

7. Гуняев Г. М. Технология и эффективность модифицирования углепластиков углеродными наночастицами / Г. М. Гуняев, С. И. Ильченко, О. А. Комарова и др. // Конструкции из композиционных материалов, 2004. – № 4. – С. 77 – 79.

8. Вишняков Л. Р. Полимерные гибридно-армированные композиты для лопастей малых ветродвигателей / Л. Р. Вишняков, Б. Н. Синайский, О. П. Яременко, В. С. Петропольский, З. Н. Демиденко // Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні, 2009. – №2. – С. 41- 45.

9. Вишняков Л. Р. Демпфирующие свойства гибридных полимерных композиционных материалов на основе углеродных и базальтовых волокон / Л. Р. Вишняков, А. В. Мозговой, Б. Н. Синайский, В. П. Мороз // Композитные материалы. Международный научно-технический сборник. Днепропетровск : ДГАУ, 2010. – Т.4. – №1. – С. 58 – 60.

DISPERSION OF MECHANICAL ENERGY WITH HYBRID COMPOSITES WITH POLYMER MATRIX

***Abstract.** The article shows the influence of the structure and geometry of structural elements of hybrid composites with a polymer matrix reinforced with carbon, glass and basalt fibers on the character of the dispersion of mechanical energy by them. It has been revealed the increase in the operational properties of carbonic composites after the introduction of carbon nanotubes and nanoparticles modifiers into the matrix. The paper established the value of damping properties of polymer carbonic composites, which are reinforced with carbon cloth and carbon tape.*

***Keywords:** hybrid composites, polymer matrix, carbon, glass, basalt fibers, mullite particles, carbon nanotubes, carbon nanoparticles.*

Олександр Мозговий, Едуард Посвятенко, Наталя Посвятенко, Віктор Русских

ОДНА ІЗ ПРИЧИН ПОШКОДЖЕННЯ ШЕСТЕРЕННИХ ГІДРОМАШИН

***Анотація.** Встановлено додаткове джерело генерування абразивних частинок робочими деталями гідромашини, що виникають завдяки кавітації. Запропоновано безводневе азотування у тліючому розряді, яке прискорюється попередньою холодною пластичною деформацією, як альтернативну фінішну операцію технології виготовлення та ремонту гідромашин.*

***Ключові слова:** гідромашина, гідроабразивне зношування, кавітація, безводневе азотування.*

Постановка проблеми. У процесі експлуатації шестеренні насоси потребують ремонту. Ресурс роботи таких насосів до ремонту залежить від багатьох факторів. Підвищення надійності роботи шестеренних насосів є актуальною науковою і народногосподарською проблемою. Ефективним напрямом вирішення цієї проблеми є встановлення причин зношення їх складових частин і, відповідно, відмови у роботі.

Метою статті є встановлення причин зношення деталей шестеренного насоса.

Аналіз публікацій. Аналіз літературних даних показує, що зношування деталей шестеренних насосів є основною причиною зниження його експлуатаційних характеристик і ресурсу. Число відмов насосів становить 67-75% [1]. Порушення герметичності нагнітальної порожнини, зростання внутрішніх витрат, величина яких визначає основні технічні характеристики насоса, викликано зношуванням деталей насоса. В першу чергу це зміна первинної макро- і мікрогеометрії поверхонь та їх фізико-механічних властивостей [2].

Фірма «Вікерс» (Великобританія) та Британська дослідницька асоціація гідромеханіків (BHRA) проводила дослідження з визначення залежності ресурсу гідравлічних компонентів від класу чистоти рідини. Було встановлено, що рівень забруднень (клас чистоти) робочої рідини напряму впливає на ресурс компонентів гідросистеми. Правильна фільтрація підвищує тривалість використання робочої рідини.

Пошкодження шестеренних гідромашин. Основним видом пошкодження в шестеренному насосі є гідроабразивне зношування. Частинки, що руйнують поверхню деталей шестеренних насосів, виступають: нерухомо закріплені тверді зерна, в поверхні

деталей з високою твердістю (шаржування поверхні) і вільні частинки, що втягуються в потік робочою рідиною. в потоці рідини. Зношування від абразивних частинок протікає в умовах ударної взаємодії твердих частинок по поверхні деталі. В залежності від властивостей матеріалів і кута атаки абразивними частинками зношування може мати природу крихкого руйнування, мікрорізання, пластичного витіснення, виникнення і росту мікротріщин. Кут атаки, швидкість потоку, концентрація, розмір, твердість абразивних частинок впливають на інтенсивність зношування. Коли кут атаки зменшується величина ударного імпульсу знижується і збільшується ймовірність дряпання і мікрорізання поверхні. Риски на поверхнях цапф шестерень, а також на вершинах і торцях зубців (рис. 1). підтверджують гідроабразивний механізм зношування шестерень шестеренних насосів.



Рис. 1. Цапфи, вершини і торці зубців шестерні насоса НШ-32У зі слідами абразивного зношування

Візуальним та інструментальним макро- і мікродослідженням усіх спрацьованих поверхонь шестерень, а також корпуса і втулок насосів типу НШ підтверджується такий вид зношування. За характером дії абразивних частинок на поверхні, що зношується, є усі підстави ідентифікувати схему силової взаємодії абразиву з деталями насоса як механічний та гідроабразивний контакти, чи їх поєднання.

У публікаціях [1, 2, 3] розглядається гідроабразивна природу зношування. Сучасні машини оснащені ефективними засобами захисту від потрапляння абразиву у контакт: ущільнення, фільтри, відстійники, магнітні уловлювачі тощо. Але у гідросистемах виникають додатково абразивні частинки. Питання їхньої появи можна пояснити генеруванням поверхневим шаром сталей зубців шестерень, твердість якого після цементації та гартування сягає HRC 58-62. Корпус та втулки насоса виготовляють з кольорових сплавів, наприклад, з алюмінію, які не можуть генерувати частинки із твердістю більшою за твердість поверхні сталей зубців шестерень і викликати зношення останніх. Логічною є гіпотеза про кавітаційне зношування на початку експлуатації нового чи відремонтованого шестеренного насоса. Таке зношування відбувається в результаті багатоциклової дії на поверхню гідравлічних ударів, що виникають при миттєвому закритті мікропорожнин (бульбашок) поблизу поверхні деталі [4].

Кавітаційна ерозія. Явище кавітації відоме давно. Його суть полягає у порушенні суцільності рідини і утворення в ній парогазових бульбашок при місцевому зниженні тиску у потоці швидко рухомої рідини або полі змінного тиску. При цьому основну роль при кавітаційній дії на граничні поверхні грає фаза закривання бульбашки і енергія, яка

повільно накопичується у процесі росту бульбашки, концентрується і виділяється за значно короткий час (близько 10^{-6} с) у малому просторі (порядку 10^{-6} мм³) [5, 6]. Кавітаційні бульбашки pojawiaються у рідині за наявності кавітаційних зародків – забруднення системи: розчинений у рідині газ, газонасичені тверді частинки чи ділянки стінок насоса, тріщини тощо.

Характеристикою потоку рідини є безрозмірний параметр – число кавітації. Для зубців насоса це число визначається так:

$$\sigma = \frac{P_1 - P_v}{\rho v_1^2},$$

де P_1 – статичний тиск перед зубцем насоса і v_1 – відносна швидкість рідини при вході у насос, P_v – значення тиску, при якому виникає кавітація, ρ – густина рідини [7].

Великі і швидкозмінні тиски поблизу бульбашок, які стискаються, викликають руйнування поверхні матеріалу, який контактує з потоком рідини. Тиски, що викликають руйнування матеріалів, визначаються впливом кумулятивних цівок, які утворюються при несиметричному змиканні кавітаційних бульбашок. Ерозія матеріалів при цьому може мати значний вплив на геометричні розміри деталей і роботу механізму в подальшому.

Різні матеріали не однаково стійкі до кавітаційної ерозії. У більшості з них спостерігається інкубаційний період, коли ерозія відсутня. За ним спостерігається період швидкого росту пошкоджень ерозією і потім настає період відносно стабільного стану, при якому швидкість ерозії постійна. Коли поверхня сильно пошкоджена і покрита раковинами, швидкість ерозії падає [7].

Релей [8] запропонував вивчати розвиток кавітаційних бульбашок в припущенні безмежної рідини використовуючи сферичну модель бульбашки. Він вивів рівняння сферично симетричного закривання пустої сферичної порожнини в безмежно ідеальній нестисливій рідині [9].

$$R \frac{d^2 R}{dt^2} + \frac{3}{2} \left(\frac{dR}{dt} \right)^2 + \left[\frac{p_\infty - p(R)}{\rho_0} \right] = 0. \quad (1)$$

Враховуючи у рівнянні Релея трьох доданків, які описують тиск адіабатичного стиску вмісту кавітаційної бульбашки, поверхневого натягу рідини і ультразвукове поле, отримують рівняння Нолтінга-Непайраса [9]. Херрінг [3, 10] вперше врахував стиск рідини для дозвуквих течій. Флінн [5] доповнив його рівняння доданком, який враховує в'язкість рідини μ і в результаті рівняння Херрінга-Флінна буде мати вигляд

$$R \left(1 - \frac{2U}{c_0} \right) \frac{d^2 R}{dt^2} + \frac{3}{2} \left[1 - \frac{4U}{3c_0} \right] \left(\frac{dR}{dt} \right)^2 + \frac{1}{\rho} \left(p_0 + p_n + p_a \sin \omega t + \frac{2\sigma}{R} + \frac{4\mu U}{R} - \left(p_0 + \frac{2\sigma}{R_0} \right) \left(\frac{R_0}{R} \right)^{3\gamma} \right) + \frac{RU}{\rho_0 c_0} \left(1 - \frac{U}{c_0} \right) \frac{dp(r)}{dR} = 0. \quad (2)$$

Для рішення інших задач і врахування других факторів авторами добавлялись нові складові в квадратних дужках. При цьому вид загального рівняння не змінювався. Наприклад, модель Гільмора [10] або модель Келлера-Миксиса [11].

На зношеній поверхні лопатей турбін, гребних валів, насосів та інших гідротехнічних пристроїв спостерігаються «віспинки», які характерні для кавітаційних процесів. Проте на зношених деталях шестеренних насосів, що надходять у ремонт, спостерігаються лише поздовжні подряпини, оскільки початкові кавітаційні «віспинки» зішліфовуються абразивними частинками, що знаходяться в робочій рідині. Таким чином, на нашу думку, зношування шестерень насосів має кавітаційно-гідроабразивну природу. Особливо це стосується зовнішніх поверхонь (периферії) зубців, яка у відповідності з кінематикою гідромашин типу НШ не повинна контактувати з поверхнями інших деталей

Шляхи зменшення впливу кавітаційної ерозії. На величину ерозії впливає рідина, яка використовується в насосах і її здатність насичуватись повітрям та іншими газами і

її забрудненість. Швидкість і температура рідини. Також впливає матеріал, з якого виготовляють лопатки чи зубці шестерень, корпус насоса.

Ефективним шляхом боротьби з кавітаційно-гідроабразивним зношуванням є азотування [12], що активується попередньою холодною пластичною деформацією [13], і може замінити широко розповсюджену цементацію. Типовим процесом підвищення зносостійкості зубчастих коліс гідромашин, що працюють в умовах переважно абразивного зношування, є цементація з наступним гартуванням, низькотемпературним відпусканням і фінішною абразивною обробкою. Мета цементації, що полягає у дифузійному насиченні поверхні маловуглецевих легованих сталевих виробів вуглецем, - отримання високої твердості та зносостійкості поверхні виробів при в'язкій серцевині. Глибина цементованого шару, що вміщує понад 0,4% вуглецю, може сягати понад 1 мм, а тривалість процесу перевищує 10 годин (орієнтовно 0,1 мм/г). При газовій цементації зубчасті колеса нагрівають в середовищі природного газу до температури 1223-1273 К, тобто вище точки $A_{с3}$. Це призводить до зростання зерна мікроструктури і виникнення цементитної сітки. Ще одним недоліком процесу є короблення деталей, що викликається високотемпературним нагріванням і вимагає великих припусків на чистову обробку, і, як наслідок, нерівномірність зміцненого шару.

Висновки. Виходячи з цього, потрібно використовувати такі матеріали і рідини, які для експлуатаційних режимів мають показники, що найбільше зменшують вплив кавітаційних бульбашок на деталі насоса. Наприклад [7], найбільшу стійкість до ерозії має алюмінієва бронза, але вона дуже погано ллється. Висока стійкість до ерозії у мартенситної сталі. Коли проблема крім ерозії є ще у корозії, тому можна використовувати аустенітну сталь, з трохи меншим опором ерозії. Хороший опір ерозії у нікелевих сплавах, титані. Правда, він дуже дорогий у використанні. Зменшують кавітаційну ерозію м'які матеріали і також пластики чи резина у якості покриття. Важкість їх використання полягає у забезпеченні надійного прилягання до металевих деталей.

Список використаних джерел

1. Ремонт шестеренних насосів гідросистем дорожніх машин / Е.К. Посвятенко, В.М. Кропивний, Н.І. Посвятенко, В.В. Русских // Bulletin of Kharkov national automobile and highway university. Collection of Scientific Works. – Kh.: KhNAHU, 2017. – Issue 38. – P. 113 – 117.
2. Кропивний В.Н., Кулешков Ю.В., Русских В.В. Влияние износа деталей шестеренного насоса на его работоспособность / В. Н. Кропивный, Ю. В. Кулешков, В. В. Русских // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. – Кіровоград : КДТУ, 2003. – Вип. 33. – С. 264 – 271.
3. Русских В. В. Дослідження складу забруднень робочої рідини дорожньо-будівельних машин, тракторів та автомобілів / В. В. Русских. // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. – Кіровоград : КДТУ, 2013. – Вип. 43. – Частина II. – С. 246 – 255.
4. Основы трибологии (трение, износ, смазка). Учебн. для техн. вузов / под. общ. ред. А.В. Чичинадзе. – М. : Машиностроение, 2001. – 664 с.
5. Флинн Г. // Физическая акустика / Под ред. У.М.Мазона, 1967. – Т. 16. – С. 7-138.
6. Мощные ультразвуковые поля / Под ред. Л.Д.Розенберга. – М. : 1968. – 268 с.
7. Пирсол И. Кавитация. – М. : «Мир», 1975. – 94 с. I.S.Pearsall Cavitation
8. Rayleigh // Phil. Mag. Vol. 34, 200, 1997. 94-97.
9. Noltingk В.Е., Neppiras Е.А. // Proc. Phys. Soc. 1950. Vol. 63В, №9. P. 674-685.
10. Кнэпп Р., Дэйли Дж., Хэммит Ф. Кавитация. – М. : 1974. – 688 с.
11. Parlitz U., Englisch V., Scheffczyk С., Lauterborn W.: Bifurkation structure of bubble oscillations. J. Acoust. Soc. Am. №88, 1990, 1061-1077
12. Чаттерджи-Фишер Р. Азотирование и карбонитрирование. Пер. с нем. под. ред. А.В. Супова / Р. Чаттерджи-Фишер, Ф. -В. Сэйзел, Р. Хоффман, Д. Лидтке. – М. : Металлургия, 1990. – 280 с.
13. Посвятенко Е.К. Холодне пластичне деформування як метод прискорення азотування / Е. К. Посвятенко, В. В. Алексеев // Управління проектами, системний аналіз і логістика. – К.: НГУ, 2012. – Вип. 9. – С. 157 – 161.

ONE OF THE CAUSES OF DAMAGE TO GEARS OF HYDRAULIC MACHINES

Abstract. An additional source of generation of abrasive particles by working parts of the hydromachine, which arise due to cavitation, is installed. Anhydrous nitration is proposed in the glow discharge, which is accelerated by the previous cold plastic deformation, as an alternative finishing operation of the technology of manufacturing and repairing hydraulic motors.

Keywords: hydromachine, hydroabrasive wear, cavitation, hydrogen-free nitriding.

Ольга Мрачківська, Микола Моклюк

ВІКОВІ ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ІНТЕРАКТИВНОЇ ДОШКИ НА УРОКАХ ФІЗИКИ

Анотація. У статті розглянуто можливості вивчення фізики в закладах середньої освіти на основі використання інтерактивної дошки. Описано вікові особливості учнів та їх вплив на роботу з програмними засобами інтерактивної дошки.

Ключові слова: інтерактивна дошка, програмні засоби інтерактивної дошки, комп'ютерні навчальні програми, наочний матеріал, інтерактивність, візуалізація.

Останнім часом інтерактивна дошка (ІД) стала невід'ємною частиною освітнього процесу. Це пристрій є практично в будь-якій сучасній школі. Учителю з її використанням має можливість піднести учням інформацію, використовуючи широкий діапазон засобів візуалізації та інтерактивності. Її можна використовувати на усіх ступенях навчання в закладах середньої освіти, під час вивчення будь-якого предмета. Але не всі вчителі замислюються про педагогічну доцільність застосування ІД на своєму уроці. Адже мало просто показати на ній підготовлену або завантажену з мережі Інтернет презентацію і зробити записи від руки, необхідно ще й розуміти для якого вікового періоду які завдання краще пропонувати, щоб заняття проходило з найбільшою користю. Потрібно пам'ятати, що з віковими особливостями пов'язаний характер діяльності людини, особливості її мислення, коло його запитів, інтересів, а також соціальні прояви.

Разом з тим для дітей різного віку властиві свої можливості і обмеження в розвитку, які і потрібно намагатися враховувати у підготовці до уроку з використанням ІД.

Багато педагогів звертали увагу на необхідність глибокого вивчення і правильного обліку вікових і індивідуальних особливостей дітей в освітньому процесі. Ці питання, зокрема, ставили Я.А. Коменський, Дж. Локк, Ж.Ж. Руссо, а пізніше К.Д. Ушинський, Л.С. Вигодський та інші. Вікові особливості учнів вони розглядали в різному контексті, але всі сходилися в одному, що потрібно уважно вивчати дитину, знати її особливості і опиратися на них в процесі навчання і виховання. Ці розробки знайшли своє відображення в сучасній теорії використання засобів інформаційно-комунікаційних технологій в педагогічному процесі [2]. Розглянемо докладніше можливості використання ІД на різних ступенях навчання в загальноосвітній школі.

У шестирічному віці дитину чекає перша серйозна зміна в житті. Перехід у шкільний вік пов'язаний з рішучими змінами в його діяльності, спілкуванні, відносинах з іншими людьми. Провідною діяльністю стає навчання, з'являються нові обов'язки, новими стають і відносини дитини з оточуючими. Вчителі початкових класів знають, скільки складнощів виникає з учнями цього віку і скільки зусиль потрібно докласти, щоб не тільки привернути їхню увагу, утримати її, а й навчити. Під час планування своїх уроків педагогам слід пам'ятати, що пізнавальна діяльність молодшого школяра переважно проходить в процесі навчання. Сприйняття *молодших школярів* відрізняється нестійкістю і неорганізованістю, але в той же час гостротою і свіжістю. Увага молодших школярів не довільна, мало стійка, обмежена за обсягом. Мислення у дітей початкової школи змінюється від наочно-образного до абстрактно-логічного і у взаємозв'язку з їхньою мовою. На цьому етапі навчання слід весь матеріал до уроку оформляти яскраво,