

В.М. ШЕРЕМЕТ, аспірант каф. ТММ і САПР, НТУ "ХПІ", Харків

ДЕФОРМУВАННЯ ПОВЕРХНІ ДИСКРЕТНО ЗМІЦНЕНИХ ДЕТАЛЕЙ ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОМУ НАВАНТАЖЕННІ

У статті описані дослідження зміни номінального профілю поверхні дискретно зміцнених деталей. На прикладі фрагменту колінчастого вала ДВЗ проведено дослідження зміни початкового профілю поверхні. Виявлено, що профіль стає пагорбистим. Цей ефект названо « Δ -ефект».

В статье описаны исследования изменения номинального профиля поверхности дискретно-упрочненных деталей. На примере фрагмента коленчатого вала ДВС проведено исследование изменения начального профиля поверхности. Вывявлено, что профиль становится холмистым. Этот эффект назван " Δ -эффект".

In the paper researches of nominal profile change of discretely strengthened details surface are described. A study of surface initial profile change is conducted on example of combustion engine crankshaft fragment. It is detected that profile becomes hump-shaped. This effect is named " Δ -effect."

Вступ. У роботах [1-6] запропоновано новий спосіб підвищення ресурсу та забезпечення високої надійності, довговічності, технічних характеристик форсованих двигунів транспортної техніки за рахунок дискретного зміцнення, а також його впровадження у виробництво з метою збільшення конструктивної міцності важконавантажених елементів машин.

Цей новий спосіб формування зносостійких поверхонь металевих виробів (дискретне зміцнення) є альтернативою стандартним технологіям поверхневого гартування і азотування при виготовленні і ремонті високонавантажених деталей. При цьому обґрунтування технологічних параметрів дискретного зміцнення проводилося в основному експериментальним шляхом у виробничих та лабораторних умовах. Цей шлях є досить тривалим та затратним. З іншого боку, у роботах [6-8] були запропоновані нові підходи, методи та моделі для комп'ютерного моделювання *напружено-деформованого стану (НДС) елементів складних та надскладних систем. У зв'язку з цим пропонується вдосконалити та адаптувати методи* комп'ютерного моделювання НДС до аналізу зміни форми дискретно зміцнених деталей при дії на них експлуатаційного навантаження. Це дуже важливий чинник, оскільки для дискретно зміцнених деталей машин постають задачі забезпечення не тільки міцності, але й високих трибатеchnічних характеристик, а останні сильно залежать від рельєфу поверхні тіл, що перебувають у контакті.

Постановка задачі. Як відзначається у [1, 9, 10], для забезпечення високих трибатеchnічних характеристик деталей, що перебувають у рухомій контактній взаємодії, зокрема, деталей ДВЗ, досить широко застосовується спосіб створення поверхонь з рівномірно розташованими мікрозаглибинами, які поліпшують змащення, підвищують опір адгезії і корозії, скорочують період припрацювання. На відміну від терміну «шорсткість» для таких поверхонь введені поняття «мікрорельєф» та «макрорельєф» поверхні. Також відмічається, що розвинена система заглиблень забезпечує можливість проникнення мастильного середовища в зону тертя. Рівномірний мікро- та макрорельєф забезпечує локалізацію абразивних частинок середовища і продуктів зношування, що знижує ймовірність заклинювання пари тертя. Циркулююче заглибинами мастило покращує охолодження контактної поверхні.

Слід відмітити, що поверхні деталей, оброблені методом дискретного зміцнення, піддаються фінішній обробці шліфування, тобто мають після цього досить високу якість поверхні, яка мало відхиляється від циліндричної чи плоскої форми. Проте це може відбуватися при дії навантаження, оскільки фізико-механічні властивості матеріалу зон дискретного зміцнення, з одного боку, та основного матеріалу, – з іншого, відрізняються. Таким чином, виникає актуальна задача моделювання зміни форми номінального профілю поверхні дискретно зміцнених деталей. Оскільки для цієї мети аналітичні методи не підходять, потрібно залучати числові методи.

Розрахункова схема. Відомо, що проблема зміцнення поверхонь високонавантажених елементів машин (ВЕМ) за традиційними „об'ємними” або

„поверхневими” технологіями приводить до протиріччя між вартістю, енергоємністю, якістю, може призводити до непрацездатності конструкції і т.д. Тому, як відмічалось вище, на розвиток цих методів була запропонована принципово нова технологія дискретно-континуального зміцнення поверхневого шару ВЕМ. На рис. 1 наведена схема нанесення зміцнюючих зон (на прикладі опорної частини вала), а на рис. 2 – параметри технологічного процесу.

Як показали металографічні дослідження [3-5], на поверхні зміцнення S (див. рис. 1) в тіло основного металу 4 вкрапляється високолегований метал (дискретна зона зміцнення – ДЗЗ – діаметром d та глибиною h). Ця зона складається з поверхневого шару („білого шару”) товщиною b . Розміщення ДЗЗ на поверхні S характеризується кроками τ_{xy} в окружному напрямі та τ_z в – в осьовому. При цьому щільність покриття поверхні S (так званий коефіцієнт дискретності) визначається залежністю $f = \pi d^2 / 4 \tau_{xy} \tau_z$. Властивості матеріалів: $E_i, \nu_i (i=1,2,3,4)$ – відповідно модулі пружності та коефіцієнти Пуассона (номери відповідають позначенням на рис. 1); аналогічна нумерація для $\sigma_T^i, \sigma_\sigma^i$ – границі текучості та границі міцності матеріалів. Таким чином, наочний перелік параметрів технологічного процесу дискретно-континуального зміцнення – $P = \{d, \tau_z, \tau_{xy}, E, \nu, \sigma_T, \sigma_\sigma, h, b, H\}$, де $E, \nu, \sigma_T, \sigma_\sigma$ – це вся сукупність індексованих за номером матеріалу фізико-механічних та механічних властивостей матеріалів.

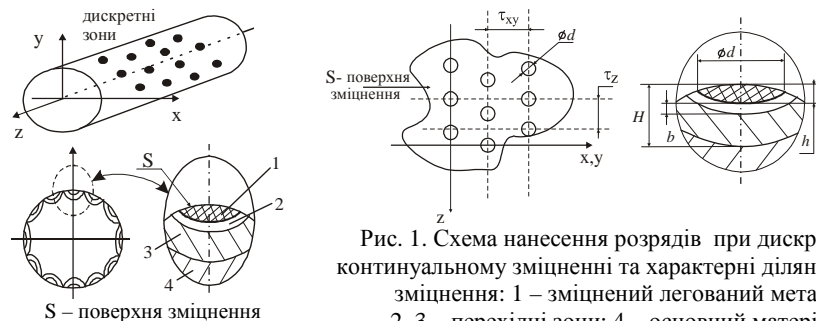


Рис. 1. Схема нанесення розрядів при дискретно-континуальному зміцненні та характерні ділянки зони зміцнення: 1 – зміцнений легований метал; 2, 3 – перехідні зони; 4 – основний матеріал

На першому етапі дослідження визначається характер НДС в області окремої дискретної зони зміцнення. На рис. 2 проілюстрована розрахункова схема для визначення осесиметричної картини НДС в області ДЗЗ, на рис. 3 – скінченно-елементна модель з 1,5 млн. вузлів та 403 тис. елементів, що побудована для проведення досліджень. Якісні картини компонент НДС при співвідношенні модулів пружності $\alpha_1 = E_1 / E_4 = 1,2; \alpha_2 = E_2 / E_4 = 1,1; \alpha_3 = E_3 / E_4 = 1,0; \beta_1 = \nu_1 / \nu_4 = 1,0; \beta_2 = \nu_2 / \nu_4 = 1,0; \beta_3 = \nu_3 / \nu_4 = 1,0$ наведені на рис. 4. Видно, що профіль деформованої поверхні сприятливий

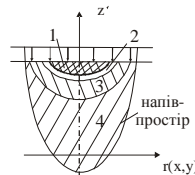


Рис. 2. Розрахункова схема для визначення НДС в області окремої ДЗЗ

для роботи у процесі контактної взаємодії, оскільки при цьому контактний тиск перерозподіляється, збільшуючись в області легованого матеріалу та зменшуючись при віддаленні від нього.

Враховуючи, що триботехнічні характеристики в області ДЗЗ набагато кращі, ніж в іншому спряженні (тобто основного матеріалу 4, див. рис. 1), отримуємо ефект не тільки зміцнення, але й покращення умов тертя. Даний ефект, тут названий Δ -ефект, є відносно стабільним при зміні контактного тиску, тобто чим більший тиск, тим більше деформується тіло деталі, тим більший ефект перерозподілу зусиль контактної взаємодії на користь переважного спряження з ДЗЗ.

Для аналізу впливу різних факторів на НДС реальних конструкцій, що піддані дискретно-континуальному зміцненню, побудовано просторову СЕМ фрагменту приповерхневої частини опорної частини вала, що підданий дискретно-континуальному зміцненню. Оскільки для повного моделювання опорної частини вала потрібна надто велика (сотні мільйонів ступенів вільності) СЕМ, то було визначено репрезентативну множину ДЗЗ, що входить до складу відповідного секторного вирізу (рис. 5).

На рис. 6 – типова картина розподілу вертикальних переміщень вздовж відрізка прямої, що проходить через центри ДЗЗ. Видно, що спостерігається та ж картина переміщень, що й у випадку одиничних ДЗЗ, але з періодом повторення, який дорівнює кроку розміщення дискретних зон зміцнення.

Кількість варійованих параметрів P технологічного процесу у даному випадку довільна, сама множина P може бути поповнювана. Це є надзвичайно важливою перевагою запропонованого теоретичного підходу до розв'язання задачі. Крім того, математична модель дозволяє

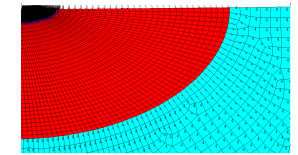


Рис. 3. Фрагмент СЕМ в області ДЗЗ

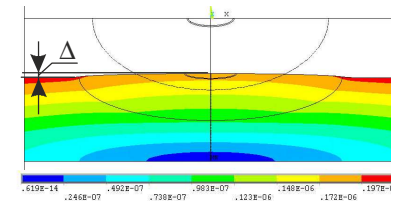


Рис. 4. Вертикальні переміщення в області ДЗЗ

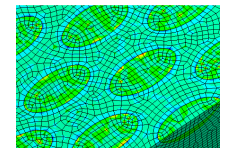
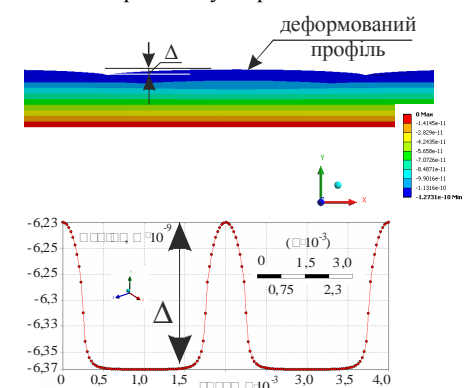


Рис. 5. СЕМ підповерхневого шару опорної частини вала

Рис. 6. Картина переміщень у приповерхневому шарі деталі



досліджувати всі аспекти НДС, а СЕМ відтворює усі переваги запропонованого підходу. Кількість скінченних елементів навіть для окремого секторного вирізу валу досягає кількох мільйонів одиниць ступенів вільності.

Тому для дослідження НДС об'єкту, що представлений на рис. 7, потрібні великі обчислювальні ресурси, які забезпечує створений і описаний раніше програмно-апаратний комплекс [8]. Саме ці обставини дали можливість провести комплекс досліджень, деякі результати яких представлені на рис. 6.

Ще більші ресурсні вимоги – при повномасштабному моделюванні макро-частини деталі або деталі повністю. При цьому на перший план виступає проблема різномасштабності зон, що досліджуються: від кількох мікронів до метрів. Для узгодження сіток скінченних елементів автори розробили та застосували спеціальні алгоритми.

Як видно із порівняльного аналізу одержаних розподілів компонентів НДС (см. рис. 6), збільшення відносної жорсткості матеріалу зміцнення сприяє підсиленню позитивного впливу виявленого Δ -ефекту зміцнення та збільшення стійкості поверхні S до зношування. Що стосується впливу коефіцієнта тертя f , то спостерігається рекомендована зона ($f_w \in [0,6; 0,8]$), при попаданні коефіцієнта дискретності в котрий Δ -ефект найбільш дійовий.

Аналіз результатів та висновки. Підсумовуючи, можна стверджувати, що в результаті комплексу пробних досліджень обґрунтовані раціональні параметри запропонованого технологічного процесу дискретно-континуального зміцнення високонавантажених елементів машин, механізмів і окремих деталей, зокрема ДВЗ.

Результати числових досліджень дозволяють зробити наступні висновки.

1. Розроблені комплексні скінченно-елементні моделі характеризуються адаптованістю до аналізу та синтезу принципово нових способів зміцнення елементів високонавантажених машин, що якісно відрізняє їх від побудованих традиційними способами.

2. Розроблене теоретико-множинне математичне та програмне забезпечення у процесі досліджень дозволило виявити так званий « Δ -ефект». Він полягає у позитивному характері зміни деформованого профілю у контактній зоні зміцнюваного елемента машини зі спряженими елементами. Це призводить до поліпшення умов роботи у зоні рухомого з'єднання деталей машин із тертям.

У подальших дослідженнях цей ефект буде досліджено додатково.

Список літератури: 1. Підвищення ресурсу тепловозів на базі технології дискретного зміцнення деталей форсованих дизелів / Е.К. Посвятенко, В.Г. Гончаров, С.С. Дяченко, М.А. Ткачук // Сучасні технології в машинобудуванні. Зб. наукових праць. – Х.: НТУ «ХПІ». Вип. №5. – 2010. С. 61 – 75. 2. Савченков Б.В. Дискретная обработка – эффективный способ упрочнения деталей машин / Б.В. Савченков, Гончаров В.Г., А.Н. Леоненко // Механіка та машинобудування. – Х., 2010. – №1. – С. 44-49. 3. Гончаров В.Г. Повышение износоустойчивости коленчатых валов форсированных дизелей большой мощности / В.Г. Гончаров, Э.К. Посвятенко, С.С. Дяченко // Резание и инструмент в технологических системах. – 2009. – Вып. 77. – С. 53–65. 4. Гончаров В.Г. Підвищення ресурсу транспортної техніки удосконаленням технології ремонту колінчастих валів: Автореф. канд. техн. наук: 05.22.20 / В.Г. Гончаров: Харківський національний автомобільно-дорожній ун-т. – Х.: 2008. С. 219. 5. Кравченко С.А. Повышение надёжности деталей двигателей методом дискретного упрочнения / С.А. Кравченко, В.Г. Гончаров // Двигатели внутреннего сгорания. – 2009. – №1. – С. 97-99. 6. Конечные

элементные модели элементов сложных механических систем: технология автоматизированной генерации и параметризованного описания / Н.А. Ткачук, Г.Д. Гриценко, А.Д. Четурной и др. // Механіка та машинобудування. – 2006. – №1. – С. 57-79. 7. Основы обобщенного параметрического описания сложных механических систем / Н.А. Ткачук, А.Д. Четурной, Г.Д. Гриценко и др. // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля. – 2007. – №9(115), част. 1. – С. 196-205. 8. Ткачук Н.А. До принципів організації програмно-апаратних комплексів для моделювання фізико-механічних процесів у складних та надскладних механічних системах / Н.А. Ткачук // Вісник НТУ «ХПІ». Тем. вип.: Машинознавство та САПР. – 2007. – № 29. – С. 3-7. 9. Канарчук В.С. Інженерія поверхні деталей транспортних засобів: сучасний стан і перспективи / В.С. Канарчук, Е.К. Посвятенко, Л.А. Лопата // Вісник Національного транспортного ун-ту. – К., 2000. – Вип.4. – С. 6–24. 10. Посвятенко Е.К. Комбіновані методи інженерії поверхні деталей транспортних засобів // Е.К. Посвятенко, О.В. Мельник, В.В. Алексєєв // Вісник Національного транспортного університету. – К.: НТУ. – 2006. – Вип.11. – С.13–16.

Поступила в редакцію 15.02.12