійності та довговічності є досить актуальною.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Проведені дослідження виконувались в рамках затвердженої урядом Національної програми "Нафта і газ України до 2010 року", а також науково-дослідної держбюджетної роботи викладачів кафедри "Розробка технологічного забезпечення виробництва нафтопромислового інструменту" (назва програми) університету "Нафта і газ України" до 2001 року. Робота виконана на кафедрі "Розробка технологічного забезпечення виробництва нафтопромислового інструменту" університету "Нафта і газ України".

НТБ
ФОНТУНГ



as49

ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ НАФТИ І ГАЗУ

Мета і задачі дослідження. Метою дисертаційної роботи є забезпечення працездатності шарошкових доліт за рахунок підвищення надійності з'єднання "зубок-шарошка" технологічними та конструктивними шляхами.

Для досягнення поставленої мети в роботі були поставлені та вирішувались такі задачі:

1. Розробка конструкції зубка, яка б забезпечила економію твердого сплаву за рахунок заміни тврдосплавної кріпильної частини зубка на сталю; розробка способу виготовлення комбінованого зубка.
2. Теоретичні дослідження доцільності застосування вібрації для забезпечення надійного з'єднання сталюї і тврдосплавної частини зубка; експериментальні дослідження віброзмішування порошоків карбїду вольфраму та зв'язки.
3. Розробка методу і технології виготовлення комбінованих зубків.
4. Вибір оптимальних параметрів вібрації для забезпечення надійного з'єднання сталюї і тврдосплавної частини зубка та оптимальних технологічних параметрів виготовлення комбінованого зубка.
5. Розробка і виготовлення технологічного оснащення для реалізації запропонованого методу формоутворення структури комбінованого зубка.
6. Порівняльна оцінка міцності з'єднання "зубок-шарошка" при запресуванні звичайних тврдосплавних зубків та зубків нової конструкції.
7. Дослідження впливу швидкості нагріву при термообробці шарошок на міцність з'єднання "зубок-шарошка".
8. Розробка методики вибору хїмічного складу долотних сталей в залежності від необхідних механічних характеристик для використання їх як матеріалу шарошки та кріпильної частини зубка нової конструкції.

- Наукова новизна одержаних результатів.** Автором самостійно вперше:
- розроблена конструкція вставного зубка з плавною зміною концентрації тврдого сплаву по довжині зубка;
 - показана можливість використання вібрації для отримання зони зміни концентрації порошкового карбїду вольфраму в середовищі зв'язки (порошок заліза чи сталі);
 - встановлено закономірності відносного руху частинки карбїду вольфраму в середовищі зв'язки при віброзмішуванні;
 - розроблена методика визначення сили опору середовища відносному руху частинки карбїду вольфраму;
 - досліджено структуру та властивості зони перехідної концентрації карбїду вольфраму в композиційних зубках, сформованих методом віброзмішування;
 - запропоновано методику оцінки в'язкості руйнування K_{IC} тврдосплавного озброєння шарошкових доліт;
 - показана можливість використання пришвидшеного нагріву під гартування шарошок для підвищення надійності закріплення вставних зубків в тілі шарошки;

– запропоновано методику вибору хімічного складу долотних сталей в залежності від необхідних механічних характеристик для використання їх як матеріалу шарошки та кріпильної частини зубка нової конструкції.

Практичне значення одержаних результатів. Теоретичні та експериментальні дослідження можуть бути використані для розробки технічного завдання, технічного та робочого проекту технологічних процесів виготовлення бурових доліт та композиційних зубків. Розроблений метод отримання міцного зв'язку різномірних матеріалів може знайти широке використання в дослідженнях сплавів з різною концентрацією компонентів, а також при розробці конструкцій деталей зі змінними властивостями по своїй довжині.

В практику роботи Дрогобицького долотного заводу впроваджена розроблена методика оцінки тріщиностійкості твердосплавного озброєння.

Достовірність результатів роботи. Сформульовані автором дисертації висновки та положення, що захищаються, підтверджуються фундаментальними теоретичними законами та експериментами, виконаними згідно сучасних методик, а також актом впровадження розробленої методики оцінки тріщиностійкості твердосплавного озброєння.

Особистий внесок здобувача. Автором запропоновано новий спосіб отримання композиційних матеріалів із змінними механічними властивостями по об'єму [6]. Приведена оцінка тріщиностійкості твердосплавних зубків бурових доліт [3, 8]. Розроблена програма по вибору долотних сталей з низьким вмістом нікелю [2]. Автор провів значні теоретичні дослідження процесу віброзмішування, розроблено оснащення для формування комбінованих зубків [4, 9]. Встановлено ряд технологічних факторів і параметрів для підвищення міцності з'єднання “зубок-шарошка” [5, 10]. Автор виконував лабораторні дослідження отриманих взірців, проводив оцінку та аналіз результатів [1-5, 7-10].

Апробація результатів роботи. Найбільш суттєві результати доповідались і обговорювались в міжнародній школі-семінарі “Методи і засоби технічної діагностики” (Івано-Франківськ, 1995), на науково-технічних конференціях професорсько-викладацького складу технічного університету нафти і газу (Івано-Франківськ, 1995, 1998, 1999) та на наукових семінарах кафедри технології машинобудування Івано-Франківського державного технічного університету нафти і газу.

Публікації. Результати виконаних досліджень опубліковані в 10 друкованих роботах.

Структура та обсяг роботи. Дисертація складається із вступу, п'яти розділів, висновків, бібліографічного списку літератури з 143 найменуваннями і додатків. Загальний обсяг роботи 146 стор., в тому числі: 44 рисунки, 7 таблиць, а також додатки на 5 сторінках. Основна частина роботи містить 125 стор. машинописного тексту.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ ДИСЕРТАЦІЇ

У вступі обґрунтована актуальність теми і сформульовані основні положення, що виносяться на захист, обґрунтована наукова новизна та практична цінність роботи.

В розділі 1 аналізується сучасний стан та основні напрямки підвищення працездатності бурових шарошkových доліт із вставними твердосплавними зубками.

Підкреслено, що працездатність та довговічність бурових доліт в першу чергу пов'язана з якістю озброєння. Використання твердосплавного озброєння дозволило значно підвищити ефективність роботи бурового інструменту, особливо по міцних та твердих породах з абразивними властивостями.

Разом з великими перевагами твердосплавного озброєння існує і цілий ряд суттєвих недоліків. Одним з основних недоліків є великі труднощі в досягненні надійного зв'язку озброєння з шарошкою. Наприклад, до 25% вставних твердосплавних зубків в процесі роботи випадають з тіла шарошки, знижуючи ефективність роботи долота та засмічуючи свердловину.

Незважаючи на неодноразові спроби модернізувати та вдосконалити конструкцію шарошкового долота із вставними зубками головним і майже незамінним методом з'єднання залишається запресування зубків в глухі отвори в тілі шарошки. Як відомо, найбільш надійним є пресове з'єднання однорідних матеріалів, наприклад, сталь-сталь. Існуюче з'єднання сталь-твердий сплав через суттєво різні механічні властивості матеріалів не може бути надійним. Тому розробка комбінованого зубка зі сталюю кріпильною та твердосплавною робочою частинами дозволить підвищити ефективність та довговічність роботи шарошkových доліт. Вирішення цієї проблеми одночасно дало б змогу значно зекономити твердий сплав. Але при спробах створити такі зубки виникла проблема міцного зв'язку робочої та кріпильної частини, яку так і не вдалося вирішити повністю.

Останні сторінки розділу присвячені постановці задач досліджень.

В розділі 2 основну увагу звернуто на розробку методики отримання зубка запропонованої конструкції.

На основі аналізу існуючих технологій отримання твердосплавних зубків та спікання сталюих деталей визначено орієнтовні режими формування, пресування та спікання комбінованого зубка запропонованої конструкції. Дана коротка характеристика використовуваного для отримання комбінованих зубків стандартного обладнання та обґрунтування розроблених оригінальних пристроїв.

Останні пункти розділу присвячені використовуваним методикам досліджень твердосплавного озброєння та долотних сталей. Особливу увагу звернуто на методику досліджень в'язкості руйнування твердих сплавів. Показано, що існуючі методики не дають змоги визначити в'язкість руйнування твердих сплавів із зміною концентрації по довжині взірця. При оцінці комбінованих зубків стає необхідною розробка методики з урахуванням зміни

концентрації твердого сплаву. Дану задачу вирішено завдяки розробці нової методики оцінки в'язкості руйнування твердих сплавів на дискових візріях із сегментоподібними концентраторами напружень. Розроблена методика дозволяє визначити в'язкість руйнування твердих сплавів без нанесення на них втомних тріщин, що практично неможливо через моментальне руйнування візріє при появі таких тріщин.

В розділі 3 перші сторінки розділу присвячені питанню розробки нової конструкції комбінованого зубка з міцним зв'язком робочої та кріпильної частини.

Показано, що можливим методом отримання плавної зміни концентрації карбіду вольфраму по довжині зубка є віброзмішування порошкових середовищ. Розроблені теоретичні передумови використання методу віброзмішування для отримання комбінованого зубка із плавною зміною концентрації карбіду вольфраму по довжині зубка.

Розглянуто основні положення вібраційного змішування, необхідні для подальших досліджень та розрахунків. Проаналізувавши існуючі методи дії вібраційних процесів на порошкові середовища, обґрунтовано вибір коливань у вертикальному напрямі як такий, що найбільш відповідає поставленій меті.

Основне рівняння вібраційного змішування сипучих матеріалів має вигляд:

$$ma = m_0(\Delta - 1)(g - \dot{u}) + \Phi, \quad (1)$$

де a - прискорення частинки відносно середовища, m/c^2 ;

u - абсолютна швидкість середовища в точці центру тяжіння частинки, m/c ;

m - маса частинки, кг;

m_0 - маса середовища в об'ємі частинки;

$\Delta = \rho/\rho_0$ - відношення середніх густин частинки і середовища.

Φ - сила опору сипучого середовища руху частинки, Н.

З певними допущеннями, вважаючи сипуче середовище при вібрації як середовище квазірідке, $\Phi = F(v)$, де v - швидкість частинки відносно середовища. Будемо рахувати, що

$$F(v) \leq F(v)_{\max} = F_v \quad (2)$$

$$F(v=0) \neq 0$$

В іншій формі, використовуючи рівняння (1), ці умови можна записати як:

$$F(v) = -m_0(\Delta - 1)(g - \dot{u}) \text{ при } m_0(\Delta - 1)(g - \dot{u}) \leq F_v \text{ і}$$

$$F(v) = F_v \text{ при } m_0(\Delta - 1)(g - \dot{u}) \geq F_v.$$

Враховуючи вищенаведені умови (2), формула (1) матиме вигляд:

$$ma = m_0(\Delta - 1)(g - \dot{u}) + F(v). \quad (3)$$

У випадку вертикальних коливань абсолютна швидкість руху середовища u в вертикальному напрямку буде описуватися рівнянням

$$u = Aw \cos(\omega t + \alpha), \quad (4)$$

де A - амплітуда коливань, м;
 ω - частота, рад/с;
 α - фаза коливань, рад.

Підставивши рівняння (4) в (3), одержимо для випадку коливань у вертикальному напрямку:

$$ma = m_0(\Delta - 1)g \cdot F(v) + m_0(\Delta - 1)Aw^2 \cdot \sin(\omega t + \alpha), \quad (5)$$

де $+F(v)$ - при русі частинки вгору; $-F(v)$ - при русі частинки вниз.

Така умова необхідна тому, що сила $F(v)$ завжди протидіє відносному рухові частинки в середовищі.

Результатом наших досліджень повинно бути чітке уявлення про поведінку досліджуваної частинки при різних параметрах вібрації. Проінтегрувавши раз і двічі рівняння (5), отримаємо відповідно рівняння відносної швидкості частинки в середовищі $v=f(t)$ і рівняння відносного переміщення частинки в середовищі $h=f(t)$.

В рівняннях руху частинки в нашому випадку відомі всі величини, крім сили опору середовища F_v .

Згідно результатів досліджень вібраційного розділення сипких середовищ, проведених Блехманом, можна прийняти, що F_v не залежить від параметрів вібрації, а залежить від властивостей сипкого середовища і поміщеної в ньому сторонньої частинки. З такого твердження можна зробити важливий висновок, що значення F_v можна визначити експериментальним шляхом при умові, що стороння частинка (в нашому випадку - частинка карбіду вольфраму) вже здійснює рух в сипкому середовищі, тобто коли виконується умова $ma \geq 0$.

Виходячи з такої умови, рівняння (5) після необхідних перетворень матиме вигляд:

$$m_0(\Delta - 1)(g + Aw^2) \geq F_v. \quad (6)$$

Використовуючи рівняння (6), експериментально визначили значення F_v шляхом візуального спостереження за початком опускання частинок карбіду вольфраму в середовищі порошку заліза. Підставивши в рівняння (6) всі необхідні величини, отримали значення $F_v = 3,7 \cdot 10^{-12}$ Н.

Для детального розгляду фізичних явищ, що відбуваються під час віброзмішування, побудували графіки руху частинки при різних параметрах вібрації. Аналіз проведених досліджень показує, що для здійснення процесу віброперемішування величина Aw^2 повинна знаходитися в чітко визначених межах:

$$\frac{F_v}{(\Delta - 1)m_0} - g \leq Aw^2 \leq g. \quad (7)$$

В розділі 4 приведені експериментальні дослідження з отримання зубків нової конструкції.

В попередньому розділі було відмічено, що значення сили опору середовища F_v не залежить від параметрів вібрації, але повинно залежати від частинок, що змішують. Такий висновок приводить до необхідності визначення сили опору середовища F_v для конкретно вибраної суміші порошоків, що будуть використані при формуванні кріпильної зони комбінованих зубків.

Такі дослідження були проведені за раніше викладеною методикою. Для врахування усіх можливих суттєвих факторів маса та об'ємні співвідношення сумішей порошоків, використаних для формування робочої та кріпильної зони при проведенні експерименту, були вибрані такими ж, як і при отриманні готових комбінованих зубків.

Провівши необхідні дослідження, прийшли до висновку, що сила опору середовища в порівнянні з відносним рухом у середовищі порошкового заліза зросла на 60% і становить $F_v = 5,9 \cdot 10^{-12}$ Н.

Провівши теоретичний аналіз процесу віброзмішування при даному конкретному значенні F_v , приходимо до висновку, що відносний рух частинок карбиду вольфраму можливий тільки в зоні підкидування.

Для успішного використання процесу віброзмішування в даних практичних умовах було розглянуто деякі суттєві особливості руху з підкидуванням. Рух суміші при підкидуванні можна поділити на дві області, всередині яких він відбувається по зовсім різним фізичним законам. В першій зоні відбувається коливальний рух, що зовсім не відрізняється від дослідженого в розділі 3. В другій же зоні відбувається рух суміші з прискоренням вільного падіння (рух підкидування), де не спрацьовують попередньо досліджені закономірності. Провівши аналіз рівнянь руху суміші, приходимо до висновку, що розподіл інтервалів часу, де відбувається коливальний рух та рух з підкидуванням, залежить виключно від параметрів вібрації.

З приведених тверджень можна зробити важливе в нашому випадку припущення. Якщо існують такі параметри вібрації, при яких інтервал відносного руху частинки буде повністю вкладатися в область коливального руху суміші і не буде перекриватися з областю руху з підкидуванням, то при таких параметрах вібрації відносний рух частинки буде описуватися раніше приведеними в розділі 3 закономірностями.

Так як інтервал відносного руху частинки та області коливального руху та руху підкидування суміші залежать від одних і тих самих параметрів, а саме частоти та амплітуди коливань, то можна дослідити, при яких параметрах вібрації інтервал відносного руху частинки не буде перекриватися із областю руху підкидування.

Провівши необхідні дослідження, ми прийшли до висновку, що така область для даного значення F_v існує. Слід відзначити, що така область може і не існувати. Її існування та параметри в першу чергу залежать від значення F_v при $F_v < F_{v,кр.}$

Важливо також відмітити, що збільшення параметрів вібрації може привести до ситуації, коли рух суміші стане повністю нестабільним, тобто не буде повторюватися кожен період коливань. В такому випадку процес віброзмішування стає неможливим без обмеження вільного руху суміші в посудині при підкидуванні.

Провівши аналогічні розділу 3 дослідження, будемо графіки відносного руху частинок при оптимальних значеннях параметрів вібрації. Так як в першу чергу нас цікавить середня швидкість опускання частинки v_c в залежності від параметрів вібрації, будемо такий графік в формі $v_c=f(A)$ при різних значеннях можливих w .

Задавшись часом змішування $t_{зм}$ та встановивши ширину перехідної зони $H_{п.з.}=1\text{мм}$, вибираємо для практичного використання значення $A=20\text{ Гц}$ і $A=0,9\text{ мм}$.

Отримавши за викладеною в розділі 2 методикою комбіновані зубки, провели деякі експериментальні дослідження, що в основному торкаються стану твердого сплаву в зоні зміни концентрації карбіду вольфраму: дослідження макро- та мікроструктури, зміни твердості та концентрації карбіду вольфраму.

Візуальні спостереження спечених зубків дали можливість зробити такі висновки. Зубки спеклися без втрати цілісності та початкової форми. Усадка крипильної та твердосплавної частини досить незначна: 3-5%. Брак при спіканні становив 2% і полягав в розділенні зубків на дві окремі частини. Обстеження бракованих зубків показали, що причиною розділення були радіальні тріщини, що зародилися при пресуванні. Якихось слідів роз'єднання зубків у зоні зміни концентрації карбіду вольфраму не спостерігалось. Структура сплаву в зоні зміни концентрації аналогічна структурі робочої зони з плавним переходом до структури крипильної зони при малих концентраціях карбіду вольфраму.

Мікроскопічні дослідження проводили при великих збільшеннях для вивчення таких структурних особливостей, як форма, розмір, розподіл фаз і включень, розміри зерен.

В процесі спечення зубків карбіди вольфраму взаємодіють із залізо-нікелевою зв'язкою, частково розчиняючись в ній. При спіканні утворюється сплав – зв'язка, яка закріплює зерна карбіду вольфраму в робочій та перехідній зонах зубка. Склад, структура і властивості зв'язки залежать від степені її легування вольфрамом та вуглецем. Легування зв'язки і ступінь збереження властивостей карбіду вольфраму визначаються температурою нагрівання, розмірами і концентрацією карбіду вольфраму та часом нагрівання, витримки та охолодження зубків.

В результаті проведених мікроструктурних досліджень можна зробити такі висновки.

Карбідні складові містяться в приблизно рівній кількості із ферритними твердими розчинами, навіть при низьких концентраціях вуглецю, що підтверджується також розглядом фазових складових після травлення.

Вольфрам концентрується в зернах твердого сплаву. Незначна кількість вольфраму також міститься в карбідних виділеннях, що розміщені навколо зерен карбіду вольфраму і утворюють пластинчасті карбіди в зв'язці. В самій же зв'язці кількість вольфраму дуже мізерна. Також можна відмітити, що в карбідних виділеннях в зв'язці та в шарах, що лежать близько до зерен карбіду вольфраму, присутня велика кількість заліза.

Таким чином, при частковому розчиненні зерен карбіду вольфраму в зв'язці утворюється металозв'язка, збагачена вольфрамом і вуглецем; при спіканні зі сталі виділяються карбіди складної будови, які утворюють евтектику із сталюю матрицею.

При дослідженнях мікротвердості користувалися відомим методом вимірювання мікротвердості з допомогою подряпин, які наносяться на взірець з допомогою пристрою ПМТ-3, оснащеного спеціальним приспособленням. Мікротвердість визначається за шириною подряпини, яку вимірюють оптичним методом. З отриманих результатів можна зробити висновок про те, що мікротвердість зон залежить від концентрації карбіду вольфраму і плавно збільшується при збільшенні його концентрації, досягаючи максимальних значень в робочій зоні зубка. В зубках, сформованих без плавної зміни концентрації карбіду вольфраму, мікротвердість також змінюється стрибкоподібно.

Для більш детального вивчення процесу формування перехідної зони були проведені дослідження з визначення процентного вмісту карбіду вольфраму за довжиною зубків.

Для проведення досліджень були підготовлені шліфи за довжиною зубків, сформованих за такими варіантами:

1. Вібраційне формування перехідної зони шириною 1 мм.
2. Вібраційне формування перехідної зони шириною 0,5 мм.
3. Формування зубків без перехідної зони.
4. Формування зубків з перехідною зоною 50%/50% довжиною 1 мм.

Аналізуючи отримані криві концентрації, можна зробити висновок, що формування перехідної зони в основному відповідає раніше приведеним результатам. Зміна концентрації проходить досить плавно. Слід також відмітити, що навіть у випадку формування зубка без перехідної зони існують перехідні концентрації. Їх утворення можна пояснити дифузійними процесами при спіканні та деяким перемішуванням робочої та кріпильної частин зубка при формуванні та пресуванні.

В розділі 5 розроблено деякі методи оцінки конструктивної міцності зубків та підвищення надійності з'єднання "зубок-шарошка".

Враховуючи єдність механізмів руйнування та зношування, твердосплавні зубки, крім встановлених норм на міцність, твердість і т.п., потребують контролю на тріщиностійкість. Такий контроль може використовуватись в якості критерію зносостійкості твердого сплаву.

Для дослідження тріщиностійкості вибрали два тверді сплави: ВК8-ВК і ВК11-ВК, які сьогодні використовуються на Дрогобицькому долотному заводі.

Основні параметри цих зубків приведені в таблиці 1.

Таблиця 1 - Параметри твердих сплавів

Матеріал	Густина, г/см ³	$\sigma_{зг}$, МПа	HRC _э
BK8-BK	14,5...14,8	18620	87,5...89
BK11-BK	14,2...14,4	21070	87...88

Оцінку в'язкості руйнування проведено на циліндричних взірцях діаметром 10 мм (що відповідає розміру зубків) і довжиною 80 мм, на які наносили сегментоподібні концентратори з різними радіусами заокруглень. Параметри K_{IC} твердих сплавів знайшли методом екстраполяції величин в'язкості руйнування матеріалів на значення $r=0$, яке відповідає втомній тріщині. Вони дорівнюють $K_{IC}=11,1 \text{ МПа}\cdot\text{м}^{1/2}$ - для сплаву BK8-BK і $K_{IC}=13,2 \text{ МПа}\cdot\text{м}^{1/2}$ - для сплаву BK11-BK.

Таким чином, ми маємо можливість визначити параметри K_{IC} твердих сплавів без нанесення на взірцях втомних тріщин. Це є суттєвою перевагою даного методу, адже нанесення втомних тріщин на взірці із твердих сплавів майже неможливе через моментальну поломку взірців при появі такої тріщини.

Однак запропонований вище метод оцінки тріщиностійкості твердих сплавів не можна використати до комбінованих зубків, так як в'язкість руйнування в них буде змінюватись по довжині зубка. В цьому випадку можна застосувати методику оцінки K_{IC} на дискових взірцях, яка дає можливість визначити значення K_{IC} по всій довжині зубка.

Повна кореляція величин K_{IC} свідчить про високу чутливість обох методів визначення в'язкості руйнування твердих сплавів.

Слід відмітити, що метод екстраполяції можна використовувати тільки в тих випадках, коли руйнування всіх взірців здійснюється по одному і тому самому механізму (крихкому або в'язкому). Справедливість такого твердження проілюстровано на прикладі визначення ударної в'язкості сталей при різних значеннях радіусу надрізу. Наявність крихко-в'язкого переходу при зменшенні радіусу надрізу взірців до значень, близьких до нуля, тобто при переході до більш жорстких видів навантаження, робить неможливим використання методу екстраполяції для визначення критичного коефіцієнту інтенсивності навантажень.

У випадку оцінки тріщиностійкості твердих сплавів даний метод є правомірним, тому що такий перехід не відбувається і при усіх значеннях r буде тільки крихке руйнування.

Існуючі методи запресування або паяння твердосплавних зубків не забезпечують надійного їх кріплення в тілі шарошки. До 25% зубків в процесі буріння випадають з тіла шарошки і знижують ефективність роботи доліт. Тому питання ефективного кріплення зубків в корпусі шарошки є дуже актуальним на сучасному етапі розвитку долотобудування.

Тому викликає велику цікавість питання про те, чи буде змінюватися і, якщо буде, то яким чином, контактний тиск при запресуванні зубків із сталюю кріпильною частиною.

Ці питання досліджено на прикладі пресового з'єднання "зубок-тіло шарошки", яке складалось на Дрогобицькому долотному заводі.

Отримані числові значення контактних тисків для випадків звичайного твердосплавного зубка та зубка з кріпильною частиною із сталі показані в таблиці 2.

Таблиця 2 - Значення контактного тиску, МПа

	Максимальний натяг	Мінімальний натяг	Середній натяг
Твердосплавний зубок	1780	740	1260
Комбінований зубок	1400	580	990

З даних, наведених в таблиці 2, ми бачимо, що для твердосплавного зубка вже при середніх натягах, які найчастіше будуть при запресуванні, контактні тиски перевищують допустимий тиск $p_{\text{доп}}=1044$ МПа. В такій ситуації в цементованому шарі шарошки почнуть виникати тріщини ще в процесі запресування. Комбінований зубок у цьому відношенні набагато надійніший.

Як вказано раніше, питання ефективного кріплення зубків в корпусі шарошок є на сьогоднішній день досить актуальним. З приведених результатів досліджень з оцінки надійності кріплення зубків в тілі шарошки випливає, що міцність з'єднання "зубок-тіло шарошки" тим вища, чим менша різниця механічних характеристик їх матеріалів. Тому зміцнення тіла шарошки приводить до підвищення ефективності закріплення вставних зубків в тілі шарошки.

В нашому дослідженні показана можливість суттєвого підвищення механічних характеристик сталей при гартуванні з наскрізного (електроконтактного) нагріву з швидкістю V_n , що не перевищує 10 К/с і наступними недовготривалими ізотермічними витримками t_n при температурі аустенізації t_a .

Дослідження виконане на сталях 12ХН3А, 37ХН3А, які використовуються для виробництва шарошок на Дрогобицькому долотному заводі, а також на сталях 20Х, 40Х, 60Х, 7Х2 і ШХ15, що забезпечували зміну вуглецю в широкому діапазоні.

Збільшення швидкості нагріву від значень, характерних для пічного гартування (1К/с), приводить до суттєвого підвищення границі міцності σ_b сталей 37ХН3А, 40Х і 7Х2, яка досягає максимумів при $V_n=7...10$ К/с. Подальший ріст V_n до 15К/с і вище приводить до суттєвого спаду σ_b , однак рівень міцності залишається більш високим, ніж після пічного гартування

(рис.1). Наступне збільшення швидкості нагріву до 50К/с майже не впливає на рівень σ_b . Підвищення швидкості нагріву до 7К/с викликає ріст σ_b для всіх температур відпуску досліджуваних сталей. Слід відмітити, що інтенсивність цього росту для високовідпущених сталей менша, ніж низьковідпущених. При цьому для високовідпущених сталей спостерігали деяке зниження поперечного зсуву ψ , за виключенням сталі 37ХНЗА. В останньому випадку свою позитивну роль відіграло, на наш погляд, легування нікелем. Позитивним фактором є те, що для високовуглецевих сталей (сталь 7Х2) гартування з пришвидшеного нагріву зсуває крихко-в'язкий перехід в сторону більш низьких температур відпуску.

Відмічено чітко виражену екстремальну залежність границі втомливості σ_{-1} від швидкості нагріву. Характер кривої подібний до характеру залежності границі міцності σ_b від швидкості нагріву.

Збільшення V_n від значень, характерних для пічного гартування (1К/с) приводить до суттєвого підвищення границі втомливості, досягаючої максимуму при $V_n=7\text{К/с}$ (880 МПа проти 650 МПа). Сталь 7Х2 була відпущена при 473К, а витримка при температурі аустенізації 1133К складала $t_b=4\text{хв}$. В той же час, згідно літературним даним, при швидкісній електротермічній обробці пропонується взагалі відмовитися від ізотермічної витримки. Отже, заслуговує уваги питання про вплив ізотермічної витримки при різних швидкостях нагріву на границю втомливості загартованих сталей. На відміну від пічного, при прискореному нагріві ($V_n=7\text{К/с}$) спостерігається різко виражений максимум циклічної міцності, що відповідає $t_b=4\text{хв}$. Це свідчить про специфічність структурного стану, виникаючого при оптимальному поєднанні V_n і t_b . Було встановлено, що пришвидшене гартування забезпечує диспергування вихідного аустенітного зерна, а також мартенситних голок. Спостерігається тенденція до вуалювання гольчатості мартенситу як результат ускладнення його морфології та роздріблення карбідної фази. Очевидно, головним фактором підвищення механічних характеристик пришвидшено загартованої сталі є оптимальна гетерогенність аустеніту, яка через зміщення температур мартенситного перетворення в об'ємах з різною концентрацією вуглецю та легуючих елементів створює передумови для диспергування структури, виникнення специфічної субструктури мартенситу та ускладнення його морфології.

В сучасних умовах одним із пріоритетних напрямів розвитку нафтогазового машинобудування є економія дефіцитних і дорогих металів. В першу чергу це стосується нікелю, який входить в склад практично всіх високоміцних сталей, що використовуються для виробництва бурових доліт.

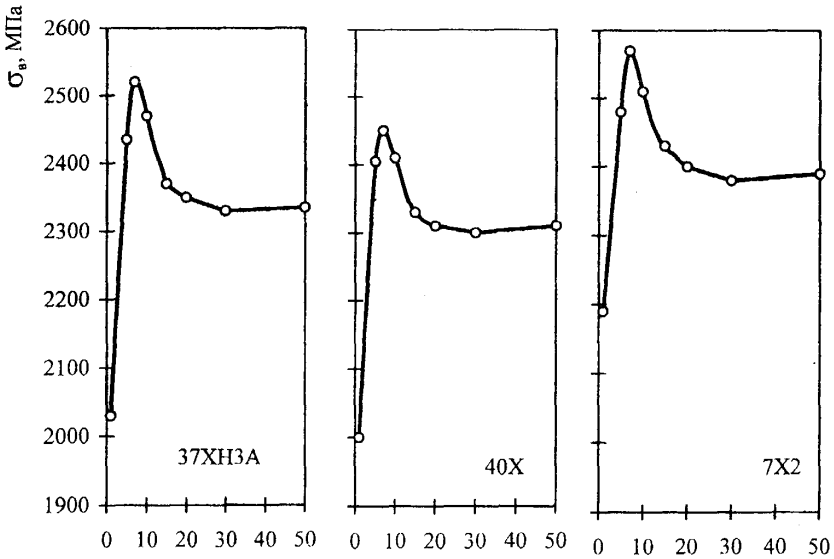
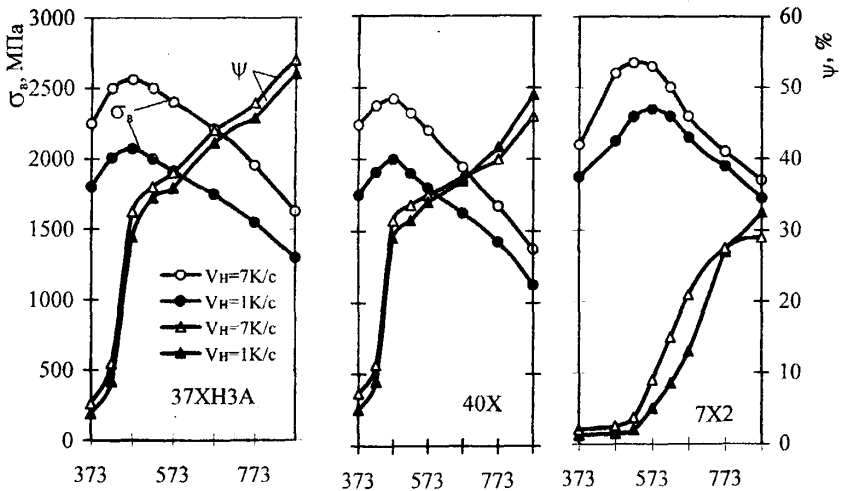
Швидкість нагріву V_n , К/сТемпература відпуску $t_{відп}$, К

Рисунок 1 - Залежність механічних характеристик досліджуваних сталей від швидкості нагріву та температури відпуску

Була поставлена задача оптимізувати хімічний склад долотних сталей таким чином, щоб вони практично не поступалися існуючим за механічними властивостями, але мали в своєму складі не більше 1,5% нікелю, тобто напововину менше, ніж в тих, що використовуються зараз.

В комплекс найбільш важливих механічних властивостей, які впливають на роботоздатність сталей в важких умовах роботи, входять такі величини: границя міцності σ_b , умовна границя текучості $\sigma_{0,2}$, відносне видовження δ , відносне звуження ψ , в'язкість руйнування K_{1C} , твердість HRC. Залежності механічних властивостей від хімічного складу можуть бути представлені у вигляді формул. Після розробки програми, виконання обчислень та аналізу одержаних результатів вибираємо остаточно два варіанти хімічного складу сталей. Вибрані варіанти показані в таблиці 3.

Таблиця 3 – Вибрані варіанти хімічного складу сталей

	C, %	Ni, %	Cr, %	Mn, %	Mo, %	Si, %	V, %
1	0,25	1,5	0,6	0,6...0,7	0,85	0,7	0,2...0,25
2	0,32	1,5	0,6	0,7	0,85	0,7	0,25...0,3

Перший варіант відповідає максимальній пластичності і хорошій міцності, а другий – максимальній міцності і хорошій пластичності.

Аналіз отриманих варіантів хімічного складу сталі вказує на те, що вони практично відрізняються тільки вмістом вуглецю. Це дозволяє зробити висновок, що найбільш оптимальним є вибір першого варіанту хімічного складу з послідуною цементацією. В такому випадку ми отримуємо високу пластичність серцевини, а, отже, й високу тріщиностійкість, і, крім того, високу міцність поверхневих шарів і стійкість проти абразивного зношування. Такий комплекс властивостей дає можливість використання даної сталі для виробництва бурових шарошкових доліт.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. В результаті проведених теоретичних та експериментальних досліджень була вирішена важлива наукова і практична задача – забезпечення працездатності шарошкових доліт за рахунок підвищення надійності з'єднання "зубок-шарошка" технологічними та конструктивними шляхами.
2. Розроблено принципово новий спосіб отримання вставного комбінованого зубка на основі запропонованого способу одержання міцного зв'язку різнорідних матеріалів. Міцність конструкції ґрунтується на шлавному переході концентрації твердого сплаву від робочої до кріпильної частини зубка. Такий перехід отримують при формуванні зубка. Запропоновано і розроблено теоретичні передумови використання методу віброзмішування для формування вставного зубка запропонованої

конструкції. Розроблено методику визначення сили опору середовища відносному руху частинки карбіду вольфраму при віброзмішуванні експериментальним шляхом.

3. Проведено дослідження віброзмішування частинок карбіду вольфраму в середовищах порошкового заліза та сталі. На основі досліджень показано, що:
 - сила опору середовища відносному руху частинки карбіду вольфраму залежить від параметрів середовища і самої частинки і не залежить від параметрів вібрації в їх оптимальних межах;
 - область оптимальних параметрів вібрації обмежена і залежить від сили опору середовища;
 - процес віброзмішування можливо використовувати для отримання зубка запропонованої конструкції.
4. Наявність крихко-в'язкого переходу при зменшенні радіусу надрізу взірців до значень, близьких до нуля, тобто при переході до більш жорстких видів навантаження, робить неможливим використання методу екстраполяції для визначення критичного коефіцієнту інтенсивності навантажень. Формальне розділення ударної в'язкості руйнування КСУ на роботу зародження тріщини a_c^0 і роботу поширення a_c^d також може привести до хибних висновків при використанні методу екстраполяції при визначенні a_c^d .
5. Розроблено і впроваджено методику оцінки в'язкості руйнування твердосплавних зубків. В'язкість руйнування визначається без нанесення на взірці втомних тріщин. Розроблену методику можна використовувати для зубків із змінною концентрацією карбіду вольфраму по довжині зубка.
6. Запропоновано технологічні шляхи підвищення надійності з'єднання "зубок-шарошка". Показано, що міцність з'єднання підвищується при зближенні механічних характеристик з'єднуваних деталей. Такий ефект досягається при використанні запропонованої конструкції вставного зубка.
7. Проведено дослідження пришвидженого нагріву під гартування долотних сталей. На основі проведених досліджень показано, що:
 - при швидкості нагріву під гартування 7...8 К/с спостерігається максимум міцності усіх досліджуваних долотних сталей;
 - ефективність методу сліджить від вмісту вуглецю та легуючих елементів в сталі, а також від температури відпуску;
 - пришвиджений нагрів під гартування можна використати для підвищення механічних характеристик шарошок бурових доліт.
8. Запропоновано методику вибору хімічного складу долотних сталей в залежності від необхідних механічних характеристик. Розроблену сталь запропоновано для виробництва шарошок та кріпильної частини зубків бурових доліт.

Основний зміст роботи опубліковано в працях:

- ✓ 1. Петрина Ю.Д., Артим В.І. Вплив структурних і температурних факторів на роботу руйнування долотних сталей// Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. Серія: Нафтопромислова механіка.–1994.–Вип. 31.–С. 20-23.
- ✓ 2. Петрина Ю.Д., Артим В.І., Лик В.Т. Розробка долотних сталей з низьким вмістом нікелю// В зб.: Методи і засоби технічної діагностики, Івано-Франківськ, 1995.–С. 171-173.
- ✓ 3. Петрина Ю.Д., Артим В.І. В'язкість руйнування твердосплавних зубків бурових доліт// Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. Серія: Нафтопромислове обладнання.–1995.–Вип. 32.–С. 20-25.
- ✓ 4. Петрина Ю.Д., Борушак Б.О., Артим В.І. Вібраційне змішування порошкових матеріалів// Розвідка та розробка нафтових і газових свердловин. Серія: Нафтопромислове обладнання.–1996.–Вип. 33.–С. 110-116.
- ✓ 5. Петрина Ю.Д., Борушак Б.О., Артим В.І. Аналіз надійності з'єднання “зубок-шарошка” для комбінованих зубків// Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. Серія: Нафтопромислове обладнання.–1997.–Вип. 34.–С. 19-22.
- ✓ 6. Петрина Ю.Д., Артим В.І., Боднарчук О.В. Спосіб отримання міцного зв'язку різнорідних сплавів// Патент України на винахід №17702А, С22С 1/04. Заявл. 03.01.1995, опубл. 20.05.1997.
- ✓ 7. Петрина Ю.Д., Артим В.І. Про вклад опору зародження та поширення тріщини в роботу руйнування сталей// Тези науково-технічної конференції професорсько-викладацького складу університету, Івано-Франківськ, 1995.–С. 3.
- ✓ 8. Артим В.І. Про мікромеханізм руйнування сталей при оцінці K_{IC} // Тези науково-технічної конференції професорсько-викладацького складу університету, Івано-Франківськ, 1995.–С. 11.
- ✓ 9. Петрина Ю.Д., Артим В.І. Експериментальне визначення величини опору середовища при вібраційному змішуванні порошкових матеріалів// Тези науково-технічної конференції професорсько-викладацького складу університету, Івано-Франківськ, 1998.–С. 18.
- ✓ 10. Петрина Ю.Д., Борушак Б.О., Артим В.І. Метод підвищення ефективності закріплення вставних зубців в тілі шарошки// Тези науково-технічної конференції професорсько-викладацького складу університету, Івано-Франківськ, 1999.–С. .

Перелічені публікації з достатньою повнотою відображають результати дисертаційної роботи. З праць, що опубліковані в співавторстві, в дисертації використано тільки ті результати, які отримано здобувачем самостійно.

АНОТАЦІЯ

Артим В.І. Підвищення працездатності шарошкових доліт, оснащених вставними композиційними зубками. - Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.05.12 - Машина нафтової та газової промисловості. - Івано-Франківський державний технічний університет нафти і газу, Івано-Франківськ, 1999.

Дисертація присвячена питанням підвищення працездатності шарошкових доліт із вставними твердосплавними зубками. В дисертації розроблено нову конструкцію вставного комбінованого зубка, яка дає змогу підвищити міцність з'єднання "зубок-шарошка" при зменшенні витрати твердого сплаву.

Розроблено новий метод отримання запропонованої конструкції зубка шляхом віброзмішування. Розроблено новий технологічний метод підвищення міцності з'єднання "зубок-шарошка" пришвидшеним нагрівом під гартування шарошки.

Розроблено і впроваджено методику оцінки в'язкості руйнування твердосплавних зубків із зміною концентрації твердого сплаву по довжині зубка.

Ключові слова: комбінований зубок, шарошкове долото, надійність, долотні сталі, в'язкість руйнування.

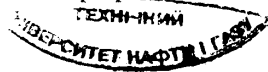
АННОТАЦИЯ

Артим В.И. Повышение работоспособности шарошечных долот, оснащенных вставными композиционными зубками. - Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.05.12 - Машины нефтяной и газовой промышленности. - Ивано-Франковский государственный технический университет нефти и газа, Ивано-Франковск, 1999.

Диссертация посвящена вопросам работоспособности шарошечных долот со вставными твердосплавными зубками. В диссертации разработано новую конструкцию вставного комбинированного зубка, которая дает возможность повысить надежность соединения "зубок-шарошка" при одновременной экономии твердого сплава. Комбинированный зубок состоит из двух разноплановых частей: рабочей с твердого сплава и крепительной с долотной стали. Крепкая и надежная связь частей осуществляется с помощью специально сформированной области плавного перехода концентрации твердого сплава от рабочей части до крепительной по длине зубка.

Разработан новый метод получения предложенной конструкции зубка путем виброзсмешивания порошковых сред. При процессе виброзсмешивания плавный переход концентрации твердого сплава получается на стадии формирования зубка перед прессованием. Также разработан новый



технологический метод повышения надежности соединения "зубок-шарошка" ускоренным нагревом под закалку шарошки. Замечено, что при скорости нагрева 7 К/с для всех исследованных долотных сталей наблюдается значительное повышение прочностных свойств и, что особенно важно, пластичность остается на высоком уровне.

Разработана и внедрена методика оценки вязкости разрушения твердых сплавов. Данная методика позволяет оценивать уровень вязкости разрушения готовых твердосплавных зубков, в том числе даже с различной концентрацией твердого сплава по длине зубка.

Ключевые слова: комбинированный зубок, шарошечное долото, надежность, долотные стали, вязкость разрушения.

SUMMARY

V.I.Artym. Increase of workability of rotary bits with inserted composed teeth.

Dissertation to receive the candidate of technical degree on field of speciality 05.05.12–Machines of Oil and Gas Industry.–Ivano-Frankivsk State Technical University of Oil and Gas, Ivano-Frankivsk, 1999.

The aim of the work is increasing of workability of rotary bits with hard-facing alloyed teeth. Developed new construction of inserted composed tooth. It give an opportunity to increase the tooth-bit joining reliability and to decrease the hard-facing alloy expense.

Developed and grounded the method for new teeth formation – the method of vibration mixing.

Proposed the new technological method for increasing the tooth-bit joining reliability by fast heating for hardening of rotary bits.

Developed and inculcated methods of fracture toughness K_{IC} valuing for hard-facing alloyed teeth.

Key words: composite tooth, rotary bit, reliability, bit steel, fracture toughness.