

Відгук

офіційного опонента, кандидата технічних наук Баюла Костянтина Васильовича на дисертаційну роботу Гречаного Олексія Миколайовича на тему «Удосконалення моделей надійності елементів механічних систем при їх комплексному пошкодженні на прикладі ресурсу прокатних валків і їх приводу», представленій на здобуття вченого ступеня доктора філософії в галузі знань 13 – «Механічна інженерія» за спеціальністю 133 – «Галузеве машинобудування».

1. Актуальність теми дисертації.

В процесі функціонування технічний стан деталей металургійного обладнання погіршується за рахунок впливу технологічних навантажень і ряду інших факторів. Дані фактори ведуть до виникнення і протікання різного виду пошкоджень конструктивних елементів обладнання в результаті зносу, фізичного старіння, поломок і таке інше, що супроводжується руйнуванням деталей обладнання. Відмова будь-якого елемента обладнання, в свою чергу, призводить до зупинки процесу виробництва, погіршуючи його технологічні показники.

Одним з методів забезпечення надійного функціонування деталей металургійного обладнання на стадії експлуатації, а також, оцінки показників надійності на стадії проектування, є використання математичного моделювання процесів пошкодження.

Використання та розвиток математичного опису процесу пошкодження елементів металургійного обладнання допомагає вирішувати значний комплекс проблем, що впливають на технічні та техніко-економічні показники виробництва.

Більшість процесів накопичення пошкоджень в деталях металургійного устаткування відбувається протягом тривалих проміжків часу, тобто мають яскраво виражену динаміку протікання. Ці процеси є причиною відмов деталей обладнання і зміни його стану в часі. Облік в математичних моделях ушкоджень деталей, зростання та періодичності зовнішніх впливів, взаємодії оборотних і необоротних процесів і т. ін., в сукупності з адаптованими фундаментальними принципами динаміки машин і теорії автоматичного управління, дозволяють вирішувати завдання, пов'язані з надійністю складних систем, до яких відноситься металургійне обладнання.

Останнім часом, найбільш гостро постає проблема подальшого розвитку і реалізації методів прогнозування надійності на основі моделей відмов, які базуються на закономірностях процесів пошкодження з урахуванням їх імовірнісної природи. Цей напрямок є ключовим для вирішення основних завдань, пов'язаних з оцінкою надійності на стадії проектування і експлуатації, при наявності реального зразка машини. Найбільш частим є використання методів статистичного моделювання пошкоджень, які враховують ймовірні

режими експлуатації обладнання, зовнішні впливи і характер протікання процесів накопичення пошкоджень. При цьому актуальність такого підходу пояснюється необхідністю подальшого вдосконалення методів прогнозування трибологічної надійності деталей, що піддаються таким видам пошкоджень, як зношування і втомне руйнування, мають яскраво виражений характер в металургійних машинах, і є основними причинами їх відмов.

Актуальним напрямом використання моделей пошкодження є розробка комплексних методів розрахунку граничних станів окремих деталей і машини в цілому. Саме такий підхід реалізований в дисертаційній роботі Гречаного Олексія Миколайовича, що робить її, безумовно, актуальною.

2. Ступінь обґрунтованості та достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій.

Достовірність отриманих в роботі результатів підтверджується та забезпечена використанням базових закономірностей та методів математичної статистики і ризик-аналізу, теорії технічного обслуговування, теорії надійності складних технічних систем. Експериментальні дослідження виконано за допомогою атестованої випробувальної техніки і апаратури. Обробку експериментальних даних та побудову математичних моделей виконано з використанням методів планування експерименту, теорії опору втомі та механіки руйнування.

3. Новизна наукових положень, результатів і рекомендацій.

аналітично нове прав

Наукова новизна роботи полягає наступному.

Сформульовано та описано ло об'єднання індивідуальних показників надійності в показник надійності всієї системи на підставі ресурсного індексу безпеки та на підставі розподілення Ліндлі. Що дозволяє в сукупності аналізувати комплекс пошкоджуючих факторів.

Досліджено поступове змішане руйнування прокатних валків при розвитку в них кругових дефектів. Розроблено сценарій втрати працездатності валків, пов'язаний з чергуванням дії механізмів руйнування.

Розвинуті теоретичні методи врахування нестационарності навантаження при зростанні тріщини шляхом визначення еквівалентного напруження, встановлено, що швидкість його зростання є, практично, незмінною, якщо не змінюється механізми змішаного руйнування.

Розроблена та експериментально підтверджена модель втомного змішаного руйнування, яка ґрунтується на побудові кривих живучості для чистих мод. При цьому живучість визначається як результат об'єднання окремих процесів руйнування.

4. Цінність для науки і практики результатів досліджень автора.

Розроблена методика випробувань зразків на дію змішаного руйнування, та руйнування при чистій II моді, на базі чого розроблено алгоритм оцінки живучості при змішаному руйнуванні.

Розроблено рекомендації щодо діагностики та визначення залишкового ресурсу вкладишів шпинделів прокатних станів, які впроваджено в цеху гарячої прокатки тонкого листа металургійного комбінату «Запоріжсталь» (акт використання від 16.09.2020).

Розроблено рекомендації щодо діагностики технічного стану листопркатних валків та визначення розміру допустимих дефектів з урахуванням умов експлуатації.

5. Повнота відображення наукових положень в опублікованих роботах.

Основний зміст дисертації викладено у 22 наукових працях, в тому числі: 5 статей у наукових фахових виданнях, затверджених ДАК МОН України, 2 – опубліковано у виданнях, що індексуються у міжнародній науково-метричній базі Scopus, 1 – опублікована у виданні, що індексується у міжнародній науково-метричній базі Web of Science, 4 – опубліковані у виданнях, що індексуються у міжнародних науково-метричних базах (Index Copernicus, Google Scholar, 2 статті – додаткові, 1 патент України на корисну модель, 7 матеріалів праць і тез науково-технічних конференцій.

6. Оцінка змісту дисертації

Дисертація складається із вступу, чотирьох розділів з висновками по кожному розділу, загальних висновків, переліку використаних літературних джерел та 4 додатків.

Основний текст роботи викладено на 140 сторінках. Дисертація містить 54 рисунка та 16 таблиць. Список літературних джерел із 146 найменувань, з урахуванням публікацій автора, розміщено на 16 сторінках.

Дисертацію оформлено в одному томі. Повний обсяг дисертації 180 сторінок.

Вступ містить обґрунтування актуальності теми дослідження, мету та задачі роботи, характеристику наукової новизни і основні практичні результати, які створюють умови для вдосконалення моделей надійності елементів механічних систем при їх комплексному пошкодженні.

У **першому розділі** проведено аналіз правил об'єднання показників надійності. Встановлено, що їх основним недоліком є те, що надійність системи значно нижче надійності її елементів. Тобто для послідовно поєднаних структур діє правило множення імовірностей безвідмовної роботи. Але при збільшенні

первісної надійності складових елементів системи таке правило перешкоджає створенню раціональних конструкцій.

Сформовано структуру об'єднавчих формул, та нові правила об'єднання на підставі показнику ризику та на підставі розподілення Ліндлі. Обґрунтовано новий алгоритм пошуку індексу безпеки для систем. Запропоновано правило об'єднання індивідуальних індексів на підставі розподілення Ліндлі. Досліджено причини низької надійності системи, яка визначається за правилом множення імовірностей безвідмовної роботи. Дана формалізація ефектів об'єднання і ідентифікації.

В другому розділі розроблено алгоритм визначення ресурсу для заключних періодів живучості, коли тріщина «іде» із зони впливу контактних і/або термічних напружень і вже не може збільшуватися під їхньою дією. Досліджено циклічність зміни напружень зрізу від зусилля прокатки щодо поперечної кругової тріщини, що призводить до виникнення механізму руйнування II моди. Вказано, що в цих умовах швидкість росту дефекту, практично, не залежить від його розташування усередині валка.

Встановлено, що швидкість розвитку кругового дефекту в поперечній площині прокатного валка визначається, головним чином, не рівнем навантаження, а механізмом руйнування. Силкові параметри прокатки, нарівні з характеристиками тріщиностійкості металу валків, обумовлюють період живучості, на якому діє відповідний механізм руйнування.

Розроблено рекомендації щодо раціональної експлуатації валків безперервних штабових станів.

В третьому розділі розроблено методика випробувань матеріалів на чотирьох точковий асиметричний згин, яка вміщує конструкцію зразків, схему їх встановлення відносно робочих органів випробувальної машини, визначення силових факторів, вимірювання довжини тріщини.

Підтверджено справедливість та ефективність розробленого алгоритму прогнозування живучості при змішаному руйнуванні, який не потребує визначення ефективного коефіцієнту інтенсивності напружень.

Розроблено алгоритм знаходження параметру діаграми ЗВТ AK^* для чистої моди за результатами зростання тріщини при змішаному руйнуванні.

Виявлено особливості руйнування валкових сталей в умовах циклічного деформування по схемі чотирьох точкового асиметричного згину.

Встановлено впливовість коефіцієнта плеча γ_{lb} на поведінку матеріалів при циклічному деформуванні в умовах згину.

Експериментально підтверджено правомірність використання моделі схематизації кінетичної діаграми втомного руйнування, яка базується на взаємозв'язках між показниками всіх трьох мод.

Експериментально підтверджена модель втомного змішаного руйнування, яка витікає з правила об'єднання ресурсних індексів безпеки.

Для можливості аналітичного визначення періоду живучості шляхом інтегрування кінетичного рівняння зони втомної тріщини вперше застосовано метод зниження числа його змінних.

У четвертому розділі розроблено алгоритм пошуку функції розподілу ресурсу для параметричних діагностичних моделей. За його допомогою отримуються ресурсні індекси безпеки, які комплексно оцінюють технічний стан механічних систем.

7. Зауваження по дисертації.

1. В 1 розділі дисертації при розгляді правил об'єднання показників надійності авторами виведено формулу (1.39) для знаходження довговічності при комбінованому навантаженні або змішаному руйнуванні. Вона витікає з алгоритму об'єднання ресурсних індексів безпеки. Але при визначенні живучості валків (2 розділ) під впливом I і II мод руйнування використовується формула (2.16), яка має дещо відмінний вигляд від доцільної тут формули (1.39). Чому так ?
2. Відсутнє розшифрування символів, які наведені на графіках рис.3.13-3.17.
3. Не зовсім є виправданим інтерес авторів до болтів, який проявлено в підрозділі 1.6. Адже в назві дисертації фігурують прокатні валки та їх привод.
4. Висновок 3 першого розділу (с.58) вказує, що «Знайдена структура об'єднаних формул, які позбавлені зайвого консерватизму при розрахунках надійності системи». По-перше, не зовсім зрозуміло, які саме це формули. А по-друге, консерватизм – хіба це є недоліком?
5. Не зовсім виправданим є поява підрозділу 1.4 в окремому вигляді. Радше його було б об'єднати з підрозділом 1.5.
6. Статистична обробка досліджень зношування вкладишів універсальних шпинделів (підрозділ 4.2.2) виконана за традиційним алгоритмом. Тому не варто перевантажувати текст такими загально відомими формулами. Достатньо було б зробити посилання.
7. Розроблений авторами алгоритм планування періодичності контролів для моделі випадкового процесу (підрозділ 4.3) не зовсім відповідає меті і задачам дисертаційної роботи. Тому він також виглядає зайвим.

8. Висновок про відповідність дисертації встановленим вимогам.

Дисертаційна робота Гречаного Олексія Миколайовича на тему «Удосконалення моделей надійності елементів механічних систем при їх комплексному пошкодженні на прикладі ресурсу прокатних валків і їх приводу є закінченою науковою роботою, яка містить наукову новизну та має практичну цінність.

Дисертація оформлена на хорошому науковому рівні, представлені в ній результати повною мірою розкривають мету і задачі дослідження. Зауваження, відзначені при розгляді змісту дисертації не знижують її цінності і можуть бути враховані в подальшій роботі. Вважаю, що робота повністю відповідає вимогам ДАК МОН України до дисертаційних робіт, а її автор Гречаний Олексій заслуговує присвоєння наукового доктора філософії в галузі знань 13 – «Механічна інженерія» за спеціальністю 133 – «Галузеве машинобудування»,

Кандидат технічних наук,
старший науковий співробітник
відділу технологічного обладнання
та систем управління
Інституту чорної металургії
ім. З. І. Некрасова НАН України



К. В. Баюл

Підпис Баюла К. В.
Засвідчую:
Зав відділом кадрів
Інституту чорної металургії
ім. З.І. Некрасова НАН України



Л. М. Ружина