

УДК 669.14.018.2

Д.Ю. Петрина

ФНТУНГ, м.Івано-Франківськ, Україна

Тел. (066)2288604; Т –mail: mtf@nung.edu.ua

ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ В'ЯЗКОСТІ РУЙНУВАННЯ ЦЕМЕНТОВАНИХ ДЕТАЛЕЙ БУРОВИХ ДОЛІТ

Запропоновано новий спрощений спосіб визначення параметрів в'язкості руйнування цементованих деталей бурових доліт. Визначені оптимальні технологічні режими термічної та хіміко- термічної обробки деталей бурових доліт. Вивчена їх в'язкість руйнування. Встановлені експлуатаційні умови раціонального вибору конструкційних матеріалів для виготовлення деталей бурових доліт. Результати роботи впроваджені у виробництво.

Ключові слова: долотні сталі, бурове долото, цементация, механічні властивості, в'язкість руйнування, довговічність.

1. Вступ. Проблема підвищення довговічності цементованих деталей бурових доліт є однією з головних задач нафтогазового машинобудування. Це зумовлено вкрай важкими умовами їх експлуатації. На деталі діють значні статичні, динамічні навантаження, вони зазнають ударно-абразивного, гідро-абразивного зносу та контактного втомного руйнування тощо. Тому важливим є встановлення критеріїв для вибору того чи іншого напрямку чи методу підвищення якості деталей, починаючи від вибору матеріалу [1,2] і закінчуючи термообробкою з викінчувальними операціями [3,4]. Такими критеріями можуть бути опір матеріалу поширенню тріщини та контактна витривалість.

2. Основний зміст і результати роботи. Випробування на тріщиностійкість цементованих долотних сталей показують, що їх максимальна довговічність в області малоциклової втоми досягається при високому значенні K_{IC} серцевини. Зі збільшенням товщини цементованого шару і вмісту в ньому вуглецю в'язкість руйнування K_{IC} зменшується. Збільшення вмісту вуглецю на поверхні шару вище 0,7-0,8%С сильно знижує також σ_{-1} .

Найбільше зміцнення після цементації досягається, коли шар складається з мартенситно-аустенітної структури, серцевина і цементований шар мають дрібне зерно і відсутні такі дефекти, як карбідна сітка чи троститна сітка, виділення по границях зерен карбідонітридів хрому.

При циклічних навантаженнях опір цементованих деталей руйнуванню залежить від міцності серцевини. Підвищення міцності серцевини сприяє збільшенню і контактної міцності. Наприклад, при твердості вище HRC35 допустимі контактні напруження при базі 10^7 циклів складають 1900МПа, а при твердості HRC25-35 не перевищують 1750МПа. Тому прогартованість набуває одного з найголовніших значень при виборі сталі.

З результатів досліджень [5] випливає ще одна вимога до цементованих деталей, а саме врахування впливу глибини цементованого шару на міцність та пластичність під дією зовнішніх силових чинників.

Для оцінки впливу глибини цементації на механічні властивості зразків використали коефіцієнт, який враховує геометричні розміри зразка - відносну площу в'язкої серцевини [5]. Цей показник визначається відношенням площі нецементованої серцевини до всієї площі зразка в площині руйнування.

Встановлено, що максимальні значення границі міцності та границі плинності відповідають відносній площі в'язкої серцевини в межах 0,40...0,50 (рис. 1). При інших значеннях відносної площі в'язкої серцевини ці параметри падають. У ході випробувань зразків з відносною площею в'язкої серцевини меншою за 0,25 руйнування проходить у зоні пружних деформацій без помітних слідів пластичного деформування.

Підвищення відносної площі в'язкої серцевини понад 0,50 призводить до зниження механічних властивостей з одночасним ростом відносного звуження.

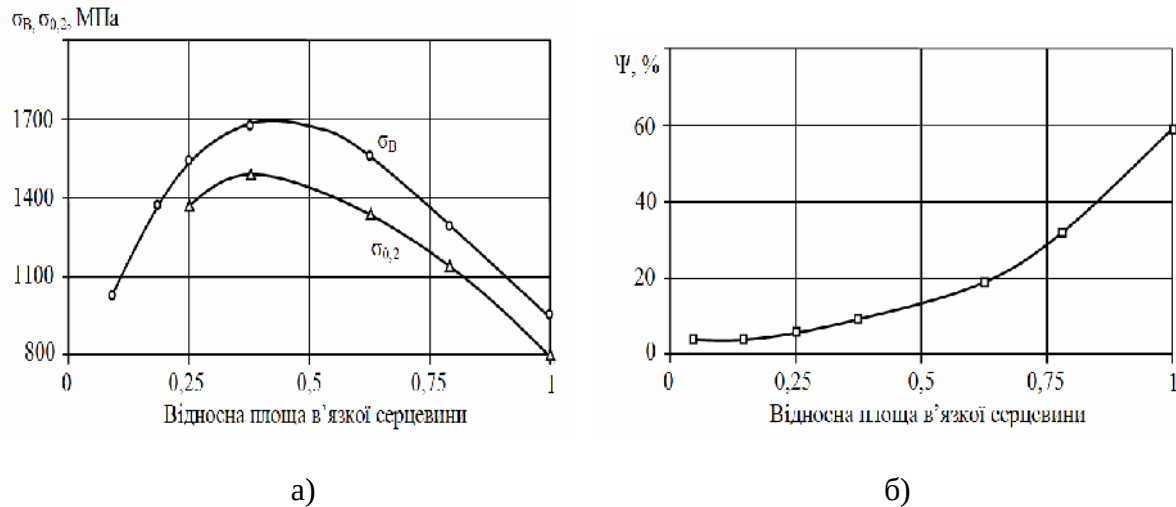


Рис. 1. Вплив відносної площі в'язкої серцевини на механічні властивості сталі 14ХНЗМА: а – границю витривалості (σ_B) і границю плинності ($\sigma_{0.2}$); б – відносне звуження (ψ)

Вплив відносної площі в'язкої серцевини на ударну в'язкість зображено на рис. 2. Цей параметр найбільше залежить від цементації зразків: насичення поверхневих шарів вуглецем навіть на незначну глибину викликає суттєве зниження ударної в'язкості.

При відносній площі в'язкої серцевини меншій за 0,50 застосовувати поверхнєве зміцнення недоцільно, оскільки це призводить до різкого спаду характеристик міцності, пластичності та ударної в'язкості. У цьому випадку краще переходити на нецементовані сталі.

Дослідження зломів за невеликих збільшень виявили тріщини, які беруть початок у перехідній зоні, незалежно від виду навантаження в ході випробувань. Це явище зумовлює особливості руйнування цементованих сталей, які піддавалися цементації при підвищених температурах (приблизно 1047°C).

Аналіз діаграм руйнування, виду зломів цементованих зразків з тріщинами, а також використання основних залежностей лінійної механіки руйнування показали, що в'язкість руйнування зразків із зміненою приповерхневою структурою можна оцінювати через усереднені значення критичного коефіцієнта інтенсивності напружень K_{Ic}^{oc} . Для цього ефективними є механічні випробування за схемою чотириточкового згину на балкових зразках прямокутного перерізу з односторонньою тріщиною, а також на циліндричних зразках з сегментоподібним концентратором, у вершині якого наведено втомну тріщину. Зокрема для зразків прямокутного перерізу запропонована аналітична оцінка рівня в'язкості руйнування цементованих виробів з урахуванням геометричних розмірів зразків і глибини зміненого приповерхневого шару:

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

де K_{1C} – критичний коефіцієнт інтенсивності напружень при плоскодеформованому стані основного металу;

q і α – залежать від марки сталі та виду її термообробки;

B – ширина зразка;

h – глибина цементованого шару.

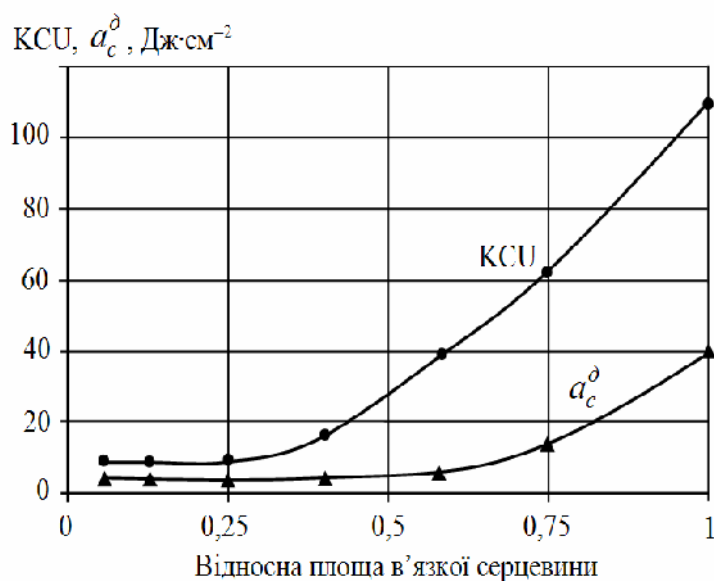


Рис. 2. Вплив відносної площі в'язкої серцевини на ударну в'язкість і роботу поширення тріщини сталі 14ХНЗМА

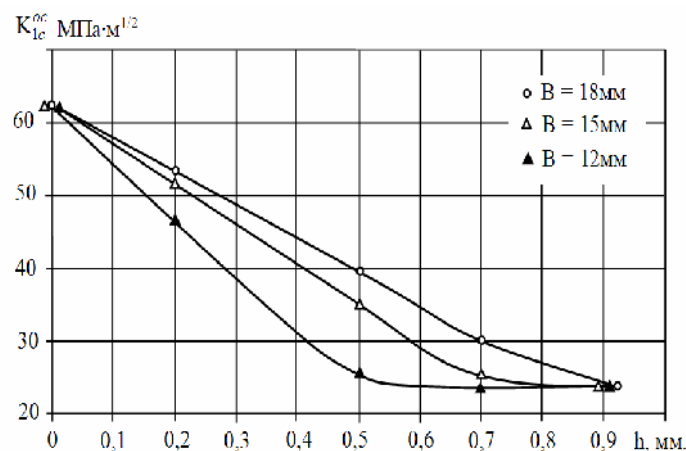


Рис. 3. Зміна K_{1C}^{oc} сталі 14ХНЗМА залежно від глибини цементованого шару та ширини (B) балкового зразка

між критеріями DI і K_{1C}^{oc} .

Згідно ASTM критерій міцності DI встановлюється у відповідності до хімічного складу стандартної плавки:

У результаті досліджень в'язкості руйнування балкових зразків різної товщини, виготовлених зі сталі 14ХНЗМА, встановлені критичні значення глибини цементованого шару. При досягненні цих критичних значень рівень в'язкості руйнування зразків стає вищим (рис. 3).

Отже, в'язкість руйнування, а саме його осереднене значення є тим основним критерієм, яким необхідно користуватись при виборі сталі та її ХТО для забезпечення максимальної довговічності цементованих деталей.

Оскільки плавки сталі 14ХНЗМА у стані поставки можуть мати різні фізико-механічні властивості та різну тріщиностійкість, то важливим є встановлення оптимальних значень глибини цементної шарошк для різних плавок. Оскільки на підприємствах для оцінки придатності плавок долотних сталей використовується критерій міцності DI , що прийнятий в американських стандартах, тому практичне значення може мати зв'язок

$$DI = (MFC) \times (MFMn) \times (MFNi) \times (MFSi) \times (MFCr) \times (MFMo) \times (MFCu) \times (MFV),$$

де $MFC = 0,54(\%C)$,
 $MFMn = 1,00 + 3,3333(\%Mn)$,
 $MFNi = 1,00 + 0,363(\%Ni)$,
 $MFSi = 1,00 + 0,7(\%Si)$,
 $MFCr = 1,00 + 2,16(\%Cr)$,
 $MFMo = 1,00 + 3,00(\%Mo)$,
 $MFCu = 1,00 + 0,365(\%Cu)$,
 $MFV = 1,00 + 1,73(\%V)$.

За даними американського стандарту ASTM A255 SPECIFICATION 9313 Steel (аналог сталі 14ХНЗМА) встановлено значення критерію міцності $DI = 3,5 \pm 0,5$.

Для випробовувань на тріщиностійкість було виготовлено дві партії балкових зразків шириною $B=15\text{мм}$ із двох плавів сталі 14ХНЗМА. Для партії зразків №1 $DI = 3,0$, а партія зразків №2 мала $DI = 4,0$. За отриманими результатами випробувань побудовано залежності, що показані на рис.4.

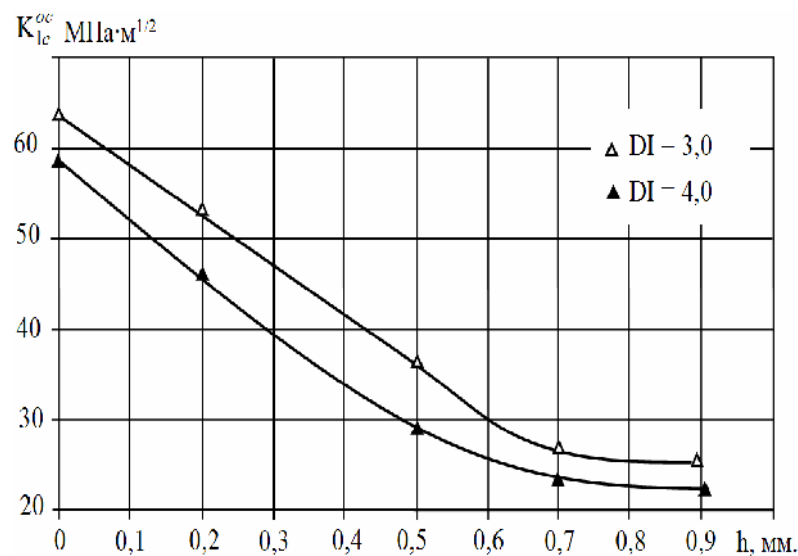


Рис. 4. Зміна K_{Ic}^{OC} плавів сталі 14ХНЗМА (з різними показниками DI) залежно від глибини цементованого шару на балкових зразках

Отримані дані вказують на те, що у випадку високих значень DI є спад K_{Ic}^{OC} і для зразків партії №2 в'язкість руйнування має подібний характер до руйнування зразків з шириною $B=12\text{мм}$ (рис. 3). Разом з тим, різниця між усередненими значеннями критичних коефіцієнтів інтенсивності напружень для двох досліджуваних партій плавів становить приблизно $3-6\text{ МПа}\cdot\text{м}^{1/2}$. Для малих небезпечних перерізів, наприклад фрезерованих на шарощі

зубків таке зниження тріщиностійкості може призвести до їх крихкого руйнування.

Результати досліджень впроваджено в практику оцінки якості цементованих деталей бурових доліт на Дрогобицькому долотному заводі «ДДЗ».

3. Висновки. 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.

Для шарошок з фрезерованим сталевим породоруйнівним оснащенням слід забезпечувати жорсткий вхідний контроль за критерієм міцності DI і встановлювати геометричні параметри цементованого шару на зубках і в ділянках небезпечних перерізів між вінцями.

Для попередження явищ крихкого руйнування шарошок виготовлених з плавок сталі 14ХНЗМА із показниками DI близькими до верхньої межі ($DI = 4,0$) відношення площі нецементованої серцевини до всієї площі небезпечного перерізу в площині руйнування повинно становити не менше 0,6.

В подальшому планується провести вивчення тріщиностійкості цементованих деталей бурових доліт круглої форми, що в повній мірі відповідає умовам експлуатації цапф.

Список літератури:

1. Сорокин Г.М. Новые критерии определения долговечности машин / Вестник машиностроения. - 2008. - №5. - С. 19-23.
2. Сорокин Г.М., Куракин И.Б. Системный анализ и комплексные критерии прочности сталей. – М.: Недра, 2011. – 101 с.
3. Петрина Ю.Д., Яким Р.С., Пасинович Т.Б. Конструкторсько-технологічне забезпечення підвищення якості лап тришарошкових бурових доліт на етапах життєвого циклу // Вісник Тернопільського державного технічного університету. – 2010. - №1. – С. 81-93.
4. Формування якості та експлуатаційних показників тришарошкових бурових доліт на усіх етапах їх створення // Прогресивні технології і системи машинобудування: Донецьк: ДонНТУ, 2011. Вип. 42. – С. 309-314.
5. Бобров С.Н. Основы комплексного использования высокопрочных сталей как износостойкого материала: автореф. дис. на соискание ученой степени д-ра техн. наук: спец. 05.02.04. «Трение и износ в машинах», 05.02.01. «Материаловедение в машиностроении». – М. МИНГ, 1990. – 55 с.

Надійшла до редколегії 02.07.2012 р.

D. Petryna

DETERMINATION OF FRACTURE TOUGHNESS PARAMETERS OF CARBONIZED DRILLING BITS PARTS

A new simplified method of determination of fracture toughness parameters of carbonized drilling bits parts is offered. There have been proposed the optimal technological regimes of the thermal and chemical-thermal treatment of drilling bits parts. Their fracture toughness has been studied. Operating conditions for a rational choice of construction materials for making of drilling bits parts have been defined. The results of the research have been put production practice.

Key words: bit steels, drilling bit, carbonization, mechanical properties, fracture toughness, durability.

Д.Ю. Петрина

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ВЯЗКОСТИ РАЗРУШЕНИЯ ЦЕМЕНТИРОВАННЫХ ДЕТАЛЕЙ БУРОВЫХ ДОЛОТ

Предложен новый упрощенный способ определения параметров вязкости разрушения цементированных деталей буровых долот. Определены оптимальные технологические режимы термической и химико-термической обработки деталей буровых долот. Изучена их вязкость разрушения. Установлены эксплуатационные условия рационального выбора конструкционных материалов для изготовления деталей буровых долот. Результаты работы внедрены в производство.

Ключевые слова: долотные стали, буровое долото, цементация, механические свойства, вязкость разрушения, долговечность.