**Побережний Любомир Ярославович. Закономірності деформації і руйнування морських трубопроводів при статичному та низькочастотному навантаженні: Дис. канд. техн. наук: 05.15.13 / Івано-Франківський національний технічний ун-т нафти і газу. - Івано-Франківськ, 2002. - 199арк. - Бібліогр.: арк. 177-195.**

|  |  |
| --- | --- |
| |  | | --- | | **Побережний Л. Я.** Закономірності деформації і руйнування морських трубопроводів при статичному та низькочастотному навантаженні.- Рукопис.  Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.15.13 – нафтогазопроводи, бази та сховища.- Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, Івано-Франківськ, 2002.  Створено та науково обґрунтовано ефективність розширеної інженерної методики дослідження деформації і руйнування матеріалу морських трубопроводів при статичному та низькочастотному навантаженні з урахуванням впливів структури, масштабного фактору, концентрації напружень, частоти навантаження, асиметрії циклу напружень, агресивності середовища, а також комбінації цих впливів. Розроблено автоматизовану випробовувальну систему з ЕОМ та оригінальне програмне забезпечення для комплексних досліджень в кінетиці деформації, руйнування, електродного потенціалу матеріалу трубопроводу в робочих (технологічних) середовищах, а також сканованих поверхонь зламів, забезпечуючи імітацію умов навантаження елемента трубопроводу. Введено комплексне поняття про малоциклову та багатоциклову низькочастотну втому і корозійну втому морських трубопроводів, спираючись на ґрунтовний аналіз умов їх експлуатації та деформаційно-кінетичне трактування процесу. Побудовано повні криві низькочастотної втоми для сталі трубопроводу з різною структурою та зварного з’єднання. Вперше, в області низькочастотної (0,8 Гц) малоциклової втоми та корозійної втоми, виявлено аномальну деформаційну поведінку текстурованої сталі 20 та зварного з’єднання, яка проявляється у виникненні деформаційних піків. З метою подальшого розвитку теорії низькочастотної корозійної втоми, вперше кінетичні криві деформації та електродного потенціалу представлено в об’єднаному вигляді, а їх аналіз виконується комплексно з графічною інтерпретацією макробудови поверхні руйнування. Запропоновано способи прискореної оцінки корозійної витривалості основного металу та зварного з’єднання труб за прогнозованими ділянками кривих низькочастотної корозійної втоми, побудованими з використанням однієї або двох експериментальних точок. Вперше введено поняття про кінетичний цикл росту втомної (корозійно-втомної) тріщини. Показано, що тривалість кінетичного циклу є важливою характеристикою низькочастотної втоми, чутливою до величини а та впливу середовища. Запропоновано методику визначення деформаційних областей низькочастотної втоми морських трубопроводів, а саме спонтанної, прогнозованої та безпечної деформації, і показано її ефективність у випадку, коли характеристики граничних станів є малочутливими до зміни структури трубної сталі. | |
| |  | | --- | | 1. Створено та експериментально перевірено ефективність розширеної інженерної методики дослідження деформації і руйнування матеріалу морських трубопроводів при статичному та низькочастотному навантаженні з урахуванням впливів структури, масштабного фактору, концентрації напружень, частоти навантаження, асиметрії циклу напружень, агресивності середовища, а також комбінації цих впливів. Розроблено конструкції, типову технологію виготовлення експериментальних зразків-моделей, автоматизовану випробовувальну систему з ЕОМ та оригінальне програмне забезпечення для комплексних досліджень в кінетиці деформації, руйнування, електродного потенціалу матеріалу трубопроводу в робочих (технологічних) середовищах, а також сканованих поверхонь зламів, забезпечуючи імітацію умов навантаження елемента трубопроводу. 2. Розроблено: спосіб оперативної діагностики зламів матеріалів, який полягає в тому, що сканують поверхню руйнування, опрацьовують одержаний цифровий відбиток в графічному редакторі і, використовуючи комп’ютерну базу даних, роблять висновки про характер та причини руйнування; спосіб визначення при ступінчастому навантаженні чистим згином умовної границі текучості – напруження, при якому пластична деформація пл = т 0,002, що пов’язується з реальними умовами навантаження морських трубопроводів. 3. Запропоновано використовувати зведені діаграми згину у схематизованому вигляді для визначення нестандартних характеристик пружності, пластичності, деформаційного зміцнення, повзучості та пояснення поведінки сталі в конструкції трубопроводу і уточнення розрахунків. 4. Виходячи з теорії приросту деформації, запропоновано новий методичний підхід до оцінки пластичності та визначення граничної залишкової деформації гр, при якій експлуатація зварного з’єднання може вважатися ще безпечною, заснований на побудові кривих „номінальне напруження – залишкова деформація з”. 5. Дано всебічний аналіз діаграм згину зразків-моделей з кільцевим надрізом та розроблено спосіб визначення величини критичного розкриття надрізу , що відповідає границі міцності повторно-деформованих зразків з надрізом . 6. Введено комплексне поняття про малоциклову та багатоциклову низькочастотну втому і корозійну втому морських трубопроводів, спираючись на ґрунтовний аналіз умов їх експлуатації та деформаційно-кінетичне трактування процесу. Побудовано придатні для інженерних розрахунків повні криві низькочастотної втоми для сталі трубопроводу з різною структурою та зварного з’єднання і дано пояснення характерних ділянок, виявлених перегинів та розривів на кривих втоми, використовуючи кінетичні криві деформації і руйнування та комп’ютерний макроструктурний аналіз сканованих зламів. 7. Вперше, на гладких зразках-моделях з lp/d = 4 та 10 в області низькочастотної (0,8 Гц) малоциклової втоми, виявлено аномальну деформаційну поведінку текстурованої сталі 20 та зварного з’єднання, яка проявляється у виникненні деформаційних піків, зумовлених послідовним проходженням інтенсивних швидкоплинних процесів циклічного знеміцнення та зміцнення, а також інверсію втомної довговічності зварного з’єднання, що пов’язана з ефектами циклічного деформування, розкритими за допомогою кінетичних кривих деформації та діаграм циклічного кругового згину. 8. Експериментально підтверджено можливість прискореної оцінки границі витривалості основного металу та зварного з’єднання труб за діаграмами статичного та циклічного кругового згину, а також результатами випробовувань зразків-моделей з підібраними геометричними параметрами надрізу. Запропоновано методику визначення деформаційних областей низькочастотної втоми, а саме спонтанної, прогнозованої та безпечної деформації, і показано її ефективність у випадку, коли характеристики граничних станів -1 та є малочутливими до зміни структури трубної сталі. 9. Показано, що в діапазоні а = 60…280 МПа збільшення частоти навантаження від 0,8 до 50 Гц спричинює зростання довговічності сталі трубопроводу у морській воді в 5…6,7 разів, і доведено неможливість заміни низькочастотних корозійно-втомних випробовувань поширеними випробовуваннями з частотою 50 Гц, оскільки при а < -1 руйнування контролюється не навантаженням, а часом хімічної, фізичної та фізико-хімічної дії середовища. Розроблено способи прискореної оцінки корозійної витривалості основного металу та зварного з’єднання труб за прогнозованими ділянками кривих низькочастотної корозійної втоми, побудованими з використанням однієї або двох експериментальних точок, а також спосіб спрощеної побудови діаграм граничних напружень циклу за результатами випробовувань в статиці та при низькочастотному навантаженні з використанням трьох характерних напружень: -1 (-1кор), , . 10. Вперше, на гладких зразках-моделях з lp/d = 10 в області низькочастотного (0,8 Гц) малоциклового навантаження, виявлено аномальну деформаційну поведінку текстурованої сталі 20 у морській воді, яка відрізняється від подібної поведінки сталі у повітрі інтенсивнішим циклічним знеміцненням на І стадії та менш інтенсивним повторним знеміцненням на ІІІ стадії. 11. За кінетичними кривими н – N виявлено складний характер впливу корозійного середовища на розвиток процесів деформації і руйнування в зоні концентратора напружень, особливо при а < , в результаті якого біля вершини кільцевого надрізу формується сітка одиничних корозійно-втомних тріщин, вершини яких, внаслідок електрохімічного розчинення, притуплюються, що, в цілому, призводить до перетину кривих втоми та корозійної втоми і утворення області, в якій корозійна витривалість зразків з надрізом підвищується, порівняно з повітрям, в 2 і більше разів. 12. З метою подальшого розвитку теорії низькочастотної корозійної втоми, вперше кінетичні криві (а) – t (N) та -Е – t (N) представлено в об’єднаному вигляді і відзначено відсутність кореляції між ЕП та пружно-пластичними деформаціями. Показано, що швидкоплинні процеси на початкових стадіях корозійної втоми добре простежуються за кінетичними кривими деформації, а процес накопичення та розвитку пошкоджень, коли відбувається стабілізація деформації або незначна її зміна, краще інтерпретувати за кінетичними кривими ЕП. Вперше введено поняття про кінетичний цикл росту втомної (корозійно-втомної) тріщини, який, незалежно від а, може відбуватися за схемою: прискорений ріст – рівномірний ріст зі швидкістю V1 – гальмування – рівномірний ріст зі швидкістю V2. | |