

Івано-Франківський державний технічний
університет нафти і газу

На правах рукопису

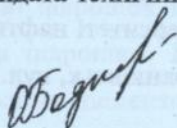
БОДНАРЧУК ОЛЕНА ВОЛОДИМИРІВНА

**ПРАЦЕЗДАТНІСТЬ ТА СПОСОБИ ПІДВИЩЕННЯ
ДОВГОВІЧНОСТІ ЦЕМЕНТОВАНИХ ДЕТАЛЕЙ
БУРОВИХ ДОЛІТ**

Спеціальність: 05.15.07 - машини і агрегати
нафтової і газової промисловості

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук.



Івано-Франківськ - 1996



Науковий керівник - кандидат технічних наук, професор
ПЕТРИНА Юрій Дмитрович

Науковий консультант - кандидат технічних наук, доцент
ДРОГОМИРЕЦЬКИЙ Ярослав Миколайович

Офіційні опоненти:

1. Доктор технічних наук, професор

БУГАЙ Юрій Миколайович

2. Кандидат технічних наук, доцент

ІВАНОВ Валерій Анатолійович

ЛННБ ім. В. Стефаника
АН України

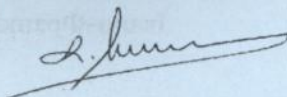
Провідна організація: Дрогобицький долатний завод,
м.Дрогобич Львівської обл.

Захист відбудеться "4" липня 1996 р. о 14³⁰ год. на засіданні спеціалізованої вченої ради Д.09.02.01 при Івано-Франківському державному технічному університеті нафти і газу за адресою: 284018, Україна, м.Івано-Франківськ, вул.Карпатська,15.

З дисертацією можна ознайомитись в науково-технічній бібліотеці університету (284018, м. Івано-Франківськ, вул.Карпатська,15).

Автореферат розісланий "1" червня 1996 р.

Вчений секретар спеціалізованої
вченої ради

 Л.С.Шлапак

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність і ступінь дослідженості теми. В загальному об'ємі буріння нафтових і газових свердловин більш, ніж 90% проходки виконується шарошковими долотами. Ефективність процесів буріння тісно пов'язана з довговічністю породоруйнівного інструменту, яка, в свою чергу, в значній мірі визначається конструктивними особливостями, технологією виготовлення та правильним вибором сталі для виготовлення доліт, а також обґрунтованістю використання режимів термічної та хіміко-термічної обробки (ХТО). Широко відомі останні теоретичні та експериментальні роботи, які проводяться в цій галузі В.М.Виноградовим, Г.М.Сорокіним, В.Я.Кершенбаумом, М.О.Жидовцевим, Ю.М.Бугаєм та іншими провідними вченими.

Для виробництва бурових доліт застосовують високоякісні легзовані сталі, які характеризуються низьким вмістом шкідливих домішок і високим вмістом нікелю (~3%). Враховуючи дефіцит нікелю на Україні та їх високу вартість, одним з основних завдань сьогодення є створення нових долотних сталей з пониженим вмістом нікелю.

Цементация деталей бурових доліт одночасно з підвищенням їх зносостійкості приводить до спаду параметрів тріщиностійкості. Це сприяє крихкому руйнуванню шарошок і лап, а також випаданню твердосплавних зубків з тіла шарошки. На практиці досить часто зустрічається крихке руйнування цементованих деталей доліт в їх тонкому перерізі при невеликих значеннях відносної площі в'язкої серцевини. Тому обґрунтований вибір сталей для виробництва деталей бурових доліт можливий тільки на основі комплексного вивчення закономірностей їх зношування та руйнування в різних умовах контактної взаємодії та зовнішнього силового навантаження.

Слід відзначити, що на сьогоднішній день практично відсутні методи оцінки тріщиностійкості цементованих деталей бурових доліт і твердосплавних зубків. Потреба вирішення цих проблем і зумовлює актуальність теми дисертаційної роботи.

Мета роботи. Підвищення довговічності та якості цементованих деталей бурових доліт з розробкою нової долотної сталі з низьким вмістом нікелю за рахунок оптимізації технологічних параметрів та врахування в'язкості руйнування деталей доліт.

Основні завдання наукового дослідження.

1. Розробити наукову концепцію створення нових долотних комплекснолегованих сталей з пониженим вмістом нікелю.
2. Визначити оптимальні режими термообробки та ХТО деталей бурових доліт, виготовлених з цементованих сталей.
3. Дослідити механічні властивості цементованих долотних сталей при різних умовах зовнішнього силового навантаження.
4. Розробити нові методи оцінки в'язкості руйнування та дослідити тріщиностійкість цементованих долотних сталей та твердосплавного озброєння.
5. Визначити вплив технологічних факторів на надійність з'єднання твердосплавний вставний зубок - корпус шарошки.

Наукова новизна:

- розроблена наукова концепція створення нових долотних комплекснолегованих сталей з пониженим вмістом нікелю;
- визначені оптимальні режими термообробки і ХТО деталей бурових доліт, виготовлених з цементованих сталей;
- розроблені наукові основи оптимального вибору цементованих сталей для виготовлення деталей бурових доліт;
- встановлені механічні властивості цементованих сталей при різних умовах зовнішнього силового навантаження;

-теоретично та експериментально обґрунтований вплив технологічних факторів на надійність з'єднання твердосплавного озброєння з корпусом шарошки.

Теоретична і практична цінність досліджень:

-розроблена нова долотна комплекснолегована сталь 20ХГМ-Ш;

-запропоновані оптимальні режими термічної та ХТО деталей бурових доліт, виготовлених з цементованих сталей;

-розроблені нові методи оцінки тріщиностійкості цементованих долотних сталей і твердосплавного озброєння;

-запропонований ряд оптимальних технологічних факторів для підвищення надійності з'єднання твердосплавний вставний зубок-корпус шарошки;

-розроблений новий комбінований вставний зубок.

Рівень реалізації і впровадження наукових розробок.

На Дрогобицькому долотному заводі виготовлена дослідна партія доліт Ш 295,3 МС-ГВ зі сталі 20ХГМ-Ш. Дана сталь рекомендована для серійного виробництва деталей бурових доліт великих розмірів. При термічній та ХТО шарошок і лап використовуються режими, запропоновані за результатами досліджень роботи. В практику роботи ДДЗ впроваджені розроблені методи оцінки тріщиностійкості цементованих долотних сталей і твердосплавного озброєння. Проведені на ДДЗ стендові випробовування селективно складених доліт (згідно запропонованої в роботі методики) показали, що в них практично відсутнє випадання зубків, що значно підвищує їх надійність порівняно з долотами серійного виготовлення.

Публікації та апробація роботи. За матеріалами дисертації опубліковано 7 робіт. Найбільш суттєві результати доповідались і обговорювались на міжнародній науково-технічній конференції

“Технічні засоби, методи розрахунку характеристик міцності, технології, що забезпечують надійність і довговічність деталей і конструкцій з нових матеріалів в машинобудівній, гірничодобувній та нафтогазовій промисловості” (Комсомольськ-на-Амурі, 1992); III Міжнародному симпозиумі “Некласичні проблеми теорії тонкостінних елементів конструкцій та фізико-хімічної механіки композиційних матеріалів” (Івано-Франківськ, 1995); науково-технічних конференціях професорсько-викладацького складу технічного університету нафти і газу (Івано-Франківськ, 1992,1995,1996) та на наукових семінарах кафедри технології машинобудування Івано-Франківського державного технічного університету нафти і газу.

Особистий внесок автора в розробку наукових результатів.

1. Автор брала безпосередню участь в проведенні лабораторних експериментів, багатоваріантних розрахунків на ЕОМ, виконувала обробку та аналіз результатів досліджень по вивченню довговічності деталей бурових доліт, виготовлених зі сталі 20ХГМ-Ш [5,7].

2. Приведена методика оцінки тріщиностійкості цементованих долотних сталей та твердосплавного озброєння [2,3,4].

3. Дана аналітична оцінка в'язкості руйнування цементованих деталей доліт [1].

4. Запропонований ряд технологічних факторів для підвищення міцності з'єднання зубок-корпус шарошки [6].

Характеристика методології, методу предмета дослідження і об'єкта. Робота присвячена вирішенню проблеми підвищення довговічності цементованих деталей шарошкових бурових доліт шляхом використання методів статистичної обробки результатів механічних випробовувань, екстраполяції та електроннофрактографічного дослідження зломів.

Структура і обсяг роботи. Дисертація складається із вступу, п'яти розділів, загальних висновків, бібліографічного списку

літератури з 167 найменуваннями та додатків, містить 174 сторінки, включаючи 52 рисунки та 24 таблиці.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ ДИСЕРТАЦІЇ

У вступі обґрунтовується актуальність теми дисертаційної роботи і подається її короткий зміст.

В першому розділі коротко проаналізовані умови роботи цементованих деталей доліт. Підкреслено, що руйнування деталей доліт, виготовлених з цементованих сталей, має свої особливості, пов'язані з розбіжностями у властивостях сталі, зумовленими змінним вмістом вуглецю в поверхневих шарах і неможливістю регулювання точного вмісту вуглецю в поверхневому шарі, особливо при цементациї в твердому карбюризаторі, ростом зерна в процесі цементациї та ін. При дослідженні зломів при невеликих збільшеннях були виявлені тріщини, які беруть початок в перехідній зоні, незалежно від виду навантаження при випробуваннях. Ці явища обумовлюють особливості руйнування цементованих сталей в різних умовах. Тому поряд з високою зносостійкістю цементована долотна сталь повинна мати високі показники міцності та пластичності, ударної в'язкості та опору поширенню тріщин. Комплекс таких властивостей необхідний для того, щоб протистояти високим статичним, динамічним і циклічним навантаженням. Оскільки руйнування цементованих деталей бурових доліт починається з виникнення тріщин в перехідних зонах і залежить від опору їх поширенню, показана необхідність використання лінійної механіки руйнування для опису цих процесів. Поряд з основними положеннями лінійної механіки руйнування приведений розвиток уявлень про міцність та механізм руйнування конструкційних металічних матеріалів, після чого йде постановка задачі дослідження.

В другому розділі коротко розглянуті долотні сталі, які зараз використовуються для виробництва бурових доліт. Відзначено, що заслуговують уваги роботи про вплив комплексного легування долотних сталей на їх фізико-механічні властивості і на довговічність бурових доліт. Зараз проводяться широкі наукові дослідження по розробці низьколегованих нікелем і безнікелевих конструкційних сталей для виготовлення важконавантажених деталей бурових доліт. В основі цих робіт лежать відомі уявлення про роль різних легуючих елементів в структуроутворенні сталей. Комплексне легування дозволяє використовувати сталь з низьким вмістом вуглецю, що підвищує її пластичність і знижує можливість крихкого руйнування.

Проведено багато досліджень з метою встановлення залежностей між структурою, механічними властивостями та зносостійкістю сталей. Це дозволило створити математичні моделі, з допомогою яких можна керувати механічними властивостями цілеспрямованим підбором хімічного складу сталей.

Оптимізація даних залежностей, аналіз впливу легуючих елементів на властивості сталі, результати теоретичних та експериментальних досліджень, проведених під керівництвом професора Ю.Д.Петрини спільно зі спеціалістами Дрогобицького долотного заводу (ДДЗ) з врахуванням багаторічного досвіду ДДЗ в цій галузі дозволили нам запропонувати нову сталь 20ХГМ-Ш для виготовлення деталей, що працюють в умовах високих статичних і динамічних навантажень та абразивного зношування (табл. 1). Виплавку сталі проводили на заводі "Дніпроспецсталь".

Дослідження оптимальних режимів термічної та ХТО нової сталі 20ХГМ-Ш проводилось паралельно з серійно використовуваною на ДДЗ сталлю 14ХНЗМА.

Аналіз літературних джерел та проведені дослідження показали, що контактна довговічність при терті кочення з проковзуванням

залежить від глибини шару, поверхневої твердості, градієнту твердості по глибині шару, концентрації вуглецю та профілю його розподілу, мікроструктури шару, а також міцності і твердості серцевини. В результаті досліджень було встановлено, що для лап і шарошок бурових доліт, виготовлених зі сталей 14ХН3МА та 16ХН3МА поверхнева концентрація вуглецю після шліфування повинна бути в межах 0,85-1,05%, а на бігових доріжках шарошок - 0,7-0,9% С. Падіння концентрації вуглецю на 1/3 глибини шару для лап і на 1/4 шару для шарошок не повинно перевищувати 15% від заданої на робочій поверхні цементованого шару. Для деталей доліт, виготовлених зі сталі 20ХГМ-Ш норма концентрації вуглецю в цементованому шарі бігових доріжок після хіміко-термічної обробки (до шліфування) на глибині 0,1-0,3 мм від поверхні повинна бути: для лап 0,75-1,05%; для шарошок 0,60-0,85%.

Таблиця 1

Хімічний склад сталі 20ХГМ-Ш

№ пла- вки	Вміст елементів, %											
	С	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	W	Va	Mo	Cu	Ti
1	0,21	0,18	0,98	0,007	0,019	0,93	0,29	0,15	0,02	0,15	0,20	0,01
2	0,20	0,23	1,05	0,006	0,018	1,02	0,17	0,02	0,02	0,26	0,21	0,01

Рекомендований рівень твердості бігових доріжок цапф лап HRC₃ 59...63, шарошок HRC₃ 58...62; твердість на 1/2 глибини шару лап і шарошок повинна бути ≥ 56 HRC₃, що і визначає необхідний профіль твердості по глибині цементованого шару. Твердість серцевини шарошок повинна бути в межах 35...45 HRC₃, оскільки її рівень нижче 35 HRC₃ веде до випадіння твердосплавних зубків, вище 45 HRC₃ - до руйнування шарошок в тонкому перерізі.

Значний вплив на стійкість опори долота має мікроструктура цементованого шару і серцевини. При дослідженні деталей доліт, виготовлених зі сталі 20ХГМ-Ш, встановлено, що мікроструктура лапи - дрібногольчастий мартенсит з аустенітом (1а) та карбіди (1к-2к); шарошки - дрібногольчастий мартенсит з аустенітом (1а), карбіди (1к, на вершині зуба - 3к); мікроструктура серцевини шарошки - троостосорбіт. Це цілком відповідає вимогам технологічного процесу, існуючого на ДДЗ: мікроструктура лап - скритогольчастий мартенсит 1-5 балів шкали 3 ГОСТ 8233-76 з аустенітом до 4 балів шкали ВНДІБТ і карбідами 1-3 бали шкали ВНДІБТ; мікроструктура шарошок - скритогольчастий мартенсит 1-4 бали шкали 3 ГОСТ 8233-76 з аустенітом до 3 балів шкали ВНДІБТ і карбідами до 1-3 балів шкали ВНДІБТ.

На Дрогобицькому долотному заводі температура цементації лап і шарошок в діапазоні 1200 ... 1220 К вибрана як оптимальна, виходячи зі слідуючих міркувань:

-нижче 1200 К швидкість процесу насичення вуглецем знижується на 15-20% в порівнянні з процесом при температурі 1220 К;

-вище 1220 К рахували, що процес цементації проводити не-доцільно через збільшення деформації деталей та ріст аустенітного зерна.

Підстуджування до температури 1170 ± 10 К і проведення першого гартування з цієї температури проводиться з метою зменшення деформації деталей. При такій температурі проходить неповне гартування серцевини деталей, а при більшому охолодженні можуть випадати карбіди на границях бувших аустенітних зерен у вигляді сітки при заевтектоїдному вмісті вуглецю в шарі. Проміжний високий відпуск зменшує вміст залишкового аустеніту, підвищує твердість і контактну довговічність. Температура високого відпуску (820...920 К) вибрана в високотемпературній області найменшої стійкості аус-

теніту, а час витримки (6...7 годин) - виходячи з умов отримання необхідної вилучини карбідної фази (1,5...2,5 мкм). Друге кінцеве гартування дає можливість отримати необхідну твердість і мікроструктуру працездатного цементованого шару, міцність і в'язкість серцевини деталей бурових доліт. Ці фактори залежать від правильно вибраних температурних режимів другого гартування та наступного відпуску.

Вивчався вплив температури другого гартування в межах 1040-1120K зразків зі сталі 14ХН3МА, відпущених при температурі 450 K із заевтектоїдним насиченням ($C=1,05\%$), сталі 16ХН3МА з насиченням ($C=0,72\%$), а також сталі 20ХГМ-Ш (насичення $C=0,95\%$ і $C=0,87\%$) на твердість цементованої поверхні та серцевини і контактну довговічність. Результати досліджень приведені на рис.1а. Також досліджено вплив рівня температури низького відпуску зразків із долотних сталей на контактну довговічність і твердість цементованої поверхні (рис.1б). З аналізу рис.1 випливає, сталь 14ХН3МА із заевтектоїдним вмістом вуглецю на глибині шару 0,1-0,3 мм (1,05%) має максимальну контактну довговічність та поверхневу твердість при другому гартуванні з температури 1080 K, а сталь 16ХН3МА з вмістом вуглецю на глибині шару 0,1-0,3 мм (0,72%) - при гартуванні з температури 1100 K при температурі низького відпуску в обох випадках 430K, сталь 20 ХГМ-Ш - при гартуванні з температури 1110 K при температурі низького відпуску 473-493 K. Слід відзначити, що підвищення температури процесу цементації збільшує швидкість дифузії вуглецю, дозволяє значно підвищити його продуктивність. Проте впровадження високотемпературної газової цементації в практику роботи заводів затримувалось причинами, на які вказувалось вище. Однак ці заперечення сформувались в той час, коли цементація проводилась, головним чином, в твердому карбюризаторі, а газова цементація ще не застосовувалась

або тільки починала розвиватися. Тому обладнання не могло забезпечити ні необхідної температури нагріву, ні достатньої тривалості робіт при підвищеній температурі. Основні заперечення проти процесу високотемпературної цементації склалися в той момент, коли в техніці використовували переважно вуглецеві сталі звичайної якості.

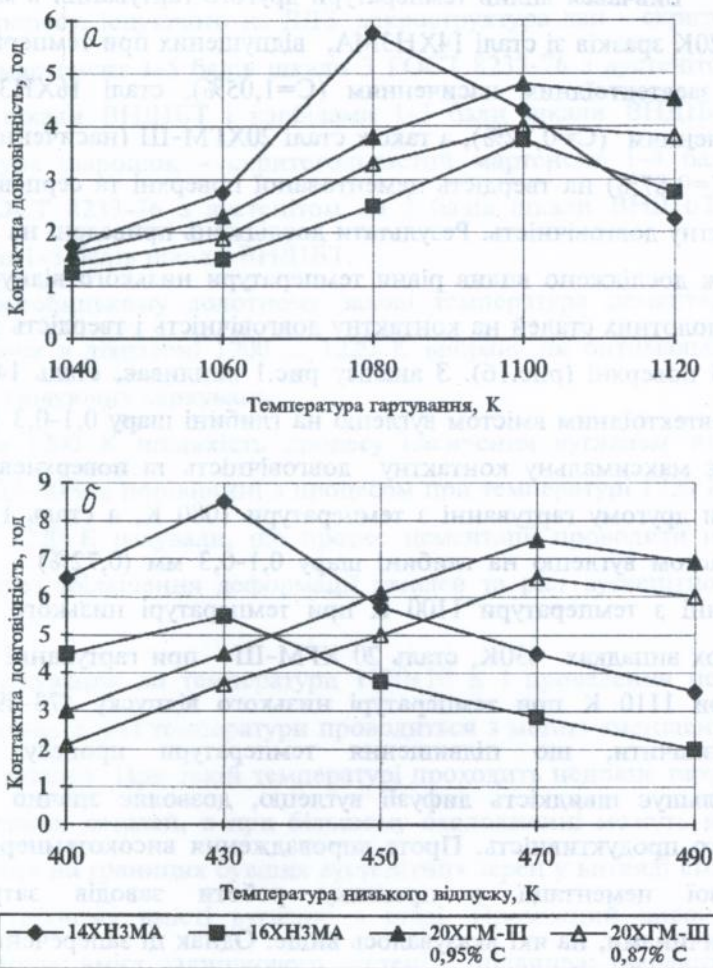


Рис.1. Вплив температури гартування і низького відпуску на контактну довговічність долотних сталей

Проте одне з основних заперечень залишається в силі - це погіршення структури і механічних властивостей цементованих сталей. Питання про отримання доброякісної структури серцевини виробів і цементованого шару залежить від режиму цементації і наступного режиму термічної обробки. Від комплексу цих умов і буде залежати якість структури цементованого шару і серцевини та механічні властивості сталей.

Нами встановлено, що підвищення температури цементації досліджуваних сталей до 1320 К не погіршує показників зносостійкості деталей бурових доліт порівняно з цементацією при звичайно прийнятій температурі. Проведені випробовування механічних властивостей зразків, цементованих при підвищеній температурі, також дали позитивні результати і приведені в третьому розділі роботи. Такі комплексні дослідження дали можливість перейти заводу на проведення цементації деталей бурових доліт при температурі 1320 К, чим значно підвищилась продуктивність цього процесу.

Третій розділ присвячений дослідженню та порівняльній оцінці механічних властивостей долотних сталей, цементованих при 1320 К. Результатами механічних випробувань на розтяг, згин, кручення, ударну в'язкість, в'язкість руйнування і втомну міцність доведено, що підвищення температури цементації долотних сталей до 1320 К змінює ці характеристики в допустимих межах (їх механічні властивості відповідають вимогам технологічного процесу). Аналіз температурних залежностей границі міцності та пластичності при крученні показав, що нецементована сталь 20ХГМ-Ш більш схильна до крихкого руйнування, ніж сталь 14ХНЗМА. Крижков'язкий перехід (КВП) сталі 14ХНЗМА зсунений в сторону більш низьких температур порівняно з сталлю 20ХГМ-Ш. Цементація зразків нівелює різницю КВП обох сталей. Характер температурних

кривих міцності та пластичності всіх цементованих зразків практично не відрізняється, а їх верхні та нижні пороги холодноламкості співпадають (рис.2).

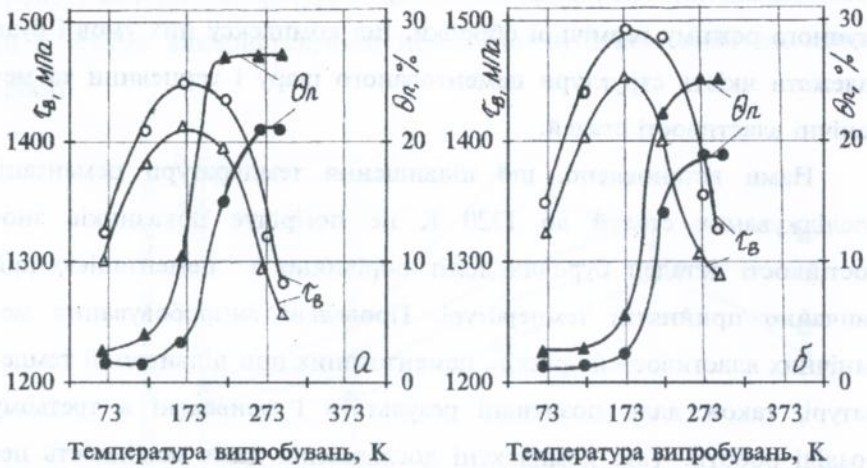


Рис.2 Вплив цементованого шару на КВП в сталях 14ХНЗМА (а) і 20ХГМ-Ш (б): \circ -цементовані зразки; Δ - нецементовані зразки.

Четвертий розділ присвячений вивченню тріщиностійкості цементованих деталей бурових доліт. Це питання на сьогоднішній день практично не досліджувалось в зв'язку з відсутністю такої методики для цементованих сталей. Показано, що в'язкість руйнування цементованих деталей можна оцінювати через осереднені значення критичного коефіцієнту інтенсивності напружень K_{Ic}^{oc} . При дослідженні використовували балочні зразки прямокутного перерізу з односторонньою тріщиною при їх випробовуваннях по схемі чотирьохточкового згину, а також циліндричні зразки з сегментоподібним концентратором, які найбільш повно імітують роботу цапфи бурового долота, по схемі чотирьохточкового згину.

Поверхнєве зміцнення деталей звичайно пов'язане з

підвищенням твердості і крихкості поверхневих шарів. Це має місце при нанесенні різного роду дифузійних покриттів, зокрема, при цементації бурових доліт. Показано, що змінена в результаті цементації структура, а, отже, і механічні властивості поверхневих шарів сталених виробів сильно знижують опір поширенню в них тріщин.

Для зразків прямокутного перерізу запропонована аналітична оцінка рівня в'язкості руйнування цементованих виробів з врахуванням геометричних розмірів зразків і глибини зміненого поверхневого шару:

$$K_{Ic}^{oc}(h, B) = \ln \left(1 + e^{K_{Ic} \frac{qh(B+\alpha, 1)}{B(B+\alpha)} - 22} \right) + 22, \quad (1)$$

де h - глибина цементованого шару, мм; B - ширина балочного зразка, мм.

В цьому розв'язку параметри K_{Ic} , q та α залежать від марки сталі та від виду її термообробки.

В результаті досліджень в'язкості руйнування балочних зразків різної товщини, виготовлених з долотних сталей 14ХН3МА і 20ХГМ-Ш, встановлені значення глибини цементованого шару, при досягненні яких рівень в'язкості руйнування зразків із сталі 20ХГМ-Ш стає вищим, ніж у зразків, виготовлених зі сталі 14ХН3МА (при цьому порівнянні зразки, виготовлені зі сталі 20ХГМ-Ш мали більші розміри, ніж зі сталі 14ХН3МА) (рис.3). Аналогічні результати були отримані і на циліндричних зразках. Отримані дані дали можливість запропонувати сталь 20ХГМ-Ш для виробництва крупногабаритних деталей бурових доліт. Була виготовлена дослідна партія доліт з цієї сталі в кількості 150 штук. Розрахунки за формулою (1) дали змогу визначити область доцільного використання сталі 20ХГМ-Ш. Випробовуваннями на тріщиностійкість також встановлено, що підвищення температури

цементатії з 1220 К до 1320 К веде до деякого росту параметру K_{Ic}^{oc} , що зумовлено збільшенням зони пластичної деформації в вершині тріщини.

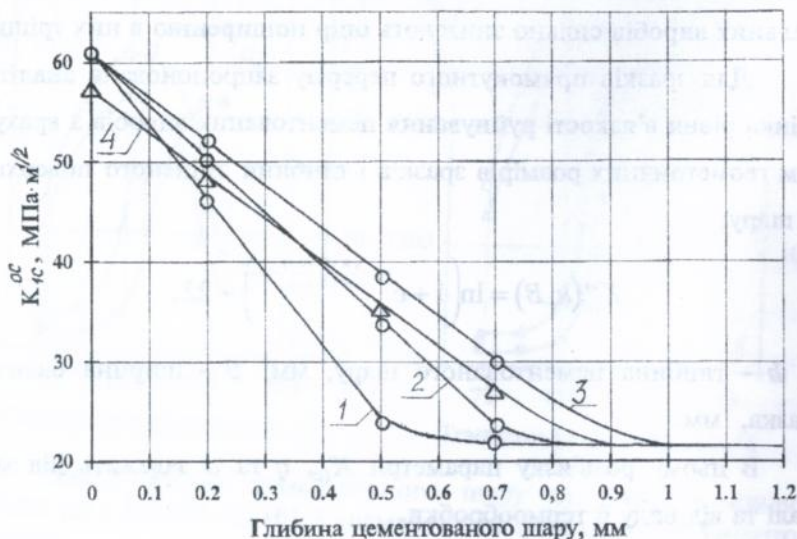


Рис.3 Зміна K_{Ic}^{oc} сталей 14ХН3МА та 20ХГМ-Ш в залежності від глибини цементованого шару: 1-зразок товщиною 12 мм; 2 - 15 мм; 3- 18 мм (сталь 14ХН3МА); 4- 18 мм (сталь 20ХГМ-Ш).

З метою повного вивчення картини поведінки сталі 20ХГМ-Ш в різних умовах експлуатації досліджували вплив рідких робочих середовищ на опір поширенню тріщини в умовах короткочасного навантаження. Встановлено, що розчин олеїнової кислоти зменшує δ_x для зразків, відпущених при 473К, на 15%, а дистильована вода - на 24%. Ці явища мають велике практичне значення, так як деталі бурових доліт мають саме таку структуру. З підвищенням температури відпуску вплив середовища слабне.

В п'ятому розділі розглянуто вплив тріщиностійкості цементованих шарошок на надійність з'єднання корпус шарошки - зубок та

запропоновані методи підвищення ефективності цього з'єднання. Зі збільшенням натягу при запресовці зростає концентрація напружень в пресовому з'єднанні зубок-корпус шарошки, що викликає появу тріщин в цементованому шарі, а, отже, веде до зменшення довговічності як шарошки, так і озброєння. В процесі взаємодії з поро- дою зубки сприймають складні навантаження, які ще збільшують концентрацію напружень, розрихлюють цементований шар і випа- дають.

Існуючі методи запресовки або пайки твердосплавних зубків не забезпечують надійного їх кріплення в тілі шарошки. До 25% зубків в процесі буріння випадають з тіла шарошки і знижують дов- говічність доліт. Тому питання ефективного кріплення зубків в кор- пусі шарошок є на сьогоднішній день дуже актуальним.

Для забезпечення міцності спряжених деталей виконують розрахунок найбільшого допустимого тиску в з'єднанні $P_{\text{доп}}$. Згідно теорії найбільших дотичних напружень, яка найбільш близько відповідає експериментальним даним, умова міцності деталей поля- гає в відсутності пластичної деформації на контактних поверхнях от- ворі і валу:

$$P_{\text{доп}} \leq 0,58\sigma_{0,2}, \quad (2)$$

де $\sigma_{0,2}$ - границя текучості матеріалу цементованого шару.

Розрахунки показали, що $P_{\text{доп}} \leq 1044$ МПа. Експлуатаційний тиск не повинен перевищувати допустимий, тому що при пластичному де- формованні матеріалу зубків та корпусу шарошки знижується несуча здатність з'єднання, особливо в умовах динамічного навантаження. Аналіз пресового з'єднання зубок - тіло шарошки, яке складалось на ДДЗ із шарошки з отворами $\varnothing 10^{+0,055}$ та зубків $\varnothing 10,14_{-0,027}$ показав, що натяги в з'єднанні змінювались від $N_{\text{max}}=0,14$ до $N_{\text{min}}=0,058$ мм. При розрахунку контактних тисків на спряжених поверхнях деталей

за формулою Ляме встановлено, що при складанні з максимальним натягом контактний тиск $p_k = 1400$ МПа значно перевищує допустимий $p_{\text{доп}} = 1044$ МПа, що є неприпустимим. В такій ситуації в цементованому шарі шарошки почнуть виникати тріщини ще в процесі запресовки. Щоб уникнути цього явища, пропонується селективне складання пресового з'єднання зубок-корпус шарошки, в результаті чого забезпечуються оптимальні натяги в з'єднанні 0,1 мм.

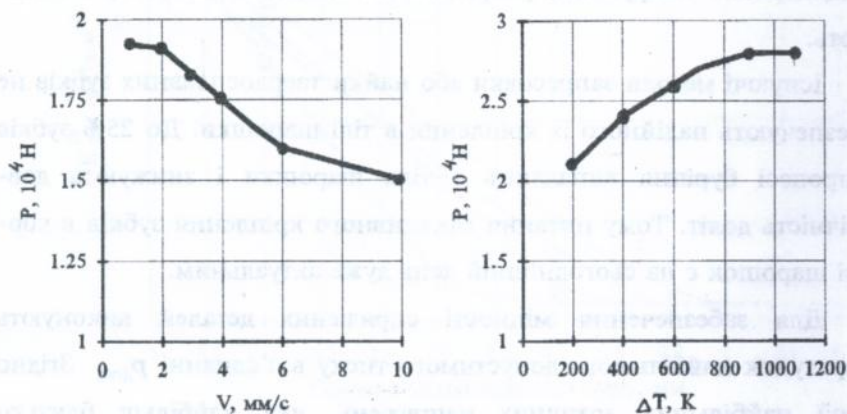


Рис. 4. Залежність зусилля розпресовки від швидкості запресовки (а), перепаду температур корпусу і шарошки при їх складанні (б).

Досліджувались основні технологічні фактори, які впливають на міцність і довговічність пресового з'єднання зубок - корпус шарошки. Спостерігається підвищення міцності цього з'єднання на ~30% при порівняно невеликих швидкостях (1...3 мм/с) (рис.4а). В 1,2-1,5 разів збільшується його несуча здатність при застосуванні теплового складання (рис.4б). Це пояснюється тим, що при зборці під пресом мікронерівності зминаються, в той час як при теплового складанні вони, змикаючись, заходять одне в одне, що підвищує коефіцієнт тертя та міцність зчеплення. Процес складання був здійснений на ДДЗ при охолодженні зубків до температури рідкого

азоту 77 К і нагріві шарошки до 990 К. При найбільшій шорсткості отворів (найменші затрати на виробництво шарошок) була отримана найвища міцність з'єднання. Як видно з даних, представлених на рис.5, міцність з'єднання зростає майже в 2 рази.

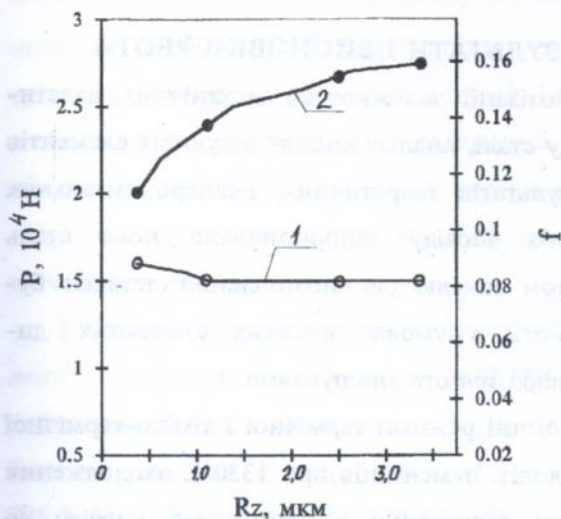


Рис. 5. Залежність зусилля розпесовки і коефіцієнта тертя від шорсткості отворів шарошки: 1 - складання методом напресовки; 2 - складання методом нагріву шарошки та охолодження валу.

Ефект підвищення міцності пресових з'єднань можна отримувати і при менших перепадах температур ΔT , але в цих випадках необхідно проводити механічну запресовку (рис.46).

Хоча міцність пресового з'єднання із зменшенням перепаду температур дещо падає, однак залишається вищою навіть при найменшому перепаді 200 К (\approx на 47%), ніж при звичайній механічній запресовці.

Обмежує можливості утворення міцного пресового з'єднання і велика різниця механічних властивостей матеріалів твердосплавних зубків та сталюого корпусу шарошки. З метою досягнення однорідності матеріалів в зоні спряження та економії дефіцитного твердого сплаву запропонована конструкція комбінованого зубка з сталюю кріпильною частиною, робочою - твердосплавною, та пе-

рехідною між ними з плавною зміною концентрацій з'єднаних матеріалів.

Розроблений метод оцінки в'язкості руйнування твердосплавного озброєння бурових доліт, який дає можливість визначати параметри K_{Ic} твердих сплавів без нанесення на зразках втомних тріщин.

ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ І ВИСНОВКИ РОБОТИ

1. В результаті оптимізації залежностей механічних властивостей від хімічного складу сталі, аналізу впливу легуючих елементів на властивості сталі, результатів теоретичних, експериментальних досліджень і практичного досвіду запропонована нова сталь 20ХГМ-Ш з малим вмістом нікелю для виготовлення деталей бурових доліт, що працюють в умовах високих статичних і динамічних навантажень та абразивного зношування.

2. Розроблені технологічні режими термічної і хіміко-термічної обробки деталей бурових доліт: цементация при 1320К, охолодження до кімнатної температури, гартування з повторного нагріву до 1070К. Рекомендований низький відпуск для сталі 20ХГМ-Ш - 473К, для сталей 14ХНЗМА- 435К. Підвищення температури цементации з 1220 К до 1320 К, не погіршуючи показників зносостійкості деталей бурових доліт, дозволило значно підвищити продуктивність цього процесу на ДДЗ. Встановлені оптимальні значення поверхневої концентрації вуглецю в цементованому шарі та профіль його розподілу: рівень твердості бігових доріжок цапф лап HRC_s , 59...63, шарошок HRC_s , 58...62; твердість на 1/2 глибини шару лап і шарошок повинна бути $\geq 56 HRC_s$.

3. Результатами механічних випробувань на розтяг, згин, кручення, ударну в'язкість, в'язкість руйнування і втомну міцність доведено, що підвищення температури цементации долотних сталей до 1320 К змінює ці характеристики в допустимих межах (їх ме-

ханічні властивості відповідають вимогам технологічного процесу).

4. Розроблена методика оцінки тріщиностійкості цементованих сталених зразків, на базі якої вивчена в'язкість руйнування цементованих деталей бурових доліт. Їх властивості оцінювали осередненим значенням критичного коефіцієнту інтенсивності напружень K_{Ic}^{ce} . В практику роботи ДДЗ впроваджені розроблені методи оцінки тріщиностійкості цементованих деталей бурових доліт і твердосплавного озброєння. Для зразків прямокутного перерізу запропонована аналітична оцінка рівня в'язкості руйнування цементованих виробів з врахуванням геометричних розмірів зразків і глибини цементованого поверхневого шару.

В результаті досліджень в'язкості руйнування зразків, виготовлених з долотних сталей, сталь 20ХГМ-Ш запропонована для виробництва крупногабаритних деталей бурових доліт. На Дрогобицькому долотному заводі виготовлена дослідна партія доліт ПІ 295,3 МС-ГВ зі сталі 20ХГМ-Ш. Дана сталь рекомендована для серійного виробництва деталей бурових доліт великих розмірів.

5. Запропонований ряд оптимальних технологічних факторів для підвищення надійності з'єднання твердосплавний зубок - корпус шарошки. Зокрема, проведені на ДДЗ стендові випробування селективно складених доліт показали, що в них практично відсутнє випадання зубків, що значно підвищує їх надійність. Аналіз впливу технологічних факторів на довговічність озброєння показав, що найвищу міцність з'єднання зубок - отвір шарошки забезпечує їх селективне складання з використанням нагріву шарошки і охолодження зубків при шорсткості спряжених поверхонь $\sim R_{z3}$.

З метою підвищення надійності з'єднання вставний зубок-шарошка, а також економії дорогого твердого сплаву запропонована конструкція комбінованого зубка сталь - твердий сплав (заявка за-

реєстрована в науково-дослідному центрі патентної експертизи 3.01.1995 р. з наданням реєстраційного номеру № 95010071).

ОСНОВНІ ПУБЛІКАЦІЇ ПО ДИСЕРТАЦІЇ

1. Петрина Ю.Д., Боднарчук О.В., Дрогомирецький Я.М., Савчук Я.І. Аналітична оцінка в'язкості руйнування цементованих деталей доліт //Івано-Франківський державний технічний університет нафти і газу.-Івано-Франківськ,1996.-9 с.: Деп. в УкрНДІНТІ 29.04.1996, №1047-Ук. 96.

2. Боднарчук О.В. До питання про методику визначення в'язкості руйнування високоміцних конструкційних сталей //Тези доповіді науково-технічної конференції професорсько-викладацького складу ІФІНГ.- Івано-Франківськ, 1992.-С.68.

3. Петрина Ю.Д., Боднарчук Е.В. Исследование трещиностойкости балочных образцов в зависимости от структурного состояния поверхностных слоев// Тезисы доклада конференции "Технические средства, методы расчета прочностных характеристик, технологии, обеспечивающие надежность и долговечность деталей и конструкций из новых материалов в машиностроительной, горнодобывающей и нефтегазовой промышленности".-Комсомольск-на-Амуре, 1993.-С.36-37.

4. Петрина Ю.Д., Боднарчук О.В. Визначення в'язкості руйнування цементованих циліндричних зразків з сегментоподібним концентратором// Тези доповіді науково-технічної конференції професорсько-викладацького складу університету, 2 частина.-Івано-Франківськ, 1995.-С.4.

5. Боднарчук О.В. Дослідження механічних властивостей цементованих долотних сталей // Тези доповіді науково-технічної конференції професорсько-викладацького складу університету, 2

частина.-Івано-Франківськ, 1995.- С.14.

6. Петрина Ю.Д., Боднарчук О.В., Сисак Р.Д. Про розподіл контактних напружень в з'єднанні вставний зубок-шарошка// Тези науково-технічної конференції професорсько-викладацького складу університету, II частина. - Івано-Франківськ, 1996.- С.72.

7. Боднарчук О.В. Вплив цементованого шару на довговічність деталей бурових доліт, виготовлених з сталі 20ХГМ-Ш // Тези науково-технічної конференції професорсько-викладацького складу університету, II частина. - Івано-Франківськ, 1996.- С.86.

Боднарчук О.В. Работоспособность и способы повышения долговечности цементованных деталей буровых долот.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.15.07-машины и агрегаты нефтяной и газовой промышленности (рукопись).

Ивано-Франковский государственный технический университет нефти и газа, Ивано-Франковск, 1996.

В диссертации представлены результаты исследований по разработке новых комплекснолегированных долотных сталей с малым содержанием никеля. Предложена сталь 20ХГМ-Ш и оптимальные режимы ее химико-термической обработки. Результаты механических испытаний доказано, что долота, изготовленные из этой стали удовлетворяют существующим требованиям к ним. Исследования на трещиностойкость цементованной стали 20ХГМ-Ш показали целесообразность ее применения для изготовления крупногабаритных деталей буровых долот. Предложен ряд технологических факторов для повышения эффективности соединения твердосплавной зубок-корпус шарошки. Результаты работы внедрены в производство.

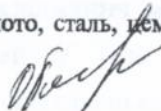
Bodnarchuk O.V. Workability and methods of cemented drilling bit parts life-time increasing.

Scientific degree thesis of technical sciences candidate speciality 05.15.07- "Machines and Units of Oil and Gas Industry" , Ivano-Frankivsk State Technical University of Oil and Gas, Ivano-Frankisk, 1996.

The thesis contains the results of new bit complex-alloy steel with low nickel content elaboration. The optimal technological regimes of drilling bit parts chemical-thermal treatment from new steel are offered. Fracture toughness K_{Ic} of steel alloys has been studied. New steel is proposed for making large drilling bit parts. Number of technological factors for tooth-cone junction reliability increasing is proposed.

The results of work are inculcated in industry.

Ключові слова: бурове долото, сталь, цементация, тріщиностійкість, крихке руйнування, довговічність.



Підписано до друку 30.05.96 Формат паперу 60x84 1/16
Друк. аркушів 1.0 Тираж 100 Зам. 127
Віддруковано на різнографі.

ДООП Івано-Франківського державного технічного університету нафти і газу
284018, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15

AB 35.155

AB 35.155

AB 35.155