

**Івано-Франківський державний технічний  
університет нафти і газу**

**На правах рукопису**

**ПЕТРИНА ЮРІЙ ДМИТРОВИЧ**

**РОЗРОБКА НАУКОВО-ПРИКЛАДНИХ ОСНОВ  
ПІДВИЩЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ БУРОВИХ ДОЛІТ  
ШЛЯХОМ РАЦІОНАЛЬНОГО ВИКОРИСТАННЯ  
МАТЕРІАЛІВ**

**Спеціальність 05.15.07 - машини і агрегати  
нафтової і газової промисловості**

**АВТОРЕФЕРАТ**

**дисертації на здобуття наукового ступеня  
доктора технічних наук**

**Івано-Франківськ - 1996**

Дисертацією є рукопис

Робота виконана в Івано-Франківському державному технічному університеті нафти і газу

Науковий консультант - доктор технічних наук, професор

БУГАЙ Юрій Миколайович

Офіційні опоненти:

1. Доктор технічних наук, професор  
БЛИК Сергій Федорович
2. Доктор технічних наук, професор  
ОГОРОДНИКОВ Петро Іванович
3. Доктор фізико-математичних наук, професор  
КУНИЦЬКИЙ Юрій Анатолійович

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

Захист відбудеться 17 жовтня 1996 р. о 10<sup>00</sup> 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 бібліотеці Івано-Франківського державного технічного університету нафти і газу за адресою:  
м. Івано-Франківськ, вул.Карпатська,15.

Автореферат розісланий "10" вересня 1996 р.

Вчений секретар спеціалізованої  
вченої ради



Л.С.Шлапак

ЛННБ України ім.В.Стефаника



00759946 (1)

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність і ступінь дослідженості теми.** Вирішення важливої державної проблеми забезпечення паливно-енергетичного комплексу сировиною вимагає для цієї галузі розробки і впровадження високоефективного устаткування. Техніко-економічні показники бурових робіт в значній мірі залежать від стійкості породоруйнуючих інструментів на вибої. Тому при розробці нових типів породоруйнуючих інструментів особлива увага приділяється питанням підвищення їх довговічності на всіх етапах створення, починаючи з конструювання і закінчуючи технологічним його забезпеченням і виготовленням. Вказані напрямки нерозривно зв'язані між собою, тому тільки комплексне вдосконалення всіх стадій створення породоруйнуючого інструменту може дати позитивний ефект.

Розвиток науково-технічного прогресу в області створення прогресивних видів породоруйнуючих бурових інструментів неможливий без раціонального застосування матеріалів для виготовлення доліт, а також обґрунтованості використання режимів термічної та хіміко-термічної обробки (ХТО). В останні роки накопичений великий статистичний матеріал із застосування конструкційних сталей в долотобудуванні. Проте аналіз цього матеріалу показує, що використання високоякісних сталей не має наукового обґрунтування і носить випадковий характер. Таке положення не дозволяє на науковій основі підходити до вибору та застосування зносостійких сталей, що негативно відбивається при виготовленні деталей бурових доліт, які працюють в умовах абразивного зношування.

Потрібно також мати на увазі, що для виробництва бурових доліт застосовують високоякісні леговані сталі з високим вмістом нікелю. Враховуючи дефіцит нікелю на Україні та їх високу вартість, одним з основних завдань сьогодення є створення нових долотних

сталей з пониженим вмістом нікелю.

На практиці деталі бурових доліт, як правило, піддаються одночасній дії зношування та зовнішнього силового навантаження, що приводить до втрати їх працездатності. Тому обґрунтований вибір сталей для виробництва деталей бурових доліт можливий тільки на основі комплексного вивчення закономірностей їх зношування і руйнування в різних умовах контактної взаємодії та зовнішнього силового навантаження.

Великий вклад в вивчення проблем, зв'язаних з процесами зношування деталей бурових доліт в різних умовах контактної взаємодії, внесли В.М.Виноградов, Г.М.Сорокін, Ю.М.Бугай, С.Ф.Білик, І.Ф.Вовчановський, П.І.Отгородніков, В.Я.Кершенбаум, К.А.Крилов, С.М.Бобров, Л.С.Лівшиц, В.І.Векерик та ін.

В публікаціях В.С.Іванової, С.В.Серенсена, Я.Б.Фрідмана, В.В.Панасюка, Г.В.Карпенка, А.О.Лебедева, О.М.Романіва, В.І.Похмурського, Бабея Ю.І., Є.І.Крижанівського, Г.М.Никифорчина та ін. відображені результати досліджень структурного стану сталі та загальних закономірностей руйнування в різних умовах зовнішнього силового навантаження.

Незважаючи на велику кількість досліджень, критерії вибору та застосування конструкційних сталей, особливо з точки зору одночасно високих показників зносостійкості та міцності, обґрунтовані недостатньо. Розробка таких критеріїв дозволить закласти основи застосування сталей в долотобудуванні, скоротити номенклатуру використовуваних сталей і підвищити довговічність деталей бурових доліт, які працюють в умовах одночасного впливу складного зовнішнього силового навантаження і абразивного зношування.

**Мета роботи.** Розробка теоретичних і прикладних основ підвищення довговічності бурових доліт за рахунок встановлення закономірностей зношування в різних умовах контактної взаємодії та

руйнування в різних умовах зовнішнього силового навантаження шляхом раціонального використання конструкційних матеріалів, що забезпечить поєднання високого опору зношуванню з опором комплексу інших видів навантаження.

### Основні завдання наукового дослідження.

1. Розробити концепцію забезпечення працездатності та підвищення довговічності бурових доліт раціональним вибором і застосуванням конструкційних матеріалів.

2. Сформулювати основні вимоги до властивостей конструкційних сталей, які необхідні для експлуатації в умовах роботи бурових доліт, оптимізувати їх хімічний склад і режими зміцнення.

3. Дослідити вплив поверхневих обробок деталей бурових доліт на рівень опору поширенню тріщини.

4. Провести широкий об'єм досліджень і дати наукове обґрунтування закономірностей абразивного зношування в різних умовах контактної взаємодії та руйнування в різних умовах зовнішнього силового навантаження високоміцних сталей.

5. Вивчити вплив технологічних факторів на надійність з'єднання "твердосплавний вставний зубок - корпус шарошки"; розробити метод оцінки в'язкості руйнування твердосплавного озброєння.

6. Провести цикл досліджень з визначення міцності зчеплення з основою, втомної міцності, зносостійкості плазмових покриттів на основі Fe-B з аморфною структурою з метою використання їх для поверхневої обробки деталей бурових доліт малих розмірів, які працюють в умовах тертя ковзання.

7. Розробити спосіб композиційного армування лопасних доліт у двох взаємоперпендикулярних площинах з використанням армуючих компонентів з різною питомою вагою.

8. Сконструювати і виготовити установки для отримання ком-

позиційноармованих лопасних доліт і їх випробувань на ударно-абразивну стійкість.

### Наукова новизна

1. Розроблена наукова концепція забезпечення працездатності та підвищення зносостійкості деталей бурових доліт шляхом застосування конструкційних матеріалів підвищеної зносостійкості, досягнутої оптимальним хімічним складом і раціональним вибором режимів зміцнення.

2. Визначені опорні, з точки зору зносостійкості, механічні властивості та встановлена їх кореляція із зносостійкістю конструкційних сталей і твердосплавного озброєння бурових доліт.

3. Показана доцільність застосування теоретичних підходів механіки руйнування для кількісного описання деяких аспектів руйнування деталей бурових доліт, в тому числі в присутності рідких робочих середовищ.

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

5. Вперше показана перспективність використання аморфізованих газотермічних покриттів на основі Fe-B для поверхневої обробки деталей бурових доліт малих розмірів, які працюють в умовах тертя ковзання.

6. Розроблений принципово новий спосіб композиційного армування, що дає можливість використати армуючі компоненти з різною питомою вагою; сконструйовано і виготовлено установку для лабораторних досліджень процесів композиційного армування в двох взаємоперпендикулярних площинах.

7. Розроблено методику випробувань на стійкість до ударно-абразивного зношування та сконструйовано і виготовлено установку, яка в значній мірі моделює умови роботи лопасних доліт в

свердловині.

### Теоретична і практична цінність досліджень

Проведено теоретичне узагальнення і рішення значної проблеми забезпечення працездатності та підвищення довговічності важконавантажених деталей бурових доліт, працюючих в умовах зношування і зовнішнього силового навантаження, за рахунок раціонального застосування конструкційних матеріалів і методів їх зміцнення. Для зразків прямокутного перерізу запропонована аналітична оцінка рівня в'язкості руйнування виробів з врахуванням геометричних розмірів зразків і глибини зміненого поверхневого шару. Використавши розв'язок задачі Ляме, отримали оптимальні величини розмірів пресової посадки "зубок-корпус шарошки". Створена математична модель процесу композиційного армування в двох взаємоперпендикулярних площинах.

Розроблена нова долотна комплекснолегована сталь 20ХГМ-Ш з пониженим вмістом нікелю. Запропонована методика вибору та створення конструкційних матеріалів підвищеної зносостійкості для виготовлення деталей бурових доліт, які працюють в важких умовах зовнішнього силового навантаження та зношування. Розроблені нові методи: створення тріщин на зразках, призначених для оцінки в'язкості руйнування; оцінки тріщиностійкості зразків із зміненими механічними властивостями поверхневих шарів і тврдосплавного озброєння; дослідження кінетики поширення тріщин в циліндричних зразках при циклічному навантаженні; статичних температурних випробувань гладких зразків при крученні та розтягу високоміцних сталей для порівняльної оцінки якості їх термічної обробки. Практичну цінність представляють дані про вплив складу покриттів і умов технології на об'ємний вміст аморфної фази, способи регулювання залишкових напружень аморфізованих газотермічних покриттів, технологічні режими одержання зносостійких

аморфізованих газотермічних покриттів на основі Fe-B з підвищеними характеристиками міцності. Розроблений спосіб композиційного армування лопасних доліт; сконструйовано і виготовлено установки для досліджень процесів композиційного армування та випробувань на стійкість до ударно-абразивного зношування.

#### Рівень реалізації і впровадження наукових розробок.

На Дрогобицькому долотному заводі (ДДЗ) виготовлена дослідна партія доліт III 295,3 МС-ГВ зі сталі 20ХГМ-Ш в кількості 150 штук. Використання запропонованої сталі здешевило вартість одного долота на 22570 тис.крб. (в цінах на 1.03.1996р.). Результати експериментальних досліджень і промислових випробувань дали можливість рекомендувати сталь 20ХГМ-Ш для серійного виробництва деталей великогабаритних бурових доліт. В практику роботи ДДЗ впроваджені запропоновані технологічні режими термічної та ХТО шарошок і лап, розроблені методи оцінки тріщиностійкості цементованих деталей бурових доліт і твердосплавного озброєння. Проведені на ДДЗ стендові випробування селективно складених доліт (згідно запропонованої в роботі методики) показали на їх ефективність порівняно з долотами серійного виготовлення. Впроваджений в практику розроблений спосіб оцінки якості термічної обробки високоміцних сталей. Економічний ефект від його використання в Івано-Франківському АТ "Промприлад" складає не менше 52 тис.крб. в рік (в цінах 1990 року). Промисловими випробуваннями підтверджена ефективність композиційного армування лопасних доліт і аморфізованих плазмових покриттів на основі Fe-B. Ряд наукових розробок впроваджено в навчальний процес Івано-Франківського державного технічного університету нафти і газу.

Публікації та апробація роботи. За матеріалами дисертації опубліковано 49 робіт. Результати доповідались на виїзній сесії відділу фізико-технічних проблем матеріалознавства і Південного

наукового центру НАН України (Одеса, 1972 р.); Всесоюзній конференції “Циклічна міцність і підвищення несучої здатності виробів” (Перм, 1978 р.); Всесоюзній конференції “Шляхи розвитку науково-технічного прогресу в нафтовій і газовій промисловості” (Грозний, 1986 р.); Всесоюзній конференції “Композиційні матеріали в породоруйнівних інструментах” (Івано-Франківськ, 1987 р.); науково-технічній конференції “Перспективи розвитку, вдосконалення конструкції і підвищення надійності бурового і нафтогазопромислового обладнання” (Перм, 1988 р.); науково-технічній конференції “Нові матеріали і ресурсозберігаючі технології термічної та хіміко-термічної обробки деталей машин та інструменту” (Пенза, 1990 р.); Всесоюзній нараді по приладобудуванню в області колоїдної хімії і фізико-хімічної механіки (Яремче, 1990 р.); міжнародній науково-технічній конференції “Технічні засоби, методи розрахунку характеристик міцності, технології, що забезпечують надійність і довговічність деталей і конструкцій з нових матеріалів в машинобудівній, гірничій та нафтогазовій промисловості” (Комсомольськ-на-Амурі, 1992); міжнародній конференції “Конструкційні та функціональні матеріали” (Львів, 1993 р.); міжнародному науково-технічному симпозиумі “Механіка будівельних конструкцій з нових матеріалів і проблеми практичного впровадження в виробництво” (Комсомольськ-на-Амурі, 1993 р.); міжнародній конференції “Міцність і надійність конструкцій нафтогазового обладнання” (Івано-Франківськ, 1994 р.); III Міжнародному симпозиумі “Некласичні проблеми теорії тонкостінних елементів конструкцій та фізико-хімічної механіки композиційних матеріалів” (Івано-Франківськ, 1995 р.) та ін.

**Особистий внесок автора в розробку наукових результатів.**

Основні результати дисертаційної роботи отримані автором самостійно. Зокрема: запропонована і досліджена нова долотна сталь

20ХГМ-Ш [23, 24, 34, 38]; проведені експерименти, обробка і аналіз результатів механічних випробувань конструкційних матеріалів і деталей бурових доліт [1-13, 15, 17-24, 31-38]; проаналізовані та узагальнені умови експлуатації та руйнування деталей бурових доліт з метою раціонального використання матеріалів для їх виготовлення [12-15, 18-24, 34, 36-38]; запропонований спосіб оцінки якості термічної обробки високоміцних сталей [9]; розроблена методика оцінки в'язкості руйнування деталей бурових доліт із зміненою структурою приповерхневих шарів і тврдосплавного озброєння [4, 25-28, 34, 35, 37]; запропоноване селективне складання бурових доліт [22, 36]; проведений динамічний аналіз руху гранул твердого сплаву в рідкому металі [16, 25] і здійснений підбір гранульованого армуючого елемента [25]; приймав участь в конструюванні та виготовленні пресформ для отримання оболонок під виливку армованих заготовок [26-28]; розроблені вузли кріплення опоки [29] та навантаження зразків, призначених для випробувань на ударно-абразивне зношування породоруйнуючого інструменту [30].

Характеристика методології, методу предмета дослідження і об'єкта. Робота присвячена вирішенню проблеми підвищення довговічності бурових доліт шляхом раціонального використання конструкційних матеріалів, що обумовило широке застосування експериментальних досліджень з використанням сучасних методів і обладнання для механічних випробувань, металографічних, хімічних, рентгеноструктурних і електроннофрактографічних досліджень з дотриманням стандартних методик. Розробка нових способів оцінки тріщиностійкості цементованих деталей бурових доліт і тврдосплавного озброєння базується на основних положеннях лінійної механіки руйнування. Сконструйована установка і запропонована методика випробувань армованих зразків на ударно-абразивну стійкість дозволяє в значній мірі наблизити умови випробувань до

реальних умов роботи лопасних доліт. В дослідженні використовувались загально визнані методи теорії ймовірностей, математичної статистики, диференціальних рівнянь в частинних похідних. В створенні математичних моделей процесу композиційного армування застосовувався апарат теоретичної механіки, векторної алгебри та диференційного числення. Результати оброблювались на персональних ЕОМ за стандартними методиками.

Структура і обсяг роботи. Дисертація складається зі вступу, восьми розділів, загальних висновків, бібліографічного списку літератури з 299 найменуваннями та додатків, містить 356 сторінок, включаючи 115 рисунків та 28 таблиць.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ ДИСЕРТАЦІЇ

У вступі обґрунтовується актуальність теми дисертаційної роботи, визначається наукова новизна та практична цінність отриманих результатів досліджень і подається її анотація.

В першому розділі виконаний короткий аналіз особливостей зношування та руйнування деталей бурових доліт. Основними факторами, що визначають умови роботи доліт, є велике статичне та динамічне осьове навантаження, дія агресивних і абразивних середовищ, високі контактні температури та швидкості. Аналіз умов роботи, зношування та руйнування бурових доліт дозволив визначити причини і основні види втрат їх працездатності. Основною причиною недостатньо високої довговічності бурових доліт є зношування їх елементів, що часто приводить до руйнування. Тому для виготовлення цих деталей застосовують високоякісні дорогі конструкційні матеріали, які містять дефіцитні легуючі елементи. Однак це, все-таки, не дозволяє забезпечити достатньо високу довговічність бурильного інструменту. Специфіка зношування та руйнування деталей бурових доліт обумовлена їх зовнішнім силовим на-

вантаженням в процесі роботи. Різноманітність видів зношування та руйнування визначає відмінність в критеріях зносостійкості.

Підвищенню зносостійкості бурових доліт сприяють поверхневі зміцнення (цементация, композиційне армування). Проте застосування цементованих сталей не приводить до суттєвого росту довговічності та ефективності роботи бурових доліт. Звернуто увагу на те, що цементация різко підвищує чутливість конструкцій до крихкого руйнування. В зв'язку з цим намітилась тенденція заміни цементованих сталей високоміцними, застосування яких позитивно відбивається на зносостійкості в різних умовах контактної взаємодії.

Використання нецементованих сталей можливе тільки після проведення комплексу досліджень, направлених на вирішення проблеми підвищення довговічності та ефективності конкретної конструкції. Надійність і довговічність конструкцій зв'язані з схильністю їх матеріалів до крихкого руйнування. Тому значна увага дослідників направлена на вивчення закономірностей крихкого руйнування і розробку критеріїв і методів оцінки механічної надійності матеріалів. Висвітлені два підходи до оцінки схильності конструкційних матеріалів до крихкого руйнування. Перший з них базується на традиційному аспекті холодноламкості, другий - на підході з позицій опору поширенню тріщини (в'язкості руйнування).

Тільки на основі вивчення закономірностей зношування та руйнування конструкційних матеріалів, встановлення критеріїв їх довговічності в різних умовах зовнішнього силового навантаження можна сформулювати основні вимоги до матеріалів для виготовлення деталей бурових доліт. Ці передумови і визначили основні завдання наукового дослідження.

В другому розділі відзначається, що заслуговують уваги роботи про вплив комплексного легування долотних сталей на їх фізико-механічні властивості та довговічність бурових доліт. З метою зде-

певлення бурових доліт і економії дефіцитних матеріалів проводяться широкі наукові дослідження з розробки низьколегованих нікелем і безнікелевих долотних сталей. Дослідження залежностей між структурою, механічними властивостями та зносостійкістю привели до створення математичних моделей, з допомогою яких можна керувати механічними властивостями цілеспрямованим підбором хімічного складу сталей. В результаті аналізу даних залежностей, експериментальних досліджень і практичного досвіду розв'язано важливу народно-господарську проблему: запропонована нова сталь 20ХГМ-Ш з пониженим вмістом нікелю для виготовлення деталей бурових доліт, що працюють в умовах одночасної дії високих зовнішніх навантажень та абразивного зношування (таблиця).

Таблиця

## Хімічний склад сталі 20ХГМ-Ш

№ плавки	Вміст елементів, %											
	C	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

Виправку сталі проводили на заводі "Дніпроспецсталь". Дослідження оптимальних режимів термічної та ХТО нової сталі 20ХГМ-Ш проводилось паралельно з серійно використовуваними на ДДЗ сталями 14ХНЗМА та 16ХНЗМА.

Показано, що контактна довговічність при терті кочення з проковзуванням залежить від поверхневої твердості, глибини шару, градієнту твердості по глибині шару, концентрації вуглецю та профілю його розподілу, мікроструктури шару, а також міцності та твердості серцевини. Встановлено, що для лап і шарошок, виготов-

лених зі сталей 14ХНЗМА та 16ХНЗМА, поверхнева концентрація вуглецю після шліфування повинна бути в межах 0.85-1.05%, а на бігових доріжках шарошок - 0.7-0.9%. 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 ХТО (до шліфування) на глибині 0.1-0.3мм від поверхні повинна бути: для лап 0.75-1.05%; для шарошок 0.60-0.85%.

Практика експлуатації доліт з твердосплавним озброєнням свідчить, що твердість серцевини шарошок нижче 35 HRC<sub>э</sub> веде до випадіння твердосплавних зубків, вище 45 HRC<sub>э</sub> - до руйнування шарошок в тонкому перерізі. Враховуючи результати досліджень та стендових випробувань, рекомендовано рівень твердості бігових доріжок цапф лап HRC<sub>э</sub> 59...63, шарошок HRC<sub>э</sub> 58...62; твердість на 1/2 глибини шару лап і шарошок повинна бути  $\geq 56$  HRC<sub>э</sub>, що визначає необхідний профіль твердості по глибині цементованого шару. Встановлено, що твердість цементованої поверхні та перепад її по глибині шару в значній мірі визначаються режимами ХТО і залежать, перш за все, від степені насиченості вуглецем, профілю його розподілу по глибині шару, обраної схеми ХТО деталей, інтенсивності охолодження при проведенні кінцевого гартування.

Враховуючи викладені вище фактори розроблені технологічні режими термічної та ХТО деталей бурових доліт: цементация при 1320 К, охолодження до кімнатної температури, гартування з повторного нагріву. Друге кінцеве гартування дає можливість отримати необхідну твердість і мікроструктуру працездатного цементованого шару, міцність і в'язкість серцевини деталей бурових доліт. Це залежить від правильно вибраних температурних режимів другого гартування та наступного відпуску. З аналізу рис.1 випливає, що сталь

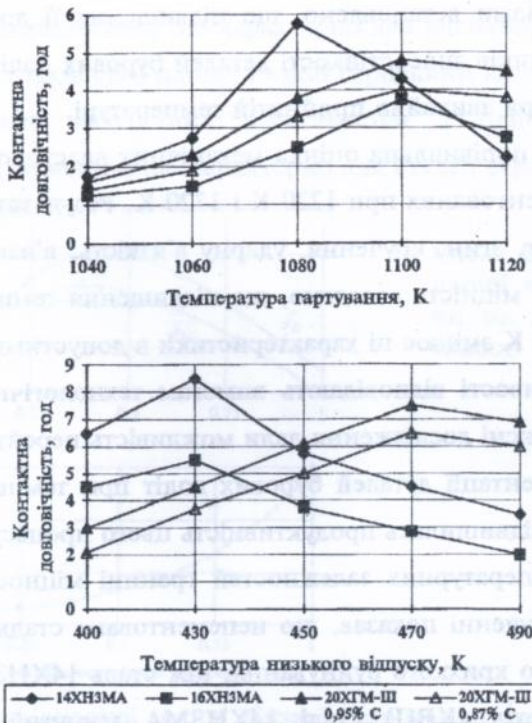


Рис.1. Вплив температури гартування і низького відпуску на контактну довговічність долатних сталей

14ХНЗМА з вмістом вуглецю 1,05% на глибині шару 0,1-0,3 мм має максимальну контактну довговічність та поверхневу твердість при другому гартуванні з температури 1080 К, а сталь 16ХНЗМА з вмістом вуглецю 0,72% на глибині шару 0,1-0,3мм - при гартуванні з температури 1100 К при температурі низького відпуску в обох випадках 430 К, сталь 20ХГМ-Ш - при гартуванні з температури 1100 К при температурі низького відпуску 470 К. Слід відзначити, що при дослідженні мікроструктур деталей доліт, виготовлених із сталі 20ХГМ-Ш, встановлена їх повна відповідність вимогам технологічного процесу, які розроблені ВНДІБТ і використовуюються на ДДЗ. На ДДЗ температура цементації лап і шарошок була в діапазоні

1200...1220 К. Нами встановлено, що підвищення її до 1320 К не погіршує показників зносостійкості деталей бурових доліт порівняно з цементацією при звичайно прийнятій температурі.

Проведена порівняльна оцінка механічних властивостей долотних сталей, цементованих при 1220 К і 1320 К. Результатами випробувань на розтяг, згин, кручення, ударну в'язкість, в'язкість руйнування та втомну міцність доведено, що підвищення температури цементації до 1320 К змінює ці характеристики в допустимих межах (їх механічні властивості відповідають вимогам технологічного процесу). Такі комплексні дослідження дали можливість перейти заводу на проведення цементації деталей бурових доліт при температурі 1320 К, чим значно підвищилась продуктивність цього процесу.

Аналіз температурних залежностей границі міцності та пластичності при крученні показав, що нецементована сталь 20ХГМ-Ш більш схильна до крихкого руйнування, ніж сталь 14ХНЗМА. Крихко-в'язкий перехід (КВП) сталі 14ХНЗМА зсунутий в сторону нижчих температур порівняно з сталлю 20ХГМ-Ш. Цементация зразків нівелює різницю КВП обох сталей.

Вплив глибини цементованого шару на міцність та пластичність при розтягу носить складний характер (рис.2). Для оцінки впливу глибини цементації на механічні властивості зразків використали запропонований С.М.Бобровим коефіцієнт, який враховує геометричні розміри зразка - відносну площу в'язкої серцевини. Цей показник визначається відношенням площі нецементованої серцевини до всієї площі зразка в площині руйнування.

Встановлено, що максимальні значення границі міцності та границі текучості відповідають відносній площі в'язкої серцевини в межах 0,40...0,50 (рис.2). При інших значеннях відносної площі в'язкої серцевини ці параметри падають. При випробуваннях зразків з відносною площею в'язкої серцевини меншою за 0,25 руйнування

проходить в області пружних деформацій без помітних слідів пластичного деформування, що характерно для високовуглецевих сталей. Підвищення відносної площі в'язкої серцевини вище 0,50 приводить до зниження механічних властивостей з одночасним ростом відносного звуження, що характерно для сталей середньої міцності.

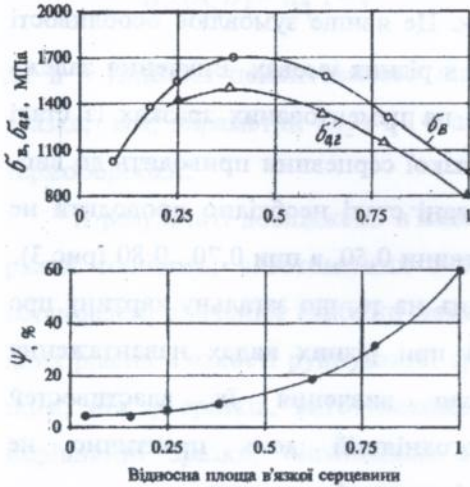


Рис.2 Вплив відносної площі в'язкої серцевини на механічні властивості сталі 14ХН3МА

Вплив відносної площі в'язкої серцевини на ударну в'язкість приведений на рис.3. Цей параметр найсильніше залежить від цементації зразків: насичення поверхневих шарів вуглецем навіть на незначну глибину викликає суттєве зниження ударної в'язкості.



Рис.3 Вплив відносної площі в'язкої серцевини на ударну в'язкість і роботу поширення тріщини сталі 14ХН3МА

При відносній площі в'язкої серцевини меншій 0,50 застосовувати поверхнєве зміцнення недоцільно, так як це приводить до

різкого спаду характеристик міцності, пластичності та ударної в'язкості. В цьому випадку краще переходити на нецементовані сталі.

Показано, що руйнування цементованих сталей має свої особливості. Дослідження зломів при невеликих збільшеннях виявили тріщини, які беруть початок в перехідній зоні, незалежно від виду навантаження при випробуваннях. Це явище зумовлює особливості руйнування цементованих сталей в різних умовах. Вивчення залежності роботи поширення тріщин на цементованих зразках із сталі 14ХНЗМА від відносної площі в'язкої серцевини приводить до висновку, що перехід на нецементовані сталі необхідно проводити не при відносній площі в'язкої серцевини 0,50, а при 0,70...0,80 (рис.3).

Приведені вище дані вказують на те, що загальну картину про поведінку цементованих деталей при різних видах навантаження можна отримати тільки після вивчення їх властивостей тріщиностійкості, які на сьогоднішній день практично не досліджувались в зв'язку з відсутністю такої методики.

Вплив в'язкості руйнування на працездатність цементованих деталей бурових доліт досліджений в третьому розділі роботи. Аналізом діаграм руйнування, виду зломів цементованих і знеуглецьованих зразків з тріщинами, а також використанням основних залежностей лінійної механіки руйнування показано, що в'язкість руйнування зразків із зміненою приповерхневою структурою можна оцінювати через осереднені значення критичного коефіцієнту інтенсивності напружень  $K_{Ic}$ . Механічні випробування проводили по схемі чотирьохточкового згину на балочних зразках прямокутного перерізу з односторонньою тріщиною і циліндричних зразках з сегментоподібним концентратором, в вершині якого наводили втомну тріщину. Останні повніше відтворюють роботу цапфи бурового долота. Цементация бурових доліт пов'язана з підвищенням твердості та зниженням пластичності поверхневих шарів. Показано, що ці

зміни 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 приповерхневого шару:

$$K_{Ic}^{\alpha}(h, B) = \ln \left( 1 + e^{\frac{K_{Ic} \cdot q \cdot h \cdot (B+0,1)}{B \cdot (B+\alpha)} - 22} \right) + 22, \quad (1)$$

де  $h$  - глибина цементованого шару, мм;  $B$  - ширина балочного зразка, мм; параметри  $K_{Ic}$ ,  $q$  і  $\alpha$  залежать від марки сталі та виду її термообробки.

В результаті досліджень в'язкості руйнування балочних зразків різної товщини, виготовлених з сталей 14ХНЗМА 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 із сталі 14ХНЗМА (при цьому порівнянні зразки, виготовлені з сталі 20ХГМ-Ш мали більші розміри, ніж із сталі 14ХНЗМА ) (рис.4).

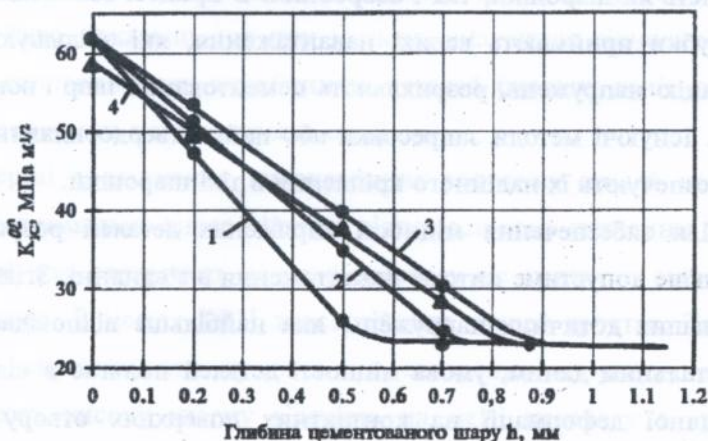


Рис.4 Зміна  $K_{Ic}^{\alpha}$  сталей 14ХНЗМА та 20ХГМ-Ш залежно від глибини цементованого шару: 1-зразок товщиною 12 мм; 2 - 15 мм; 3- 18 мм (сталі 14ХНЗМА); 4- 18 мм (сталі 20ХГМ-Ш).

Аналогічні результати були отримані і на циліндричних зразках. Це дало можливість запропонувати сталь 20ХГМ-Ш для виробництва великогабаритних деталей бурових доліт. Область доцільного використання сталі 20ХГМ-Ш можна встановити за формулою (1). Випробуваннями на тріщиностійкість підтверджена ефективність підвищення температури цементації з 1220 К до 1320 К.

Для повного вивчення картини поведінки сталі 20ХГМ-Ш в різних умовах експлуатації досліджували вплив рідких робочих середовищ на опір поширенню тріщини в умовах короточасного навантаження. Встановлено, що вода знижує тріщиностійкість зразків, відпущених при 473 К, на ~24%.

Тріщиностійкість цементованих шарошок має значний вплив на надійність з'єднання "корпус шарошки - зубок". Із збільшенням натягу при запресовці в пресовому з'єднанні "зубок - корпус шарошки" зростає концентрація напружень, що приводить до появи тріщин в цементованому шарі, а це, в свою чергу, зменшує довговічність як шарошки, так і озброєння. В процесі взаємодії з породою зубки приймають великі навантаження, які збільшують концентрацію напружень, розрихлюють цементований шар і вони випадають. Існуючі методи запресовки або пайки твердосплавних зубків не забезпечують їх надійного кріплення в тілі шарошки.

Для забезпечення міцності спряжених деталей розраховують найбільше допустиме питоме навантаження в з'єднанні. Згідно теорії найбільших дотичних напружень, яка найбільше відповідає експериментальним даним, умова міцності деталей полягає в відсутності пластичної деформації на контактних поверхнях отвору і валу. Аналіз пресових з'єднань "зубок - тіло шарошки", які склалися на ДДЗ із шарошок з отворами  $\varnothing 10^{+0,055}$  та зубків  $\varnothing 10,14_{-0,027}$  встановив, що натяги в з'єднаннях змінювались від  $N_{max}=0,14$  до  $N_{min}=0,058$  мм. Підрахунки, проведені за формулою Ляме, показали,

що при складанні з максимальним натягом питоме навантаження перевищує допустиме на 40%. 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 в з'єднаннях забезпечуються оптимальні натяги 0,1 мм.

Досліджувався вплив основних технологічних факторів на міцність і довговічність пресового з'єднання "зубок-корпус шарошки". Встановлено, що найвищу міцність з'єднання "зубок-отвір шарошки" забезпечує їх селективне складання з використанням нагріву шарошки і охолодження зубків при шорсткості отворів в шарошках  $\sim R_z3$ . Це пояснюється тим, що при складанні під пресом мікронерівності зминаються, тоді як при тепловому складанні вони, змикаючись при кімнатній температурі, заходять одна в одну, що підвищує коефіцієнт тертя та міцність зчеплення.

**Четвертий розділ** присвячений дослідженню впливу холодноламкості сталей на довговічність бурових доліт. В другому розділі роботи було показано, що при низьких значеннях відносної площі в'язкої серцевини для виробництва деталей бурових доліт доцільно використовувати нецементовані сталі.

Перші дослідження високоміцних долотних сталей показали, що їх максимальна зносостійкість відповідає тому значенню ударної в'язкості, яке отримують на межі переходу від крихкого руйнування до в'язкого. В межах КВП зносостійкість сталей зростає. Тому необхідно спрямовувати зусилля на створення структур, що забезпечують високу ударну в'язкість на межі переходу з крихкого руйнування у в'язке. Однак положення КВП залежить не тільки від структурних факторів сталі, але й від виду механічних випробувань. Це вказує на необхідність детальнішого вивчення впливу структурних і механічних факторів на характер кривих холодноламкості ви-

сокоміцних сталей з метою їх використання для виробництва деталей бурових доліт, які працюють в складних умовах зовнішніх навантажень. Незважаючи на те, що схильність сталі до крихкого руйнування звичайно зв'язують з поняттям холодноламкості, температура випробувань - це не єдиний фактор, який має вплив на характер руйнування. Останній в значній мірі залежить від виду навантаження та структури сталі, яка визначається, перш за все, температурою відпуску, вмістом вуглецю, а також величиною зерна і т.п.

Сьогодні відомий ряд методик оцінки чутливості сталей до крихкого руйнування, причому більшість з них базується на побудові кривих холодноламкості різного типу зразків. З точки зору ефективності використання тої чи іншої методики важливе значення має характер отриманої кривої холодноламкості, що визначається її крутизною в інтервалі перехідних температур і висотою порога холодноламкості (тобто різницею в роботі цілком в'язкого та крихкого руйнувань). Крім того, вивчення залежності ходу кривих холодноламкості від різних структурних і механічних факторів в значній мірі сприяє виявленню суті КВП при руйнуванні сталей.

Для дослідження вибрали ряд хромистих сталей з широким діапазоном вмісту вуглецю (20X, 40X, 7X2 і ШХ15). Такий вибір обумовлений позитивною дією хрому на характеристики міцності, пластичності та зносостійкості сталей, що було встановлено випробуваннями на удар і ковзання по абразиву. Паралельно, з метою проведення порівняльних оцінок, для дослідження використали ряд вуглецевих сталей (08 кп, 20, 30, 45, 65, У8 і У10) після нормалізації.

Серіальні ударні випробування стандартних зразків з нормалізованих вуглецевих сталей в діапазоні вмісту вуглецю від 0,08 до 1% свідчать про те, що підвищення вмісту вуглецю приводить до зсуву критичних температур холодноламкості в сторону вищих значень. Одночасно зменшується крутизна кривих холодноламкості. Це

відбувається за рахунок розширення інтервалу перехідних температур і зменшення перепаду робіт при в'язкому та крихкому руйнуваннях. Відзначимо, що робота крихкого руйнування слабо залежить від вмісту вуглецю, знаходячись на низькому, практично постійному рівні. Таким чином, висота енергетичного порогу холодноламкості цілком визначається рівнем роботи в'язкого руйнування. Для сталей з вмістом вуглецю більше 0,6% в інтервалі перехідних температур приріст роботи руйнування настільки незначний, що губить зміст визначення порогу холодноламкості.

Аналогічні залежності встановлені при ударних випробуваннях хромистих сталей (20X, 40X, 7X2, ШХ15) з ферито-перлітною структурою. Гартування суттєво розширює інтервал перехідних температур і зменшує висоту порога холодноламкості. З пониженням температури відпуску та збільшенням величини аустенітного зерна крутизна кривих холодноламкості зменшується. Так як серіальні випробування зразків Менаже не дають чіткої уяви про схильність до крихкого руйнування загартованих, особливо високовуглецевих сталей, доцільно розглянути питання про використання для них інших типів зразків і видів навантаження. Встановлено, що перехід до більш жорстких видів випробувань (наприклад, ударних випробувань зразків з тріщинами) веде до утворення пологіших кривих КВП. Протилежна тенденція виявлена при виборі більш м'яких видів випробувань. Так для низьковідпущеної сталі ШХ15 отримані чітко виражені порогові залежності пластичності при короткочасному навантаженні розтягом ( $\Psi$ ) і крученні ( $\Theta_n$ ). Чіткий пороговий характер температурних залежностей  $\Theta_n$  і  $\Psi$  для низьковідпущених високовуглецевих сталей дозволив запропонувати серіальні температурні випробування гладких зразків на кручення і розтяг для оцінки чутливості до крихкого руйнування таких сталей.

Враховуючи складність визначення КВП для високоміцних

сталей, ряд дослідників пропонує використовувати для цієї мети електроннофрактографічний метод дослідження зломів як автономний засіб визначення критичних порогів холодноламкості. В зв'язку з цим нами вивчений і встановлений зв'язок між будовою отриманих зломів та характером руйнування досліджених сталей. Проте електроннофрактографічний аналіз показав, що незначні відмінності в мікробудові зломів в до- і післяпорогових температурних областях корелюють з малим перепадом ударної в'язкості.

Аналогічно серіальним випробуванням на ударну в'язкість, температурні залежності  $G_{1c}$ , отримані при статичних короткочасних випробуваннях на зразках з тріщинами, можуть мати пороговий, пологий або вироджений характер. Утворення порогових температурних залежностей в'язкості руйнування спостерігається, перш за все, в сталях високої в'язкості, яка досягається за рахунок низького вмісту вуглецю або високої температури відпуску. З ростом твердості загартованих сталей пологість температурних залежностей  $G_{1c}$  зростає. Якщо для даної сталі реалізуються однакові за типом температурні залежності КСУ і  $G_{1c}$ , то їм відповідає подібність в мікробудові зломів обох типів зразків, відповідно для до- і післяпорогової областей. Відзначимо, що для сталей з чітко вираженими пороговими температурними залежностями  $G_{1c}$  завжди макрокрихкий характер руйнування супроводжується зміною мікромеханізму поширення тріщини від відкольного до димплого. Отже, утворення порогової залежності  $G_{1c}$  представляє собою єдиний в своєму роді випадок механічних випробувань, коли пороговий характер кривої не свідчить про крихко-в'язкий перехід.

В п'ятому розділі роботи приведені дані з дослідження зносостійкості високоміцних сталей як головного показника довговічності бурових доліт. Поряд з високими характеристиками міцності та пластичності такі сталі повинні мати підвищену зно-

состійкість в різних умовах контактної взаємодії. Проте досягти такого поєднання властивостей часто буває важко. Це зв'язано з великою різноманітністю видів зношування в практиці експлуатації бурових доліт. Тому вирішення проблеми застосування високоміцних сталей для виробництва деталей бурових доліт має комплексний характер. Вона включає аналіз конструктивної міцності та зносостійкості деталей, виготовлених з високоміцних легованих сталей, аналіз їх властивостей, характер взаємодії структури, механічних властивостей і зносостійкості. Тільки на основі отриманих результатів можуть бути розроблені критерії застосування високоміцних сталей в долотобудуванні.

Відмінності в закономірностях зношування обумовлені неоднаковим проникненням абразивних частинок в контактуючу з ними поверхню. При ковзанні втілення частинок проходить поступово. Максимальна глибина проникнення частинки абразиву спостерігається на деякій віддалі від місця її початкового контакту з поверхнею.

При випробуванні зразків на зношування в умовах кочення велика кількість абразивних частинок руйнується під дією зовнішнього навантаження, не встигнувши глибоко проникнути в поверхню контактуючого з ними металу. У випадку такого контакту в механізмі зношування переважають втомні явища.

Залежність зносостійкості від  $HRC_3$  в умовах ударно-абразивного зношування більш складна. При малих енергіях удару підвищення  $HRC_3$  обумовлює збільшення опору проникненню абразивних частинок в зношувану поверхню, що супроводжується ростом параметра  $W$ , де  $W=1/\Delta M$  ( $\Delta M$  - зміна маси зразків).

При вищих значеннях енергії удару поряд з твердістю і міцністю суттєвий вплив на зносостійкість сталей має опір до поширення тріщини. При енергіях удару до 5 кДж зносостійкість не змінюється із збільшенням  $HRC_3$ . В цьому випадку  $W$  має тісний

зв'язок з  $\frac{1}{2\pi} \left( \frac{K_{Ic}}{\tau_{1p}} \right)^2$ . При енергії удару більшій за 5 кДж  $W$  залежить і від виду руйнування. В області крихкого руйнування ріст  $HRC_{\Sigma}$  сталей супроводжується зниженням їх опору поширенню тріщини і  $W$ . В області в'язкого руйнування, навпаки, ріст твердості сприяє підвищенню  $W$  сталей.

Ріст ударної в'язкості в області в'язкого руйнування приводить до зниження  $W$ , в області крихкого руйнування - до її підвищення. При енергіях удару більших 5 кДж максимальна зносостійкість сталей спостерігається при значеннях ударної в'язкості, яка відповідає границі переходу від крихкого руйнування до в'язкого. Ця загальна закономірність ударно-абразивного зношування справедлива для всіх сталей. Аналіз результатів випробувань на зношування при ударі по абразиву показує, що з підвищенням значень ударної в'язкості на границі КВП зносостійкість сталей росте.

Загальнопризнаним фактом є те, що в'язкість руйнування - це найбільш перспективна оцінка властивостей сталей. Один з показників сталі, що характеризує її в'язкість руйнування, - робота поширення тріщини  $a_c^{\partial}$ , яка визначається при випробуваннях на ударний згин. Аналіз закономірностей і механізму ударно-абразивного зношування показав, що  $a_c^{\partial}$  і  $W$  зв'язані прямою залежністю. Основним процесом формування продуктів зношування на поверхні зразка є поширення тріщин, які зароджуються при перших ударах по абразивній поверхні, тобто відбувається крихке викришування мікрооб'ємів сталі, що вступають в динамічну взаємодію з абразивною поверхнею. Це особливо проявляється при випробуваннях зразків, які пройшли гартування і низький відпуск.

При зношуванні в умовах удару, кочення та ковзання по абразиву зносостійкість сталей визначається також показником  $\sigma_B \cdot \Psi$

(рис.5). Останній враховує одночасно властивості міцності та пластичності сталі. По ньому можна проводити попередню оцінку зносостійкості сталей, тому що параметри  $\sigma_B$  і  $\Psi$  широко відомі. Співставлення  $\sigma_B \cdot \Psi$  з  $W$  загартованих сталей показує, що незалежно від виду контактної взаємодії ріст  $\sigma_B \cdot \Psi$  супроводжується підвищенням  $W$ , що робить цей параметр дуже зручним в користуванні.

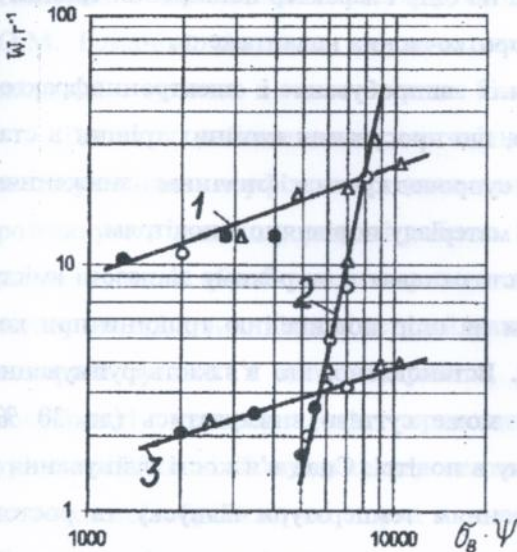


Рис.5 Залежність  $W$  сталей при ударі (1), коченні (2) і ковзанні (3) по абразиву від  $\sigma_B \cdot \Psi$ :  
 о - сталь Д7;  
 ● - сталь 40Х;  
 Δ - сталь Д5.

Приведені вище дані вказують, що максимальна зносостійкість відповідає високим значенням характеристик міцності та пластичності, ударної в'язкості, роботи поширення тріщини і  $K_{1c}$ .

Відмітимо, що залежності  $W$  від  $\sigma_B \cdot \Psi$  не відображають того факту, що зносостійкість в значній мірі залежить від присутності рідких робочих середовищ. Адже останні практично не впливають на параметри  $\sigma_B$  і  $\Psi$ . Враховуючи те, що рідкі робочі середовища мають суттєвий вплив на втомну міцність сталей, представляє значний інтерес встановлення зв'язку між нею та зносостійкістю сталей.

Результати експериментальних досліджень, а також аналіз і узагальнення багаточисельних літературних даних дали можливість

зробити важливий висновок: високоміцна конструкційна сталь буде мати максимальну зносостійкість тоді, коли її структура забезпечує граничне значення фізичної границі втоми.

Оскільки тріщиностійкість високоміцних сталей в значній мірі визначає довговічність бурових доліт, це питання було детально вивчене в роботі. При цьому враховувався вплив рідких поверхнево-активних робочих середовищ на опір і характер поширення тріщин в сталях при дії циклічних і короткочасних навантажень.

Результатами механічних випробувань і електроннофрактографічного аналізу показано, що просування втомних тріщин в сталях в присутності води супроводжується значним зниженням мікропластичної деформації матеріалу порівняно з повітрям.

На загартованих хромистих сталях в широкому діапазоні вмісту вуглецю вивчали вплив води на опір поширенню тріщини при короткочасному навантаженні. Встановлено, що в'язкість руйнування сталей в середовищі ( $K_{1c}^o$ ) може суттєво знижуватись (до 30 %) порівняно з  $K_{1c}$ , визначеному в повітрі. Спад в'язкості руйнування у воді підсилюється з пониженням температури відпуску та ростом вмісту вуглецю в сталі.

Випробування, проведені в діапазоні швидкостей навантаження 0,06...0,6мм/с, показали, що з ростом швидкості навантаження спад в'язкості руйнування під впливом води слабне або зовсім пропадає.

Характер залежностей спаду  $K_{1c}$  від температури відпуску та швидкості навантаження свідчить, що висновки деяких дослідників про відсутність впливу води на в'язкість руйнування металів носять відокремлений характер і можуть бути обумовлені як специфікою структурного стану досліджуваних матеріалів, так і порівняно високими швидкостями короткочасних випробувань.

Розроблена методика оцінки параметрів тріщиностійкості твердосплавного озброєння бурових доліт. Враховуючи спорідненість

процесів ударно-абразивного зношування та руйнування твердо-сплавного озброєння, в'язкість руйнування служить одночасно в якості критерію оцінки зносостійкості, що забезпечує повнішу характеристику працездатності долота.

Показана ефективність високотемпературної термомеханічної обробки (ВТМО) для підвищення довговічності бурових доліт, виготовлених з високоміцних конструкційних сталей. Дослідженнями О.М. Романіва показано, що позитивний вплив ВТМО буде тоді, коли вміст вуглецю в сталях складає більше 0,40%.

Питання забезпечення довговічності деталей бурових доліт застосуванням аморфізованих плазмових покриттів на основі Fe-B розглянуто в шостому розділі роботи. В третьому розділі показано, що поверхнева обробка може приводити як до підвищення, так і до зниження тріщиностійкості деталей машин. Цементація, яка широко використовується в долотобудуванні, разом з підвищенням зносостійкості деталей доліт приводить до різкого спаду їх тріщиностійкості. Тому дуже перспективним є пошук таких методів поверхневої обробки, які поряд з підвищенням зносостійкості забезпечили б високий рівень тріщиностійкості деталей. В цьому аспекті представляє інтерес використання аморфних сплавів у вигляді покриттів на традиційних конструкційних матеріалах. Так як умови надшвидкого охолодження розплавлених частинок, при яких досягається їх аморфізація, реалізуються при газотермічному напиленні, така технологія може розглядатись як один із способів одержання аморфних металічних шарів. Вона може використовуватись для поверхневої обробки деталей бурових доліт малих розмірів, які працюють в умовах тертя ковзання.

Перспективність застосування аморфізованих покриттів полягає в специфіці їх механічних характеристик (поєднання високої міцності з високою пластичністю).

Попередньо вивчено вплив хімічного складу на структурні особливості покриттів. Рентгеноструктурний і електронно-мікро-скопічний аналіз досліджуваних плазмових покриттів, що нанесені в умовах обмеження перегріву основи не вище 370-390 К, підтверджує їх часткову аморфізацію. В системі Fe - В в залежності від вмісту бору в порошках для напилення змінюється кількісний і фазовий склад покриттів. При однакових умовах напилення найбільш оптимальним для аморфізації є сплав  $Fe_{80}B_{20}$ . З ростом вмісту бору спостерігається тенденція до фазового розшарування. В порівнянні з бінарними більшу схильність до аморфізації проявляють багатокомпонентні покриття. Так, у випадку плазмових покриттів  $Fe_{55}Mo_{13}Cr_8Ni_7B_{17}$  і  $Fe_{40}Ni_{40}B_{20}$  об'ємний вміст аморфної фази (АФ) досягає 95%. У випадку плазмоутворюючого газу "повітря+пропан-бутан" спостерігається менший об'ємний вміст АФ порівняно з аргоно-азотною сумішшю (на величину до 20%).

Ефективність застосування аморфізованих покриттів визначається в значній мірі міцністю зчеплення їх з основою. В якості параметра оцінки міцності зчеплення ( $\sigma_{зч}$ ) використовували величину напруження руйнування з'єднання системи "покриття-основа", яке визначали за методикою "конічного штифта". Значення  $\sigma_{зч}$  покриттів з основою із сталі 45 при нормальному відриві знаходяться в інтервалі 20...60 МПа. Залежність зміни  $\sigma_{зч}$  від вмісту бору в покриттях Fe-B носить немонотонний характер. Плазмові покриття  $Fe_{80}B_{20}$ , які мають найбільший об'ємний вміст АФ в напилених сплавах системи Fe-B, характеризуються найвищими значеннями  $\sigma_{зч}$ . Плазмові покриття  $Fe_{55}Mo_{13}Cr_8Ni_7B_{17}$ , в яких спостерігається найвищий серед досліджуваних сплавів рівень залишкових напружень, відзначаються нижчими (на 30...60%) значеннями  $\sigma_{зч}$  в порівнянні із покриттями Fe-B.

На міцність зчеплення аморфізованих покриттів з основою суттєвий вплив мають умови регулювання температури основи в процесі напилення. Попередній підігрів основи із сталі 45 до 390 К приводить до незначного зменшення  $\sigma_{зч}$ , а до 530 К, що обумовлює кристалізацію АФ, в 1,9 раз. Найвищі значення  $\sigma_{зч}$  (до 60 МПа) для покриттів спостерігаються у випадку одностороннього водяного охолодження основи, при якому досягаються мінімальні залишкові напруження  $\sigma_3$  і максимальна аморфізація сплавів. Даний технологічний прийом є ефективним засобом мінімізації залишкових напружень. Так, у випадку плазмового покриття із сплаву  $Fe_{40}Ni_{40}B_{20}$ , водяне охолодження порівняно з повітряним зменшує рівень  $\sigma_3$  приблизно в 5 раз. Значення  $\sigma_{зч}$  для покриттів, нанесених плазмоутворюючим газом “аргон+азот” переважно на 10-20% більші порівняно із газоповітряною сумішшю. Збільшення товщини покриттів приводить до зниження даної характеристики. У випадку покриттів  $Fe_{40}Ni_{40}B_{20}$  при збільшенні товщини від 250 до 420 мкм  $\sigma_{зч}$  зменшується від 45 до 37 МПа. Це пояснюється тим, що з підвищенням товщини покриттів спостерігається тенденція до зменшення рівня залишкових стискуючих напружень і при певних товщинах, характерних для даного хімічного складу та технології напилення, відбувається перехід до розтягуючих напружень. Термічна обробка, що обумовлює кристалізацію аморфної фази, приводить до різкого зниження  $\sigma_{зч}$ . Для плазмових покриттів  $Fe_{40}Ni_{40}B_{20}$  в результаті відпалу при 1170 К  $\sigma_{зч}$  зменшується від 45 до 18 МПа.

Аморфізовані покриття підвищують втомну міцність основи (сталь 45) в середньому на 20...25%. Виявлена тенденція до пониження границі втомної міцності  $\sigma_{-1}$  з ростом товщини покриття. Так, значення  $\sigma_{-1}$  зразків з плазмовими покриттями  $Fe_{40}Ni_{40}B_{20}$  при товщині 200 мкм на 12% вищі, ніж для цих покриттів товщиною 400

мкм. Відпал зразків із сталі 45 з досліджуваними покриттями в температурно-часових інтервалах стабільності АФ суттєво не змінює втомну міцність. Нагрів вище температури кристалізації АФ приводить до пониження границі витривалості. Відпал при 1170 К плазмових покриттів  $Fe_{40}Ni_{40}B_{20}$  спричинює пониження значення  $\sigma_{-1}$  на 40%. Приведені особливості пов'язують із зменшенням стискуючих залишкових напружень на границі "покриття-основа" і в шарах покриття, що прилягають до основи при нагріві до таких температур.

По триботехнічних характеристиках при терті ковзання зі сталлю 45 досліджені покриття переважають плазмові покриття із кристалічною структурою з сплаву Ni-Al (ПН70Ю30) в 1,6...2,8 рази. Найменші інтенсивність зношування  $I_{\text{п}}$  і коефіцієнт тертя  $f$  спостерігаються в напиленому сплаві  $Fe_{80}B_{20}$ . Умови регулювання температури основи, змінюючи структурний стан покриттів, впливають також на їх зносостійкість. В той час, як попередній підігрів основи (сталь 45) до 390 К суттєво не змінює триботехнічні характеристики плазмового покриття  $Fe_{40}Ni_{40}B_{20}$ , підвищення цієї температури до 530 К, що обумовлює формування повністю кристалічної структури, викликає пониження зносостійкості в 1,3 рази одночасно з ростом  $f$  на 45 %. Аморфізовані покриття з цього сплаву, нанесені аргон-азотною плазмою, мають на 10...20% менші значення  $I_{\text{п}}$ , ніж в повітряно-газових покриттях, при практично незмінному  $f$ , що можна пояснити більшим вмістом АФ і нижчим рівнем розтягуючих  $\sigma_3$  в поверхневих шарах. В результаті термічної обробки покриттів  $Fe_{40}Ni_{40}B_{20}$  при 670 К (відпал 1 год) спостерігається майже подвійне зниження  $I_{\text{п}}$  при практично незмінному  $f$ . Відпал при 1170 К, що спричинює кристалізацію АФ, приводить до подальшого зниження  $I_{\text{п}}$  при деякому збільшенні  $f$ . Таку поведінку можна пояснити переходом розтягуючих  $\sigma_3$  в стискуючі в поверхневих шарах цього покриття в результаті відпалу.

В умовах абразивного зношування найбільша зносостійкість виявлена в аморфізованого плазмового покриття  $Fe_{55}Mo_{13}Cr_8Ni_7B_{17}$ , яке з цієї характеристики переважає на 10 % оплавлене покриття із самофлюсуючого нікелевого сплаву ПГ-10Н-01. Високу зносостійкість в цих умовах досліджуваного аморфізованого покриття можна пояснити особливостями його структури, а саме присутністю в аморфній матриці з відносно високою міцністю та пластичністю крупнодисперсних виділень боридів молібдену і заліза. Така структура є оптимальною з точки зору опору абразивному зношуванню. Нагрів аморфізованих покриттів неоднозначно впливає на їх стійкість в цих умовах випробування. Для плазмових покриттів  $Fe_{40}Ni_{40}B_{20}$  попередній підігрів основи (сталь 45) до 530 К приводить до зменшення величини зносу на 15%, а відпал при 650 К збільшує цей параметр на 20%. Така особливість пояснюється різною природою кристалічних фаз покриття: в першому випадку основною фазою є  $\gamma$  - (Fe, Ni), а в другому -  $(Ni,Fe)_3B$ .

Сьомий розділ роботи присвячений питанням підвищення довговічності та ефективності бурових доліт композиційним армуванням. Цей метод отримав в останні роки інтенсивний розвиток, тому що композиційні матеріали системи “метал - зерновий твердий сплав” мають хороші диференційні властивості, такі як високі механічна міцність, пластичність і висока абразивна стійкість.

Композиційне оснащення отримують в промислових умовах способами газової або індукційної наплавки та напайки з використанням чавунного або латунного припою та твердого сплаву на основі карбіду вольфраму. Однак вказані матеріали є дорогими та дефіцитними, технологія оснащення трудомістка і екологічно шкідлива. Отримані таким чином робочі елементи долота мають значні внутрішні напруження, що приводить до їх розтріскування.

Найбільш перспективним напрямком створення зносостійких

композиційних матеріалів є об'ємне армування сталейних відливок зернистими твердими сплавами типу "реліт" методом відцентрового литва у кокіль або в керамічній формі. Але таким чином можна армувати тільки тіла обертання і тільки твердими сплавами з питомою вагою більшою, ніж в сталі. Способів або технологій, які б дозволили застосувати тверді сплави із питомою вагою меншою, ніж у сталі, не було. Існуючі методи композиційного об'ємного армування не можуть забезпечити отримання армованої зони заданої форми і об'єму в лопатних долотах, оскільки вони не мають форми тіла обертання. Усунути вказані недоліки можна шляхом розробки такої технології, яка б забезпечила отримання не поверхневого композиційного шару на лопастях доліт, а в робочих об'ємах останніх, а також використати для армування менш дефіцитні тверді сплави.

Шляхом підбору правильної послідовності технологічних прийомів і вибору оптимальних значень параметрів розроблено спосіб об'ємного армування лопатних доліт з використанням твердих сплавів з різною питомою вагою. Керамічну ливарну форму, нагріту до температури 470...700 К обертають відносно двох взаємоперпендикулярних осей з лінійними швидкостями її периферійних точок відповідно 0,8...1,1 та 1,4...1,8 м/с, засипають до неї твердий сплав з питомою вагою меншою, ніж у основного металу, і заливають рідкий метал, одночасно вводячи твердий сплав з питомою вагою більшою, ніж у основного металу, витримують до повної кристалізації металу в армованій зоні та збільшують швидкості обертання форми до 2,6...3,2 м/с, які підтримують постійними до повної кристалізації металу відливки (рис.6). Вказані технологічні прийоми і значення параметрів дозволяють рівномірно розмістити гранули твердого сплаву в армованому об'ємі відливок.

Теоретичними дослідженнями отримано математичні залежності, які дозволяють проаналізувати рух зерен реліту в рідкій сталі в

залежності від кутових швидкостей технологічного режиму.

Для виготовлення зразків лопасних доліт сконструйовано і виготовлено установку. Армувались відливки з сталі 20ХН зернистими твердими сплавами марок "реліт" і ТН-20. Дослідженнями структури армованих зразків показано, що якість армування першочергово визначається таким комплексним показником, як концентрація твердого сплаву та мікроструктура сталюї матриці.

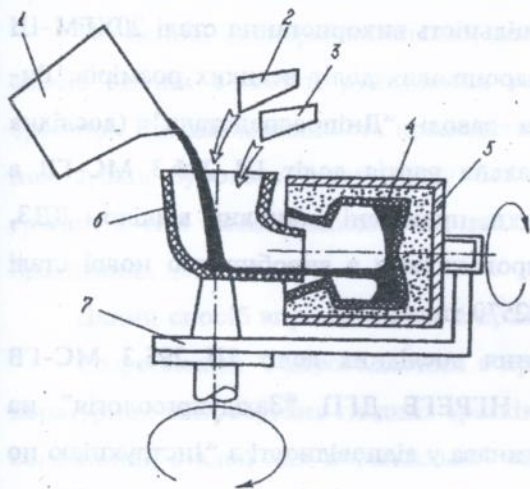


Рис.6 Схема способу композиційного армування в двох взаємоперпендикулярних площинах

Відомо, що основним критерієм працездатності бурових інструментів різального типу є стійкість верхнього оснащення до абразивного зношування. Для того, щоб провести порівняльні дослідження армованих зразків на абразивну стійкість, було сконструйовано і виготовлено спеціальну установку та розроблено методику випробувань, що дозволило максимально наблизити умови випробувань до реальних умов роботи долота в свердловині в широкому діапазоні значень експлуатаційних режимів. Встановлено інтервали варіювання технологічних параметрів. Виявлено, що першочерговий вплив на якість армованої зони та зносостійкість лопасних доліт мають частоти обертання опоки, температура попереднього нагріву форми і грануляція вводимих армуючих компонентів.

В восьмому розділі роботи приведені результати промислових і стендових випробувань бурових доліт.

За результатами широких наукових досліджень з розробки низьколегованих нікелем і безнікелевих сталей для виготовлення важконавантажених деталей бурових доліт запропонована нова конструкційна сталь 20ХГМ-Ш. Механічні випробування зразків, виготовлених з цієї сталі, зокрема вивчення в'язкості руйнування цементованих виробів показали доцільність використання сталі 20ХГМ-Ш для виготовлення деталей шарошкових доліт великих розмірів. Виплавку сталі проводили на заводі "Дніпроспецсталь" (дослідна партія 30 т), з якої виготовлена партія доліт Ш 295,3 МС-ГВ в кількості 150 штук. Розрахунки, проведені плановим відділом ДДЗ, показали, що за рахунок впровадження в виробництво нової сталі ціна долота зменшилась на 22570 тис.крб.

Промислові випробування дослідних доліт Ш 295,3 МС-ГВ проводились в Стрийській НГРЕГБ ДГП "Західукргеологія" на свердловині №2 Південна Стінава у відповідності з "Інструкцією по експлуатації шарошкових доліт при бурінні експлуатаційних, розвідувальних і інших свердловин" РД 39-0148052-525-86 і "Типовою методикою проведення державних випробувань шарошкових доліт" РД 39-07/01-0002-89. В процесі державних приймальних експлуатаційних випробувань було відпрацьовано 10 дослідних доліт Ш 295,3 МС-ГВ. Встановлено, що показники роботи дослідних доліт з проходки, стійкості та механічної швидкості буріння перевищують показники роботи серійних доліт відповідно на 21%, 14%, і 6%. Комісія рекомендувала дослідні долота Ш 295,3 МС-ГВ в серійне виробництво на ДДЗ.

Стенові випробування проводили з серійно виготовленими долотами Ш 215,9 СЗ-ГАУ-1.030 та долотами, шарошки яких отримані шляхом селективного складання. З метою підвищення

надійності з'єднання застосовували теплове складання: зубки охолоджували до температури рідкого азоту 77 К, а корпуси шарошок нагрівали до 990 К. Дослідні долота були виготовлені на ДДЗ, а стендові випробування проводились на дослідній станції бурових доліт цього ж заводу. Встановлено, що у доліт з селективно складеними шарошками практично не спостерігається випадіння зубків, тоді як у серійно виготовлених ця величина становить ~ 17%.

На основі експериментальних досліджень розроблений новий спосіб оцінки в'язкості руйнування твердосплавного бурового озброєння. Він дає можливість проводити оцінку  $K_{1c}$  для твердосплавних зубків бурового інструменту без нанесення на них втомних тріщин і, тим самим, виключити попадання на складальні операції бракованих деталей.

Даний спосіб впроваджений в практичну діяльність ДДЗ.

Розроблений і впроваджений в практику метод статичних температурних випробувань гладких зразків при крученні та розтягу високоміцних сталей для порівняльної оцінки якості їх термічної обробки. Економічний ефект від його впровадження на Івано-Франківському АТ "Промприлад" складав не менше 52 тис. крб. в рік (в цінах 1990 року). Цей спосіб можна з успіхом використовувати для оцінки якості термічної обробки високоміцних конструкційних сталей, які придатні для виробництва деталей бурових доліт.

Промислові випробування деталей з аморфізованими покриттями із сплавів на основі Fe-B марок ПГ-Ж1, ПГ-Ж5 і ПГ-Н3 на Калуському ДВО "Карпатнафтомаш" і Долинському УТТ показали підвищення їх зносостійкості порівняно із новими в 1,5-2,5 рази.

Випробуванням підлягали лопасні долота ріжучого типу 2Л-132 ЦА2, армовані твердими сплавами "Реліт" і ВК-8В. Експериментальна партія виготовлена на дільниці відцентрового армування Івано-Франківського державного технічного університету нафти і

газу. Конструкція і розміри дослідних доліт 2Л-132 ЦА2 відповідали вимогам ОСТ 26-02-1282-75. Відмінність полягала в технології отримання заготовки і армування лопастей долота твердими сплавами. Промислові випробування проводились на бурових Немирів-Язовської геологорозвідувальної партії об'єднання "Спецгеологорозвідка". Показники роботи дослідних доліт з проходки, стійкості та механічної швидкості буріння перевищують аналогічні показники роботи серійних доліт на 35%, 20% і 15%.

## ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ І ВИСНОВКИ РОБОТИ

1. В умовах одночасної дії складного зовнішнього навантаження і абразивного зношування деталей бурових доліт ефективним є застосування для їх виготовлення запропонованої і дослідженої сталі 20ХГМ-Ш замість дорогих і дефіцитних нікельмістимих сталей.

2. Підвищенню довговічності деталей бурових доліт сприяє раціонально вибрана термічна та хіміко-термічна обробка традиційно використовуваних та запропонованої сталей за рахунок зростання протидії зміні форми та розмірів деталей в процесі зношування, що приводить до перерозподілу навантажень, специфічного формування концентраторів напружень і руйнуванню деталей.

3. Запропонована методика оцінки тріщиностійкості цементованих деталей бурових доліт через осереднене значення критичного коефіцієнту інтенсивності напружень  $K_{Ic}^{oc}$ , що дає можливість враховувати вплив зміни структури приповерхневих шарів в результаті хіміко-термічної або іншої поверхневої обробки та експлуатаційних навантажень на їх схильність до крихкого руйнування.

4. Раціональний вибір цементованих сталей для виготовлення деталей бурових доліт визначається рівнем в'язкості руйнування цементованих зразків, який отримують для різних співвідношень між їх геометричними розмірами та глибинами цементованих поверхне-

вих шарів. Проведені дослідження дають підставу рекомендувати сталь 20ХГМ-Ш для виготовлення великогабаритних деталей.

5. Висока довговічність озброєння бурових доліт забезпечується їх селективним складанням з використанням підігріву шарошки і охолодження зубків, що підвищує міцність з'єднання "зубок-отвір шарошки". При цьому суттєву роль відіграє шорсткість отворів шарошки. Використання конструкції комбінованого зубка "сталь-твердий сплав" забезпечує вищу надійність з'єднання та здешевлення долота.

6. Ефективність цементації деталей бурових доліт визначається значенням відносної площі поперечного перетину в'язкої серцевини. При величинах більше 0,5... 0,7 доцільною є цементація, а при менших значеннях цементація протипоказана, як така, що приводить до крихкого руйнування деталей при невисоких навантаженнях. В останньому випадку підвищенню довговічності бурових доліт сприяє використання високоміцних конструкційних сталей.

7. Проведенням широкого комплексу досліджень і узагальненням літературних даних встановлені механічні властивості високоміцних сталей найбільш значимі для забезпечення високої зносостійкості при різних видах зношування і опору руйнуванню. Визначений структурний стан загартованої сталі, який забезпечує високу зносостійкість бурових доліт. В залежності від виду навантаження сталі, дії зовнішнього робочого середовища може змінюватись характер руйнування сталей і механізм зношування. Встановлений зв'язок характеру руйнування з мікроструктурою зломів.

8. Розроблена методика оцінки параметрів тріщиностійкості твердосплавного озброєння бурових доліт. Враховуючи спорідненість процесів ударно-абразивного зношування та руйнування твердосплавного озброєння, в'язкість руйнування служить одночасно критерієм оцінки зносостійкості, що забезпечує повнішу характеристику

працездатності долота.

9. Одним із напрямків підвищення довговічності деталей бурових доліт є використання аморфізованих плазмових покриттів на основі Fe-B, які поряд з високою зносостійкістю забезпечують вищу в'язкість руйнування зразків порівняно з цементованими.

10. Розроблений спосіб композиційного армування в двох взаємоперпендикулярних площинах є дійовим засобом підвищення довговічності породоруйнуючого інструменту, який дає можливість використовувати тверді сплави з різною питомою вагою, в тому числі безвольфрамові. Розроблені методики, сконструйовані та виготовлені установки дозволили провести дослідження процесів ефективності армування лопасних доліт.

11. За результатами досліджень на заводі "Дніпроспецсталь" проведено виплавку сталі 20ХГМ-Ш, з якої на ДДЗ виготовлено дослідну партію доліт ПІ 295,3МС-ГВ в кількості 150 штук. Розрахунковий економічний ефект від використання нової сталі складає 22570 тис.крб. на одне долото (в цінах на 1.03.1996р.). Результати промислових випробувань показали, що показники роботи дослідних доліт з проходки, стійкості та механічної швидкості буріння перевищують відповідні показники серійних доліт на 21%, 14% і 6%. Впроваджені в практику методики оцінки якості термічної обробки високоміцних сталей і в'язкості руйнування твердосплавного озброєння. Стендовими випробуваннями показана доцільність практичного застосування методу селективного складання шарошки з твердосплавними зубками. Промисловими випробуваннями підтверджена ефективність композиційного армування лопасних доліт і аморфізованих плазмових покриттів на основі Fe-B.

## ОСНОВНІ ПУБЛІКАЦІЇ ПО ДИСЕРТАЦІЇ

1. Романив О.Н., Петрина Ю.Д. К вопросу о разделении сопротивления зарождению и распространению трещины // Физ.-хим.механика материалов.-1971.-№4.-С.102-104.
2. Романив О.Н., Петрина Ю.Д. Вязкость разрушения как характеристика эксплуатационной надежности материалов// Физ.-хим.механика материалов.-1972.-№3.-С.12-15.
3. Романив О.Н., Петрина Ю.Д., Зима Ю.В. О специфике распространения трещин при циклическом нагружении в жидких средах// Физ.-хим.механика материалов.-1972.-№4.-С.35-38.
4. Романив О.Н., Кукляк Н.Л., Петрина Ю.Д. Влияние структурного состояния поверхностных слоев на сопротивление распространению трещины в стальных изделиях // Физ.-хим.механика материалов.-1973.-№2.-С.5-11.
5. Романив О.Н., Петрина Ю.Д., Зима Ю.В. Влияние структурных и механических факторов на характер кривых хладноломкости сталей //Проблемы прочности.-1973.-№7.-С.68-74.
6. Романив О.Н., Никифорчин Г.Н., Петрина Ю.Д. О влиянии воды и влаги на трещиностойкость конструкционных сталей при кратковременном нагружении// Физ.-хим.механика материалов.-1974.-№1.-С.16-20.
7. Пределы применимости температурных зависимостей работы разрушения и микрофрактографии для оценки хрупко-вязкого перехода в сталях /О.Н.Романив, М.А.Куцын, Ю.Д.Петрина, Ю.В.Зима// Физ.-хим. механика материалов. - 1974.-№2.- С.3-11.
8. Петрина Ю.Д., Ленец Н.А. Исследование кинетики распространения трещин в цилиндрических образцах при циклическом нагружении в жидких средах// Физ.-хим.механика материалов.-1974.-№3.-С.108-110.

9. Петрина Ю.Д. Способ оценки качества термической обработки инструментальных сталей// Информационный листок №78-24 Ивано-Франковского ЦНТИ.-1978.- 4 с.

10. Петрина Ю.Д. Влияние величины аустенитного зерна на склонность к хрупкому разрушению закаленной стали// Физ.-хим.механика материалов.-1979.-№1.-С.81-83.

11. Петрина Ю.Д., Ленец Н.А. К методике образования трещин на образцах, предназначенных для оценки вязкости разрушения// Методы и средства оценки трещиностойкости конструкционных материалов.-Киев: Наук.думка, 1981.-С.152-155.

12. Ленец Н.А., Петрина Ю.Д. Установка для испытаний на замедленное разрушение крупногабаритных образцов// Методы и средства оценки трещиностойкости конструкционных материалов.- Киев: Наук.думка, 1981.-С.289-291.

13. Влияние воды на рост усталостных трещин в образцах из бурильных труб группы прочности Д/ А.И.Михельман, Ю.Д.Петрина, Ю.В.Зима, М.И.Савчук //Физ.-хим.механика материалов.-1983.-№2.-С.94-95.

14. Об освобождении бурильной колонны от прихвата / В.М.Данилюк, Ю.В.Журавлев, Ю.Д.Петрина, Н.А.Реймерс// Разведка и разработка нефтяных и газовых месторождений.- Львов: Вища школа, 1986. - №23.- С.41-44.

15. Влияние воды на кинетику распространения усталостных трещин в образцах из бурильных труб/ Ю.Д.Петрина, И.И.Куликовский, А.Г.Панчук, М.Т.Панько// Разведка и разработка нефтяных и газовых месторождений.- Львов: Вища школа, 1990. - №27.- С.52-55.

16. Математичне моделювання процесу центробіжного армування/ Б.О.Борушак, Ю.М.Бугай, Ю.Д.Петрина, Л.О.Борушак// Динаміка і стійкість композиційних структур.-Львів, 1991.- С.51-55.

17. Петрина Ю.Д. Вязкость разрушения как характеристика надежности конструкционных материалов // Методы и средства технической диагностики.- Ивано-Франковск, 1992.- С.79-82.

18. Петрина Ю.Д., Павленко Т.В. Способ оценки качества высокопрочных долотных сталей// Механика строительных конструкций из новых материалов и проблемы практического внедрения в производство.-Комсомольск-на-Амуре, 1995.-С.172-174

19. Петрина Ю.Д., Павленко Т.В. О влиянии воды на трещиностойкость высокопрочной долотной стали 55СМ5ФА// Механика строительных конструкций из новых материалов и проблемы практического внедрения в производство.-Комсомольск-на-Амуре, 1995.- С.174-175.

20. Петрина Ю.Д., Павленко Т.В. Влияние жидких сред на трещиностойкость долотной стали при циклическом нагружении// Механика строительных конструкций из новых материалов и проблемы практического внедрения в производство.-Комсомольск-на-Амуре, 1995.-С.175-177.

21. Петрина Ю.Д., Павленко Т.В. Вплив робочих середовищ на в'язкість руйнування високоміцних долотних сталей// Методи і засоби технічної діагностики.-Івано-Франківськ, 1995.-С.116-121.

22. Петрина Ю.Д., Боднарчук О.В., Савчук Я.І. Підвищення надійності роботи бурових доліт шляхом їх селективного складання// Методи і засоби технічної діагностики.-Івано-Франківськ, 1995.-С.121-125.

23. Петрина Ю.Д. Вибір температурних режимів цементації деталей бурових доліт // Методи і засоби технічної діагностики.-Івано-Франківськ, 1995.-С.125-128.

24. Петрина Ю.Д., Артим В.І., Ілик В.Т. Розробка долотних сталей з низьким вмістом нікелю // Методи і засоби технічної діагностики.-Івано-Франківськ, 1995.-С.128-131.

25. А.с.1610681 (СССР), В 22 D 19/00. Способ получения армированных изделий /Б.О.Борушак, Л.О.Борушак, Ю.Н.Бугай, Ю.Д.Петрина.- Публ. в открытой печати запрещена. Приоритет 20.07.1988 г.

26. А.с. 1491609 (СССР), В 22 D 27/02. Устройство для получения армированных отливок /А.М.Абдулзаде, Р.Т.Карпик, Ю.Н.Бугай, Ю.Д.Петрина, В.В.Кустов.- Опубл. 07.07.1989 г. Бюл.№25.

27. А.с. 1496919 (СССР), В 22 D 27/02. Устройство для получения армированных отливок /А.М.Абдулзаде, Р.Т.Карпик, Ю.Н.Бугай, Ю.Д.Петрина, Д.И.Феденчук.- Опубл. 30.07.1989 г. Бюл.№28.

28. А.с. 1500436 (СССР), В 22 D 27/02. Устройство для получения армированных отливок /А.М.Абдулзаде, Р.Т.Карпик, Ю.Н.Бугай, Ю.Д.Петрина. - Опубл. 15.08.1989 г. Бюл.№30.

29. А.с. 1585061 (СССР), В 22 D 13/02. Устройство для центробежного литья/ Ю.Н.Бугай, Ю.Д.Петрина, Б.О.Борушак, Л.О.Борушак, Л.И.Бидочка.- Опубл. 15.08.1990 г. Бюл.№30.

30. А.с. 1772685 (СССР), G 01 N 3/56. Стенд для испытания режущих элементов породоразрушающих инструментов на ударно-абразивное изнашивание/ Ю.Н.Бугай, Ю.Д.Петрина, Б.О.Борушак, Л.О.Борушак, С.М.Мазурик, Н.В.Павлыквская.- Опубл. 30.10.1992 г. Бюл.№40.

31. Петрина Ю.Д. К вопросу о микромеханизме разрушения сталей при оценке  $K_{Ic}$  // Деп. в ВИНТИ №1138-76.-М.-1976.-3 с.

32. Влияние содержания углерода в стали и масштабного фактора на рост трещины замедленного разрушения / Ю.Д.Петрина, В.Н.Петрина, Н.Ф.Коржик и др. //Деп. в УкрНИИНТИ 4.01.1988, №2545 - Ук.88 - 7 с.

33. Влияние величины аустенитного зерна и скорости нагруже-

ния на склонність к хрупкому руйнуванню конструкційної сталі/ Ю.Д.Петрина, В.Н.Петрина, Л.Л.Форович и др. //Деп. в УкрНИ-ИНТИ 4.01.1988, №2545 - Ук.88 - 7 с.

34. Аналітична оцінка в'язкості руйнування цементованих деталей доліт / Петрина Ю.Д., Боднарчук О.В., Дрогомирецький Я.М., Савчук Я.І.// Деп. в УкрНДІНТІ 29.04.1996, №1047-Ук. 96 - 9 с.

35. Особливості структури і напруженого стану аморфно-кристалічних покриттів із залізних і нікелевих сплавів/ В.Коржик, Ю.Борисов, З.Одосій, Ю.Петрина // Конструкційні та функціональні матеріали: Тези доп. І Міжнар. конф. КФМ 93.- Львів, 1993.- С.113-114.

36. 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.

37. Петрина Ю.Д., Одосій З.М. Вплив аморфізованого газотермічного покриття на довговічність і в'язкість руйнування долатної сталі //Там же.- С.66.

38. Петрина Ю.Д. Вплив робочих середовищ на в'язкість руйнування конструкційної сталі 20ХГМ-Ш //Там же. - С.64.

Петрина Ю.Д. Разработка научно-практических основ повышения долговечности буровых долот путем рационального использования материалов.

Диссертация на соискание ученой степени доктора 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. Предложены оптимальные технологические режимы термической и химико-термической обработки деталей буровых долот. Изучена их вязкость разрушения. Определены эксплуатационные условия рационального выбора конструкционных материалов для изготовления деталей буровых долот разных размеров. Разработан метод композиционного армирования лопастных долот. Результаты работы внедрены в производство.

Petryna U.D. The Development of Scientific and Practical Grounds for Increasing Drilling Bits Longevity by means of Rational Materials Use.

The thesis for a doctor's degree in engineering, the speciality 05.15.07- "Machines and Units of Oil and Gas Industry" , Ivano-Frankivsk State Technical University of Oil and Gas, Ivano-Frankivsk, 1996.

The thesis submits the results of a research in the development of new complex-alloyed bit steels with a low nickel content. There have been proposed the optimal technological regimes of the thermal and chemical-thermal treatment of drilling bit parts. Their fracture toughness has been studied. Operating conditions for a rational choice of construction materials for making of drilling bit parts of various dimensions have been defined. The method of a composition reinforcement of blade bits has been developed.

The results of the research have been put into production practice.

Ключові слова: бурове долото, долотна сталь, довговічність, в'язкість руйнування, зносостійкість, композиційне армування.



Підписано до друку 9.09.96 Формат паперу 60×84<sup>1</sup>/<sub>16</sub>  
Друк. аркушів 25 Тираж 105 Зам. 202  
Віддруковано на різнографі.

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

438829

AE 35518

AB 35.518

Abstract of the paper by [faded] published in [faded] 1954

Abstract of the paper by [faded] published in [faded] 1954

Abstract of the paper by [faded] published in [faded] 1954

Abstract of the paper by [faded] published in [faded] 1954

Abstract of the paper by [faded] published in [faded] 1954

Abstract of the paper by [faded] published in [faded] 1954

Abstract of the paper by [faded] published in [faded] 1954

The results of the work of [faded] on the development of [faded] are summarized in this report. The work was carried out in the [faded] Laboratory of the [faded] Institute of [faded] and the [faded] Institute of [faded]. The work was supported by the [faded] Ministry of [faded] and the [faded] Ministry of [faded]. The work was carried out from [faded] to [faded]. The results of the work are summarized in this report. The work was carried out in the [faded] Laboratory of the [faded] Institute of [faded] and the [faded] Institute of [faded]. The work was supported by the [faded] Ministry of [faded] and the [faded] Ministry of [faded]. The work was carried out from [faded] to [faded].