

2. Використання питомої оснащеності дає змогу в реальних долотах оцінити розподіл оснащеності по радіусу і прогнозувати можливість аномального зношення долота.

3. При конструюванні доліт використання питомої оснащеності дає змогу реалізувати раціональну схему розміщення елементів оснащення, що забезпечить їх рівномірне зношування і усуне конструктивні причини аномального зношення.

4. Аномальне зношення при рівномірній по радіусу питомій оснащеності (за винятком центральної і периферійної зон) спонукатиме до пошуку причин цього явища, не пов'язаних з конструкцією долота.

Надійшла 26.05.10

УДК 622.24.05:621.713.24

В. А. Корнута

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, Україна

ВИЗНАЧЕННЯ ВПЛИВУ СПОСОБУ ЗБИРАННЯ З'ЄДНАНЬ З НАТЯГОМ “ТВЕРДОСПЛАВНА ВСТАВКА–МАТРИЦЯ” НА ЇХ НЕСУЧУ ЗДАТНІСТЬ.

The results of simulation are compared for pressure coupling constructions which are assembled in different ways. Reasons of advantage of the thermal assembling above assembling by “press in” are found out. Advantages of new construction are set.

У нафтогазовій промисловості використання інструменту з підвищеною стійкістю до зношування є важливим чинником економічності створення та якості кінцевої продукції. Один з найпоширеніших способів підвищення стійкості інструменту – армування його зносостійкими вставками/робочими органами. Найчастіше застосовується армування твердосплавними вставками.

Існує багато способів армування твердосплавними вставками, однак для бурових доліт, зважаючи на багаторічний досвід, найчастіше застосовують армування за допомогою з'єднань з натягом.

У дослідженнях [1] здійснено порівняння оптимізованих традиційної та трикомпонентної конструкції з'єднання “вставка–матриця” [2] армованих твердосплавними вставками робочих органів бурових доліт. Під час вивчення роботи з'єднань використовували спрощені геометричні моделі, що дало змогу побудувати та дослідити аналітично математичні моделі. Усі моделі базувались на припущеннях про нескінченну/достатню довжину з'єднання, абсолютно пружні матеріали деталей та гладкість поверхонь циліндрів. За результатами досліджень встановлено принципову перевагу трикомпонентної конструкції порівняно з двокомпонентною.

Проте спрощені моделі не дають змоги встановити можливість складання та стійкість до експлуатаційних навантажень моделей із геометрією та властивостями матеріалів, наближеними до реальних конструкцій. З огляду на це для подальшого вивчення роботи з'єднання необхідно побудувати моделі створення та розбирання дво- та трикомпонентних з'єднань різними способами (механічне запресовування/розпресовування, термічне складання – механічне розпресовування). Схожі завдання з використанням методу скінченних елементів (МСЕ) розв'язували як вітчизняні так і зарубіжні дослідники [3 – 8].

З'єднання “зубець – шарошка” створюють “термічним” або “холодним” способом. “Термічний” спосіб означає, що перед створенням з'єднання одну його деталь нагрівають або охолоджують з метою зміни розмірів. “Холодним” способом називається збирання двох деталей пресом за однакової кімнатної температури.

Процес термоскладання вважається складним, оскільки при його перебігу можуть змінюватись властивості матеріалів, форма, розмір деталей, тощо. Для запобігання цього слід чітко витримувати технологічний процес. Отже, можна вважати моделями НДС з'єднання, складеного “термічно”, розглянуті раніше моделі – аналітичні та МСЕ [9]. Становить інтерес моделювання “запресовування” та “випресовування” зубця.

При “холодному” запресовуванні зубець переміщується відносно поверхні отвору. Багато дослідників вважають, що таке складання спричиняє негативні наслідки, однак при цьому мало наводиться кількісних оцінок, та й ті базуються на емпіричних показниках. Зважаючи на це необхідно дослідити хоча б на наближених числових/аналітичних моделях процес складання зубців із шарошкою та оцінити його вплив на “випресовування” зубця.

Розрахуємо силу “випресовування” при термоскладанні та “холодному” запресовуванні двокомпонентного з'єднання.

Для дослідження складено МСЕ-моделі з'єднання, зображені на рис. 1.

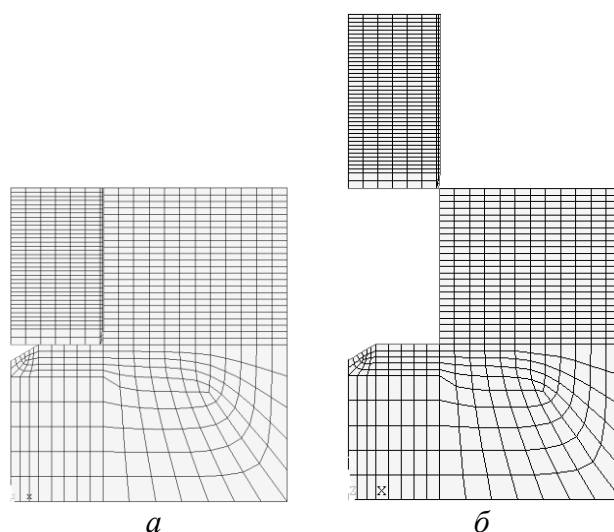


Рис. 1. Геометрія і сіткове розбиття моделей з складених “термічно” (а) та “холодним” запресовуванням вставки (б)

Моделі осесиметричні, вісь симетрії Oy . Вставка закріплена в циліндрі, дія решти матеріалу шарошки моделюється накладанням відповідних граничних умов [9]. Для побудови сітки скінченних елементів використовуємо чотирикутний ізопараметричний елемент [10, 11]. Сітку будуємо регулярні (впорядковані за формою елементів).

Параметри матеріалів моделей наведені в таблиці.

Основні параметри матеріалів моделей

Вал			Отвір / Втулка		
E_1 , МПа	ν_1	d_1 , мм	E_2 , МПа	ν_2	d_2 , мм
$6,3 \times 10^5$	0,3	$9,51_{-0,013}$	$2,0 \times 10^5$	0,3	$9,37^{+0,05}$

Оскільки оптимум для конструкцій з переходом матеріалів у пластичний стан розрахункове не визначали, скористаємось загальноприйнятим натягом 0,1 мм. Зовнішній діаметр матриці приймаємо рівним $3d_1$.

На рис. 2 показаний один з результатів розрахунку: силу, яку необхідно прикласти при “випресовуванні” зубця із отвору (точніше – витягуванні за верхній край силою, спрямованою вздовж осі з'єднання) для складеного “термічним” та “холодним” способами з'єднання.

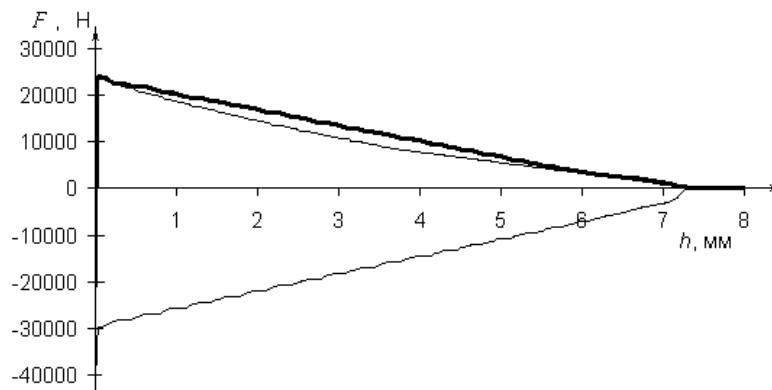


Рис. 2. Графіки діючих на вставку сил “випресування” при термічному складанні (—); заpresування та “випресування” при “холодному” складанні (—)

Отримані результати (рис. 2) якісно та кількісно збігаються з розрахунковими [5] та експериментальними [12; 13]. Хвилястість лінії заpresування пояснюється особливостями розрахунку МСЕ при великих деформаціях елементів. Лінії “випресування” гладші, тому, що матеріал матриці пластично деформований при заpresуванні, внаслідок чого зменшується геометричний натяг та, відповідно, вплив переходів між елементами. Горизонтальна нульова ділянка у правій частині графіка (рис. 2) відповідає переміщенню в межах фаски зубця без контакту з отвором.

Отже, доходимо висновку: після “термічного” складання при першому “випресуванні” зубця зсувна сила не змінюється відносно з’єднання, складеного “холодним” заpresуванням. Робота, необхідна для випресування зубця з “термічно” складеного з’єднання, на 15 % більша, ніж з’єднання, складеного “холодним” заpresуванням. Водночас, робота “холодного” заpresування на 60 % більша, ніж робота “випресування” цього самого з’єднання.

Також дослідженнями виявлено, що коли кут фаски зубця перевищує 15° або відсутня фаска при “холодному” заpresуванні з натягами в рекомендованих [13; 14] межах, зрізається шар матеріалу матриці, внаслідок чого значно знижуються результуючий натяг та сила “випресування”, а сила заpresування збільшується майже на 50 %.

Оскільки немає єдиної думки щодо діючого у з’єднанні коефіцієнта тертя [15; 16] та попередньо встановлено, що за малих коефіцієнтів тертя та абсолютних значень сил трикомпонентне з’єднання істотно переважає двоконпонентне, далі розглянемо з’єднання з коефіцієнтом тертя $f = 0,15$.

Графіки діючої сили “випресування” вставок з отриманих “термічним” складанням з’єднань двох та трьох тіл показані на рис. 3. Втулка і матриця зроблені з одного матеріалу. З’єднання двох тіл зібрано з натягом 0,1 мм; з’єднання трьох тіл – з натягом на першому радіусі (контакт “вставка – втулка” та “вставка – нижній ступінь отвору в матриці”) 0,1 мм, на другому радіусі (контакт “втулка – верхній ступінь отвору в матриці”) – 0,06 мм. Товщина стінки втулки дорівнює 0,2 радіуса вставки [1]. Геометрію та сіткове розбиття моделей з’єднання з трьох тіл показано на рис. 4.

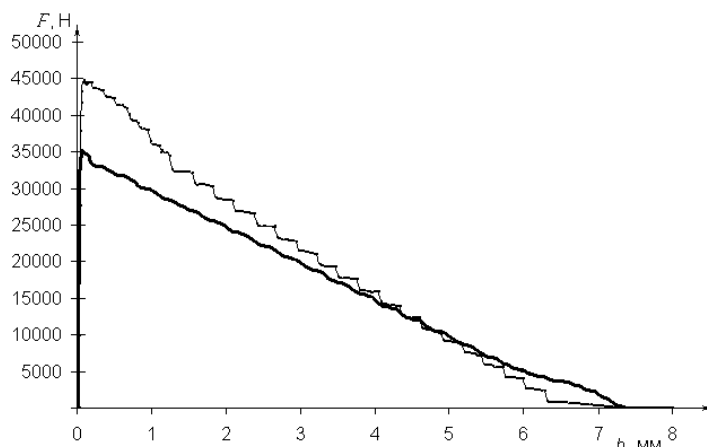


Рис. 3. Графіки діючої сили “випресовування” вставок при термічному складанні з’єднання двох тіл (—) та трьох тіл (—)

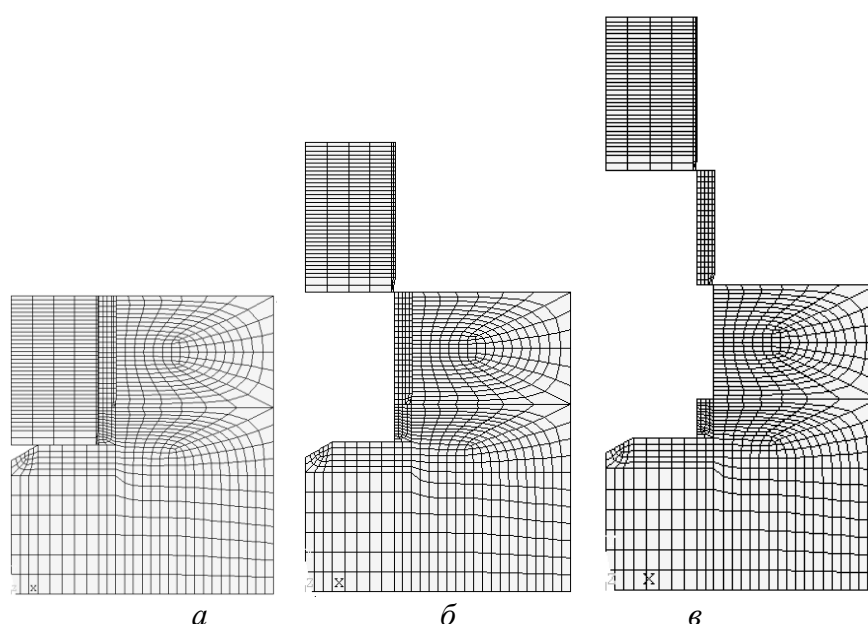


Рис. 4. Геометрія та сіткове розбиття моделей з термоскладанням (а), термоскладанням втулки та “холодним” запресовуванням вставки (б), “холодним” запресовуванням послідовно втулки і вставки (в)

Співвідношення натягів для з’єднання трьох тіл вибрали з припущенням, що в області пластичності матеріалу втулки та матриці зберігається встановлений для з’єднання деталей з пружних матеріалів факт оптимальності рівномірності матриці та втулки [1]. Вибрана комбінація натягів відповідає точці на лінії рівномірності деталей моделі, показаної на рис. 4а, хоча оптимальність такої комбінації натягів не досліджувалась. Для встановлення лінії рівномірності здійснили серію розрахунків змінюючи натяги на першому (“вставка – втулка”) та другому (“втулка – отвір”) радіусах контакту по сітці 0,01 – 0,14 мм з кроком 0,01 мм. Еквівалентні за Мізесом напруження фіксувались в точках на поверхні контакту на половині висоти втулки. Результати розрахунків ілюструє рис. 5.

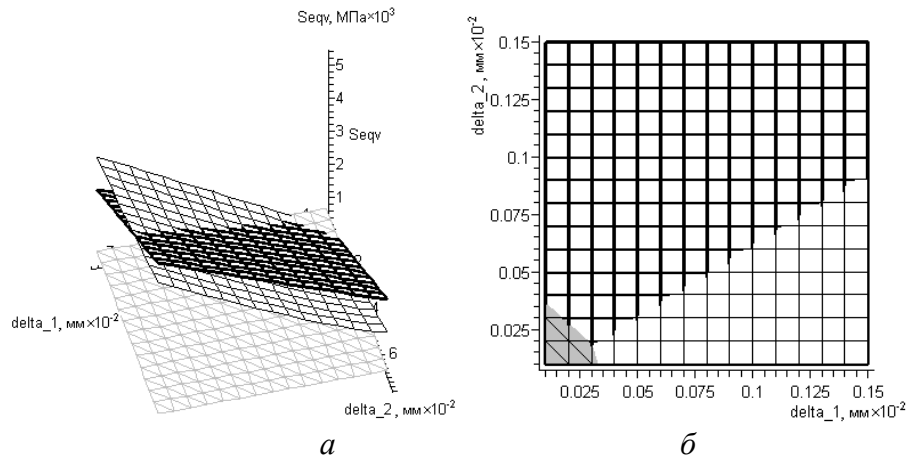


Рис. 5. Максимальні еквівалентні напруження при заданих парах натягів на r_1 ($delta_1$) та на r_2 ($delta_2$) в ізометрії (а) та горизонтальній проекції (б): □; □; □; □ – еквівалентні напруження матриці (шарошки), втулки та межі пластичності матеріалу втулки та матриці

З даних рис. 3 випливає, що для конструкції з'єднання трьох тіл [2] характерне збільшення сили “випресовування” на його початку (зсувної сили вставки у з'єднанні трьох тіл щодо з'єднання двох тіл) та зниження на останньому міліметрі перед виходом з отвору. Таким чином, основна робота виходу вставки з отвору виконується на початку “випресовування”. Припустимо, що такий характер сили сприятливо впливає на довговічність та надійність з'єднання “зубець – шарошка”.

Зазначимо, що робота “випресовування” вставки з “термічно” складеного з'єднання трьох тіл на 11 % перевищує роботу “випресовування” вставки із такого ж з'єднання двох тіл. Збільшення абсолютного значення сили “випресовування” для з'єднання двох тіл щодо такого самого з'єднання на рис. 2 пояснюється підвищенням коефіцієнта тертя до 0,15.

Зазначимо, що зі вибраних параметрів з'єднання вставка “випресовується”, а втулка залишається в отворі з незначним (у межах двох сотих міліметра) зміщенням у напрямі устя.

Для з'єднання трьох тіл, як і для двох, дослідили вплив способу та послідовності складання на результуючу силу “випресовування”. Для цього виконали моделювання спочатку “холодного” запресовування вставки у втулку, а потім складеної вставки в отвір; “холодного” запресовування втулки в отвір та подальшого “холодного” запресовування вставки у складений отвір; “термічного” складання втулки з отвором і подальшого “холодного” запресовування вставки у складений отвір. В усіх випадках складання змоделивали подальше “випресовування” (витягання) вставки.

“Холодне” запресовування вставки у втулку відбувається без значних зусиль, однак подальше запресовування складеної вставки у втулку зумовлює зрізання шару матеріалу із втулки і відносного переміщення вставки та втулки. Такий спосіб збирання було визнано неперспективним і подальшого детального моделювання не виконувалось. Графіки сил, діючих на вставку під час запресовування та “випресовування”, при різних способах та послідовностях складання з'єднання трьох тіл показано на рис. 6.

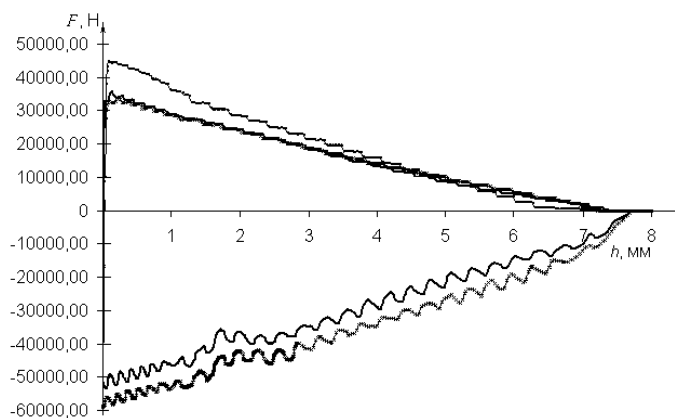


Рис. 6. Графіки дії сил за пресування та "випресування" при різних способах та послідовностях складання з'єднання трьох тіл: — — — — — випресування після термічного складання (див. модель на рис. 3а); — — — — — "термічне" складання втулки та подальше "холодне" пресування/випресування вставки; — — — — — сила "холодного" пресування/випресування вставки при попередньо "холодно" пресованій втулці

З даних рис. 6 випливає, що найвища зсувна сила спостерігається при термоскладанні. Запресування вставки в отвір з попередньо "термічно" вставленою втулкою легше, ніж при за пресуванні "холодним" способом втулки, а потім вставки. Однак для останнього способу характерні більші сили "випресування" вставки. Сили як за пресування, так і "випресування" більші, ніж для двох тіл.

Робота "випресування" вставки при "термічному" складанні втулки та подальшому "холодному" за пресуванні/"випресуванні" вставки на 10 % перевищує роботу для з'єднання двох тіл, при попередньому "холодному" за пресуванні втулки – на 11,5 %.

Отже, підтверджено перевагу (підвищення несучої здатності з'єднання) термоскладання над "холодним" за пресуванням; встановлено, що така перевага визначається не лише зміною характеру деформації мікронерівностей поверхонь, а й зміною деформованого стану тіл у цілому. Також підтверджено результати досліджень [12], що достатня сила за пресування не свідчить про достатню силу "випресування". За результатами моделювання встановлено необхідність виконання монтажної фаски на вставці та втулці.

Здійснене моделювання роботи елементів озброєння робочих органів бурового інструменту з використанням МСЕ-моделей наближеної до реальної геометрії та переходом матеріалів у пластичний стан підтверджує переваги нової конструкції. Результати також засвідчують, що з урахуванням пластичності матеріалів та геометрії отвору, наближеної до реальної, переваги трикомпонентної конструкції менші, ніж обчислено за аналітичними моделями. Підкреслимо, що в [1] розглядалися оптимальні конструкції, у даній роботі оптимізацію не виконувалось.

Однак незважаючи на використання класичних та сучасних розрахункових методик, розроблені моделі не враховують багатьох чинників, наприклад, динамічність і циклічність навантаження, складну форму шарошок, тощо. Отже, моделі не дають змоги розрахувати довговічність елементів озброєння, тому потрібні подальші експериментальні дослідження фізичних моделей.

Література

1. Корнута В. А., Шацький І. П. Моделювання напружено-деформованого стану з'єднання корпус (шарошка) – твердосплавна вставка контактом двох гладких циліндрів // Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ. – 2010. – №1 (34). – С. 101–105.
2. Корнута В. А., Драганчук О. Т. Вдосконалення твердосплавного озброєння шарошок на основі аналізу роботи з'єднань з натягом // Нафтова та газова енергетика. – 2009. – № 1 (10). – С. 5–15.

3. Щенятский А. В. Исследование распределения контактного давления в соединениях с гарантированным натягом с гальваническим покрытием // Вестн. машиностроения. – 1993. – № 11. – С. 8–10.
4. Гаффанов Р. Ф., Щенятский А. В. Математическое моделирование термической сборки соединений с натягом // Интеллектуальные системы в производстве. – 2008. – № 2. – С. 55–59.
5. Кулиш Е. В., Турыгин Ю. В. Разработка методики расчета прессовых полисоединений // Вестн. машиностроения. – 2007. – № 9. – С. 9–11.
6. Кулиш Е. В., Турыгин Ю. В., Мага Д. Решение контактной задачи прессовых полисоединений // Сборка в машиностроении и приборостроении. – 2008. – № 1. – С. 33–41.
7. Кабакова А. В. Развитие интегрированного метода оценки нагрузочной способности соединений с натягом : автореф. дис. ... канд. техн. наук : спец. 05.02.02 “Машиноведение, системы приводов и детали машин”. – Ижевск, 2008. – 20 с.
8. Исследование напряженно-деформированного состояния при запрессовке твердосплавных элементов вооружения шарошки бурового долота / Р. М. Богомолов, Л. В. Морозов, Н. В. Носов та ін. // Вестн. Самар. гос. техн. ун-та. – 2005. – № 39. – С. 98–103.
9. Корнута В. А., Даляк Т. М. Моделювання напружено-деформованого стану з'єднання корпус (шарошка) – твердосплавна вставка контактом двох гладких циліндрів // Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ. – 2009. – № 1 (30). – С. 48–53.
10. Zienkiewicz O. C., Taylor R. L. The Finite Element Method Volume 1: The Basis. – [5 ed.] – Oxford : Butterworth - Heinemann, 2000. – 694 p.
11. Морозов Е. М., Никишков Г. П. Метод конечных элементов в механике разрушения. – М. : Наука, 1980. – 254 с.
12. Берникер Е. И. Посадки с натягом в машиностроении. – М. ; Л. : Машиностроение, 1966. – 166 с.
13. Совершенствование методов технологического обеспечения качества изготовления шарошечных долот : Отчет о НИР (промежут.) : 58 / ВНИИБТ. – М., 1980. – 134 с.
14. Крылов К. А., Стрельцова О. А. Повышение эффективности и долго-вечности буровых долот. – М. : Недра, 1983. – 206 с.
15. Матлин М. М. Исследование трения в соединениях с натягом : автореф. дис. ... канд. техн. наук : спец. 05.02.04 – Волгоград, 1981. – 18 с.
16. Гречищев Е. С., Ильяшенко А. А. Соединения с натягом: Расчеты, проектирование, изготовление. – М. : Машиностроение, 1981. – 248 с.

Надійшла 16.06.10

УДК 622.24

А. О. Ігнатов, С. Ю. Андрусенко

Національний гірничий університет, м. Дніпропетровськ, Україна

ЛАНЦЮГОВИЙ ПІДХІД ДО ПРОЕКТУВАННЯ БУРОВИХ ДОЛІТ

A construction and principle of action of disk drill bits is considered.

Вступ. При безкеровому бурінні значно підвищується рейсова швидкість (інструмент підіймають лише для зміни зношеного долота), а також, в деяких випадках, збільшується і механічна швидкість буріння. Тому, при детальній розвідці родовищ корисних копалин, коли геологічний розріз району досліджено вивчено, і свердловини споруджуються лише для