

Сліпчук А. М., *Яким Р. С.

Національний університет "Львівська політехніка"

*Дрогобицький державний педагогічний університет ім. І.Франка

ПРОЕКТУВАННЯ НОВИХ ПРОДУКТОВИХ ЛІНІЙ ШАРОШОК ДЛЯ РОЗРОБКИ ФУНКЦІОНАЛЬНО-ОРІЄНТОВАНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ЇХНЬОГО ВИГОТОВЛЕННЯ

© Роман Яким, Андрій Сліпчук 2015

Дослідження має на меті вирішення проблеми підвищення якісних показників вставного породоруйнівного оснащення шарошок тришарошкових бурових доліт. Дослідження проводились як в умовах реального виробництва бурових доліт, так і на етапі моделювання у CAD-системі, комплексним застосуванням експериментальних лабораторних, стендових і натурних експлуатаційних випробовувань. Теоретично і експериментально обґрунтовано розроблені підходи у вдосконаленні комплексного підвищення якісних показників вставного породоруйнівного оснащення шарошок бурових доліт на етапах проектування, конструювання і виготовлення. Розв'язано задачу вдосконаленням конструкторських параметрів й способу розміщення породоруйнівного оснащення шарошок тришарошкових бурових доліт, що враховує фізико-механічні показники матеріалів та конструкторсько-технологічні параметри спряжених поверхонь „зубок - шарошка”.

Ключові слова: шарошка, твердосплавні зубки, селективні групи, бурове долото, натяг.

The aim of research is the improvement in quality indicators embedded rock cutting equipment of cutter drill bits. Research carried out as in a real production drilling bits and during modeling in CAD-system, integrated use of experimental laboratory, bench and field operational tests.

Theoretically and experimentally proved developed approaches to improve quality indicators comprehensively improve the embedded rock cutting equipment cutters drill bits during the design, construction and manufacturing. The problem of improving the design parameters and method of placement of rock cutting equipment cutters drill bits, taking into account the physical and mechanical properties of materials and design and technological parameters of conjugated surfaces "tooth - rolling cutter."

Keywords: cutter, carbide teeth, selective group, drill bit, tension.

Постановка проблеми. Для буріння особливо міцних порід широко застосовують широку гаму типорозмірів та конструкцій тришарошкових бурових доліт з вставним твердосплавним породоруйнівним оснащенням. Відомо, що характер розміщення вставного породоруйнівного оснащення, їхня кількість на вінцях шарошок, особливості форми породоруйнуючої частини вставних зубків та ін. визначають якісні технологічні показники при формоутворенні вибою і свердловини. Породоруйнівне оснащення працює у надзвичайно важких умовах. Відтак, при відпрацюванні доліт фіксуються руйнування твердосплавних зубків та спряжених з ним елементів вінців. Втрата функціональності породоруйнівної дії долота на вибої веде до прямих збитків при бурових роботах. Отже, поряд з проблемою підвищення довговічності та ефективності вставного породоруйнівного оснащення, існує мало вивчена проблема з розширення асортименту у виготовленні нових продуктивних ліній бурових доліт. Вирішення окресленої проблеми передбачає вдосконалення комплексного підходу щодо конструкторсько-технологічного забезпечення надійності з'єднання „зубок – шарошка” при створенні умов сприятливого напруженого стану в тілі зубків та у вінцях шарошки, що також уможливило підвищити якість технологічного процесу складання з'єднання „зубок-шарошка”.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Дослідження впливу механічних властивостей матеріалів тіла шарошки і зубка та конструкторсько-технологічних параметрів на надійність і міцність з'єднання „зубок-шарошка” є актуальними й мають важливе практичне значення.

Окресленим дослідженням присвячено роботи [1-6] та ін. Аналіз цих робіт дає підставу твердити, що для підвищення довговічності вставного породоруйнівного оснащення тришарошкових бурових доліт потрібно комплексно вирішити задачі з встановлення раціональних натягів у з'єднанні „зубок-шарошка”, підвищення якості формоутворення отворів у шарошці під хвостовики породоруйнівних вставок, підвищення якості процесів складання та розробки нових конструкцій хвостовиків породоруйнівних вставок, а також забезпечити умови економії цінних матеріалів.

Відомі також вирішення задачі способом спрощення моделювання напружено-деформованого стану у з'єднанні „зубок-шарошка” [7]. Тим не менше, як показано в [8] запропоновані спрощення не дозволяють врахувати специфіку спряження. Такі спрощення можуть бути застосовані для проектування пресування вставок у тіло спинки лапи (для попередження її зносу), оскільки тут немає змінного перерізу. Натомість шарошка, її вінці, конструкція породоруйнівного оснащення висуває вимоги щодо врахування напруженого стану від конструкції вінця в який пресуються твердосплавні зубки.

Вимоги, які ставляться до фізико-механічних, експлуатаційних властивостей шарошки і зубка є суперечливі, а в деяких випадках взаємовиключні. Це вимагає докладного і всебічного виявлення та вивчення чинників, в першу чергу, фізико-механічних, які впливають на міцність з'єднання „зубок-шарошка”.

У роботах [9, 10] та ін. досліджено вплив конструкторсько-технологічних параметрів пресового з'єднання на його надійність, що визначається фактичним натягом. У роботах переконливо доведено необхідність усестороннього вивчення здатності таких з'єднань витримувати робочі навантаження із врахуванням сумісного впливу основних параметрів: геометричних розмірів деталей, пружних констант і твердості цих матеріалів, параметрів шорсткості та напрямку слідів механічного оброблення на спряжених поверхнях, характеру деформації й мікронерівностей тощо. Стосовно пресових з'єднань у машинобудуванні, то такі дослідження інтенсивно проводяться. Що ж стосується з'єднання „зубок-шарошка”, то отримані результати описані в роботах [3-6] вказують на застосування комплексного підходу до вирішення окресленої проблеми.

Дослідженню впливу технологічних параметрів на надійність з'єднання „зубок-шарошка” присвячено роботи [3, 11] в яких проблема вирішується шляхом організації процесу складання за допомогою формування селективних груп зубків і отворів. Застосування селективного складання дозволяє отримати більш однорідні з'єднання деталей: в пресових посадках найбільший натяг зменшується, найменший – збільшується, і обидва вони наближуються до середнього. Зменшення різниці між натягами підвищує однорідність, а отже, і якість з'єднання.

Авторами [1], на основі малих статистичних вибірок лінійних розмірів партії одного типорозміру зубків та відповідного числа отворів у шарошці, розглянуті величини імовірних натягів у з'єднанні „зубок-шарошка”. У результаті встановленого номінального діапазону натягів (0,111-0,167мм) для доліт 250,8 ОКП-ГВ, рекомендовано зменшити діаметр отвору в корпусі шарошки до величини $12,66^{+0,05}$ мм. Однак, зважаючи на велику кількість зубків що пресуються в різні типорозміри шарошок, сьогодні на виробництві застосовується найбільш перспективний спосіб – це формування селективних груп зубків. Одночасно ведуться активні роботи щодо забезпечення і контролю точності формоутворення отворів під посадку зубків.

На перспективність селективного складання вказують також останні дослідження з організації і автоматизації цього процесу [12]. Однак при цьому необхідно формувати селективні групи зубків не за кресленням як на цьому наполягають автори, а відповідно до параметрів фактичних отворів під посадку зубка. Також в роботах приділено мало уваги геометричним параметрам селективних груп, які б були практичними у реальному процесі пресування твердосплавних вставок.

Важливим для забезпечення надійності вставного породоруйнівного оснащення є застосування спеціальних матеріалів та оптимізація параметрів пресування. Зокрема в [13] показано, що при знежиренні спряжених поверхонь ацетоном відбувається різке зростання як сили запресовування, так і сили випресовування. Автори пояснюють це явищем схоплюванням спряжених поверхонь. Процес попереднього деформувального прошивання отворів після свердління перед впресовуванням забезпечує високу точність отвору, при цьому спостерігали на 30% підвищення стійкості з'єднання.

Суттєво підвищити надійність з'єднання „шарошка - зубок” у бурових долотах можна за рахунок точності його складання [1-3, 6]. Точність складання характеризується величиною оптимального натягу, який є одним з чинників, що найбільш суттєво впливає на напружений стан в спряжених поверхнях з'єднання.

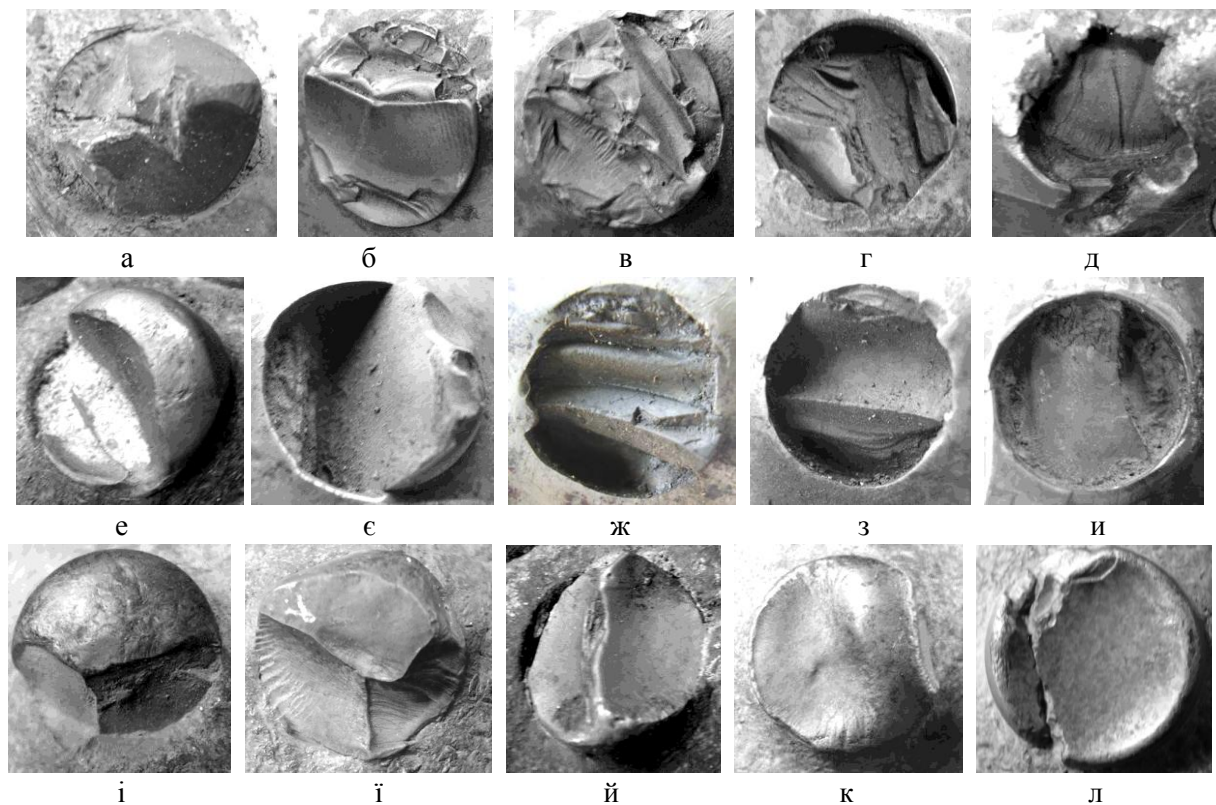
Напружений стан у пресового з'єднання „зубок-шарошка”, як відомо визначає величина натягу. З другої сторони точність конструкторських параметрів спряжених поверхонь „шарошка-зубок” визначає характер цього напруженого стану, тому на це обов'язково необхідно зважати при встановленні раціональних натягів.

Формулювання цілі статті. Метою дослідження є розробка практичних рекомендацій щодо вдосконалення конструкції та розширення функціональності вставного породоруйнівного оснащення тришарошкових бурових доліт. З цією метою необхідно дослідити вплив характеру й параметрів розміщення зубків у вінцях шарошки на напружений стан у спряжених деталях й встановити раціональні межі допустимих навантажень, які забезпечують міцність твердосплавних зубків й тіла шарошки під час технологічного процесу складання та при експлуатації долота.

Виклад основного матеріалу.

При оцінці довговічності вставного породоруйнівного оснащення визначальним є тріщино-стійкість твердосплавних зубків, тому однозначну відповідь на питання про раціональні натяги потрібно шукати у встановленні оптимальних напружень виходячи з конкретних фізико-механічних показників тіла вінця шарошки і хвостовика зубка. Тут критеріями оптимальності є показники тріщиностійкості матеріалів деталей.

На рис. 1 подано типові руйнування вставного твердосплавного оснащення шарошок.



а-д – руйнування від вершини з утворенням великої кількості тріщин в зубку,

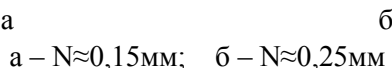
е-и – руйнування від вершини з утворенням декількох тріщин в зубку,

і-й – руйнування від вершини з самозаточуванням зубків,

к-л – руйнування сколюванням породоруйнюючої частини зубків

Рис. 1 – Типові руйнування серійних твердосплавних вставних зубків

Встановлено, що фізико-механічні та експлуатаційні показники якісних плавок сталі 14ХНЗМА забезпечують найкращі показники для надійного кріплення вставних зубків і відтак довговічності вставного породоруйнівного оснащення шарошок (рис. 2, б). Одночасно зауважено, що високі значення натягу в з'єднанні „зубок-шарошка” спричинюють руйнування твердосплавних зубків при високій твердості вінців шарошок (рис. 2, б), що було виявлено при стендових випробовуваннях доліт.



Застосування сталі 16ХНЗМА для шарошок дало до 3% сколювання породоруйнівного оснащення, мало місце розхитування та випадання зубків [2]. Інший характер руйнування вставного породоруйнівного оснащення зафіксовано на шарошках зі сталі 20ХНЗА і 17НЗМА. Тут переважно зубки випадали через високу жорсткість в системі „шарошка-зубок-вибій” зумовленою нижчою границею плинності таких марок сталей (рис. 3).



4

Ще одним важливим пунктом у призначенні параметрів посадки є розподіл твердості від поверхні вінця шарошки у серцевину. Так, з плавним зменшенням твердості від HRC62-57 (на поверхні зміцненого шару вінця шарошки), до HRC40-35 (твердості на дні отвору під вставний зубок, що відповідає значенням твердості серцевини шарошки), міцність з'єднання „зубок-отвір” підвищується. При цьому збільшується величина граничного натягу, внаслідок чого може бути розширений допуск посадки.

Конструкторські параметри отворів також суттєво впливають на призначення посадок. Цю проблему вирішують технологічними способами. Зокрема свердління, підбір дна, розвірчування і зенкерування отворів під вставні зубки ведеться з одного установу із застосуванням спеціалізованого інструменту. На етапі підготовки виробництва здійснюється формування селективних груп зубків, відповідно до значень розмірів отворів у вінцях шарошки. На етапі складання з'єднання „зубок-шарошка” застосовується теплове і швидкісне пресування [3, 6].

Для оцінки напруженого стану в конструкціях шарошок долота діаметром 302мм здійснено в середовищі що уможливорює органічне застосування у CAD-системах для проектування й підготовки виробів до освоєння й виготовлення сучасним виробництвом. Розглядали випадок характеру дії зведеної сили в 28кН, прикладеної до однієї шарошки. Це зусилля розподіляється між вінцями шарошки й породоруйнуючою поверхнею зубків (на один зубець припадає близько 5кН).

Прототипом конструкції є один з найпростіших варіантів продуктової лінії доліт ОК, у яких зубки на вінцях розташовуються по центру і на однаковій відстані. Виходячи з міркувань про те, що сучасні долота провідних фірм мають складні конструкції й різні способи розташування породоруйнівних зубків на вінцях, здійснено спробу розробити конструкцію у якій твердосплавні зубки розташовуються з певним зміщенням по парах. Попарне розташування забезпечує зменшення навантаження на зубок завдяки чому вони навантажуються майже одночасно. Також аналізом процесу розпресування з'єднання встановлено, що міцність з'єднання „зубок-шарошка” суттєво зростає зі зменшенням відстані між ними. Проблемою є встановлення мінімального значення відстані між парою вставних зубків, за якої зберігається тріщиностійкість тіла вінця.

Розрахунки й 3-D моделювання уможливили встановити відстань між зубками у парі рівною 4,2 та 4,3мм у лінії. Це дасть змогу зменшити навантаження на зубок. У базовій конструкції, за рівномірного розміщення зубків на один зубок припадає 85% від усього навантаження, це орієнтовно для такої шарошки складатиме 80кН. У запропонованій конструкції таке навантаження зменшиться на 35-40%.

Результати моделювання розробленої конструкції шарошки подано на рис. 4. На вінці С та D (на рис. 4 це 2 та 1 вінець) до чотирьох зубків розміщених коло основного зубка – прикладаємо розподілену силу по 120 Н/мм² на зубець.

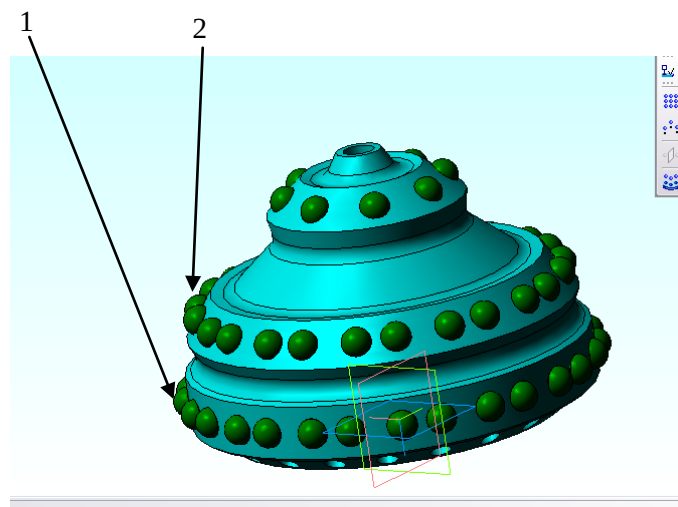


Рис. 4. Моделювання розробленої конструкції 3-D шарошки тришарошкового бурового долота діаметром 302мм без навантаження

Для другого ряду навантаження передбачається такі ж, як ряд 1 є калібрувальним і несе також високі навантаження. Відстань між парами зубків у вінці складатиме 9,8мм та 11,4мм. Такі розміри були вибрані виходячи з конструкторських міркувань. З однієї сторони така відстань не повинна бути великою, щоб кожна пара іншого вінця перекривали траєкторію іншої. З іншої сторони, така відстань не повинна бути дуже малою, що призведе до перевитрат на матеріалі зубків. Загалом у контактній зоні зубки знаходилися під навантаженням до 80кН, що відповідно впливає на напружений стан вінців шарошки. Крім того враховано тиск від натягу посадки „зубок – шарошка” – 114 МПа. Результати здійснених досліджень характеру напруженого стану у вінцях шарошки подано на рис. 5.

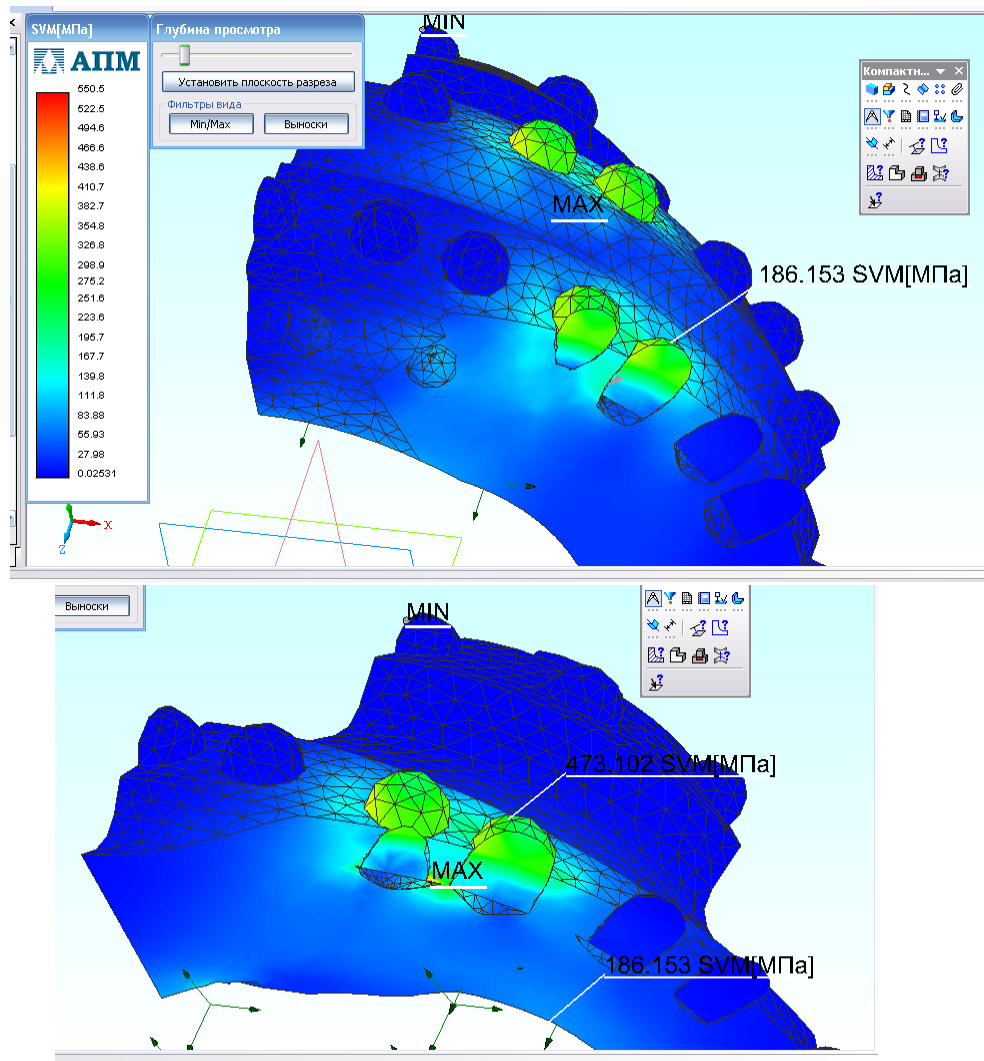


Рис. 5 Моделювання напруженого стану у ділянках спряження „хвостовик зубка – отвір шарошки” на калібруючому і основних вінцях шарошки бурового долота діаметром 302мм

Отже у досліджуваній конструкції шарошки, у якій два основних вінця мали 12 пар у першому ряді, тобто 24 зубки та 14 пар зубків у другому ряді, тобто 28 зубків (зов. вигляд такої шарошки представлений на рис. 4). Аналізом характеру пошкоджень аналізованих вінців встановлено, що вони зазнають найбільших навантажень, що узгоджується з даними [3].

Отримані результати (рис.5) дають змогу твердити, що найбільші напруження виникають в ділянці виходу зубка з вінця шарошки. Напруження, що створюють в тілі вінця шарошки попарно розташовані вставні зубки не перевищують границі міцності сталі шарошки. Напруження від посадки, яке рівне 114МПа також уможливило очікувати ефект попередження браку при реалізації технологічного процесу виготовлення долота, а саме на етапі складальних операцій. Слід зауважити,

що моделювання злому одного зубка на вінці не виявило схильності до перевантаження сусіднього. Це дозволяє припустити що у новій конструкції усувається негативний ефект який притаманний типовим конструкціям – у випадку коли ламається один зубок то руйнується й наступний. Для усунення негативної дії абразиву на проміжки між парами зубків рекомендується внести зміни в процес зміцнення шарошок.

Здійснено також дослідження щодо вибору кількості вставних твердосплавних породоруйнівних елементів, їхніх геометричних параметрів. Така задача, як правило вирішується досягненням ефективного перекриття породоруйнівних елементів на вінцях шарошок за мінімальної кількості вставних зубків. Це забезпечує режим руйнування породи на вибої за мінімальних витрат твердого сплаву. Тим не менше, добитися різкого зростання значень проходу долота можливо за рахунок підвищення ефективності породоруйнюючого ефекту шарошок бурових доліт. З цією метою вивчено характер напруженого стану тіла шарошки, якщо кількість зубків розмістити у такий спосіб.

На рис. 6 представлено результати моделювання напруженого стану шарошки у 3-D моделі. Аналізом встановлено, що напруження в тілі зубка є у межах до 550 МПа, що є допустимим для даного матеріалу з граничною міцністю 1800МПа, а для тіла вінців шарошки найбільш напруженим місцем виявилось у ділянці між зубками у основі твірної хвостовика зубка.

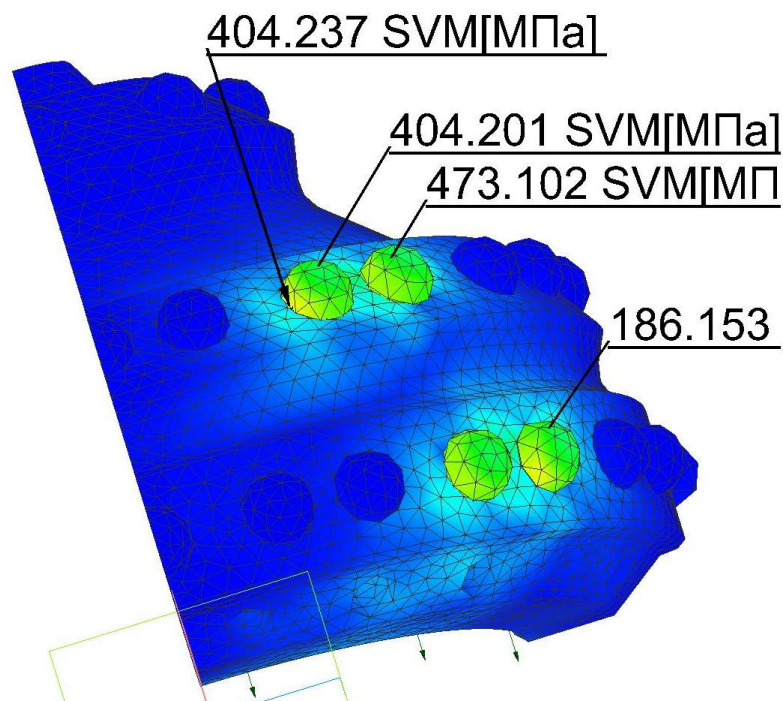


Рис. 6 Моделювання напруженого стану у ділянках спряження „хвостовик зубка – отвір шарошки” на калібруючому і основних вінцях шарошки із збільшеною кількістю зубків (22 і 24 відповідно)

Висновки. Встановлено характер розподілу контактних напружень у спряжених ділянках „хвостовик зубка – отвір шарошки”. Для створення сприятливого розподілу напруженого стану у ділянці поверхні отвору у вінці шарошки ефективним є попередження виникнення тріщин. Для цього слід ретельно здійснювати захист від цементації вінців шарошки. У випадку конструкцій з багаторядним розташуванням твердосплавних зубків на вінцях, ефективним є виконання вифрезерованих площадок на глибину цементованого шару, що попереджає викришування фрагментів вінців шарошки. Також встановлено, що збільшення у двічі кількості зубків на вінцях шарошки суттєво не змінює напружений стан між вставними зубками. Це створює можливості різко підвищити ефективність агресивного впливу породоруйнівного оснащення на вибій та забезпечувати вищі технологічні показники доліт при спорудженні свердловин. Запропонований підхід щодо способу розташування вставних твердосплавних зубків не потребує докорінної чи значної зміни існуючого технологічного процесу складання з’єднання „зубок – шарошка.”

Випробовування шарошок вдосконаленої конструкції у стендових умовах, при застосуванні металевого вибою, підтвердили ефективність отриманих параметрів конструкції вставного породоруйнівного оснащення шарошок. Зокрема, ефективно забезпечується перекриття площини вибою. При цьому знос вінців шарошки не більший від базової конструкції. За 6 годин роботи долота, по металевому вибою, породоруйнівне оснащення не зазнало помітних руйнувань. При створенні екстремальних умов буріння, коли ламається один твердосплавний зубок на найбільш навантаженому вінці, не фіксували руйнування наступного по ходу обертання шарошки. Аналізом встановлено, що у ділянці „хвостовик зубка – отвір шарошки” не виникає тріщин.

Загалом, теоретично і експериментально обґрунтовано розроблені підходи у вдосконаленні комплексного підвищення якісних показників вставного породоруйнівного оснащення шарошок бурових доліт на етапах проектування, конструювання і виготовлення. Розв’язано задачу вдосконаленням конструкторських параметрів й способу розміщення породоруйнівного оснащення шарошок тришарошкових бурових доліт, що враховує фізико-механічні показники матеріалів та конструкторсько-технологічні параметри спряжених поверхонь „зубок – шарошка”. Це створює основу для проектування нових продуктивних ліній шарошок. Застосування імітаційного 3-D моделювання створює найсприятливіші умови не тільки для удосконалення існуючої системи забезпечення якості на основних етапах створення тришарошкових бурових доліт, а й розробки функціонально-орієнтованої технології їхнього виготовлення.

Надалі актуальним є розробка нових конструкцій ефективного розташування вставного породоруйнівного оснащення шарошок, попередження прокручування вставних твердосплавних породоруйнівних вставок, а також автоматизації процесів селективного складання з’єднання „зубок-шарошка”.

Список літератури

1. Підвищення якості кріплення твердосплавного озброєння шарошкових доліт / Є. І. Крижанівський, І. В. Воєвідко, Г. С. Веселовський, Р. Й. Гук // *Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ*. – 2008. – № 4(29). – С. 17 – 21.
2. Петрина Ю. Д. Аналіз надійності з’єднання „зубок-шарошка” в тришарошкових бурових долотах / Ю. Д. Петрина, Р. С. Яким, Т.Б. Пасинович // *Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ*. – 2008. – № 1 (26). – С.48–54.
3. Яким Р. С. Науково-практичні основи технології виготовлення тришарошкових бурових доліт та підвищення їх якості і ефективності: монографія / Р.С.Яким, Ю.Д.Петрина, І.С.Яким. – Івано-Франківськ: Видання ІФНТУНГ, 2011. – 384 с.
4. Яким Р.С. Основні засади вдосконалення конструкції вставного твердосплавного оснащення тришарошкових бурових доліт / Р. С. Яким // *Нафтогазова енергетика*. – 2011. – № 1 (14). – С.22–28.
5. Яким Р. С. Підвищення якісних показників вставного породоруйнівного оснащення шарошок тришарошкових бурових доліт / Р. С. Яким, Ю. Д. Петрина, І. С. Яким // *Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ*. – 2013. – № 3 (48). – С. 127 – 138.
6. Підвищення надійності вставних породоруйнівних зубків в тришарошкових бурових долотах / Ю. Д. Петрина, Р. С. Яким, Д. Ю. Петрина, Т. П. Венгринюк, Н. Я. Пицків // *Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ*. – 2014. – № 1 (50). – С. 82 – 87.
7. Моделирование запрессовки зубков шарошечных долот в программном комплексе ANSYS” / В. Г. Шуваев, В. А. Папшев, Д. В. Анкундинов, О.А.Прояева // *Математические модели механики, прочности и надёжности элементов конструкций, Математическое моделирование и краевые задачи: труды четвёртой Всероссийской научной конференции с международным участием (Самара, 29 - 31 мая 2007 г.)*. – Часть 1. – Самара: СамГТУ, 2007, 289 – 292 с.
8. Яким Р. С. Проектно-конструкторські основи вдосконалення технології виготовлення шарошок із вставним твердосплавним породоруйнівним оснащенням тришарошкових бурових доліт / Р. С. Яким, А. М. Сліпчук // *Збірник наукових праць III – ої Всеукраїнської науково-технічної конференції „Прогресивні технології в машинобудуванні” (Львів 2 – 6 грудня 2015 р.)* / МОН України, НУ „Львівська політехніка”. – Львів: Видавництво НУ „Львівська політехніка”, 2015. – С. 114 – 116.

9. Матлин М. М. Исследование зависимости действительного натяга от параметров прессового соединения / М. М. Матлин, Е. Н. Казанкина, В.А.Казанкин // Известия Волгоградского государственного технического университета: серия: Проблемы материаловедения, сварки и прочности в машиностроении. – 2008. – Вып. 4. – № 4(64). – С. 110 – 112.

10. Анализ влияния различных факторов на фактическую площадь контакта деталей соединений с натягом / М. М. Матлин, Г. П. Барабанов Е. Н. Казанкина, В. А. Казанкин // Известия Волгоградского государственного технического университета: серия: Проблемы материаловедения, сварки и прочности в машиностроении. – 2009. – Вып. 3. – № 11(59). – С. 88 – 91.

11. Кремлев В. И. Повышение долговечности буровых шарошечных долот на основе совершенствования технологии сборки и упрочнения шарошек с твердосплавными зубками: автореф. дис. на соискание научн. степени канд. техн. наук: спец. 05.02.08 „Технология машиностроения” / В. И. Кремлев. – Самара, 2009. – 20 с.

12. Набатников Ю. Ф. Обеспечение качества соединений „твердосплавная вставка-отверстие” шарошечных буровых долот / Ю. Ф. Набатников, Е. И. Сизова // Горное оборудование и электромеханика. – 2008. – № 3. – С.20-23.

13. Кривошея В. В. Перспективная технология сборки породоразрушающих инструментов. / В. В. Кривошея, А. В. Мельничук. // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения: тезисы докладов V Международной конференции (пос. Морское, Крым 21 – 27 сентября 2002 г.) / ИСМ им. В.Н.Бакуля НАН Украины. –К.: ИПЦ АЛКОН НАН Украины, – 2002. – С.140 – 144.