

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ ТА НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до самостійної роботи студентів
з дисципліни «Напруження та деформації при зварюванні» для
студентів спеціальності 131 «Прикладна механіка» спеціалізація
«Технологія та устаткування зварювання», «Відновлення та
підвищення зносостійкості деталей і конструкцій» всіх форм навчання

2019р.

Методичні вказівки до самостійної роботи студентів з дисципліни «Напруження та деформації при зварюванні» для студентів спеціальності 131 «Прикладна механіка» спеціалізація «Технологія та устаткування зварювання», «Відновлення та підвищення зносостійкості деталей і конструкцій» всіх форм навчання / Укладач: В.В. Нетребко – Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2019 р. – 8с.

Укладач: В.В. Нетребко, професор, д.т.н.

Рецензент: І.М. Білони́к, доцент, к.т.н.

Відповідальний
за випуск: В.В. Нетребко, професор, д.т.н.

Голова НМК каф. ОТЗВ: С.М. Попов, професор, д.ф.н.

ЗАТВЕРДЖЕНО:
на засіданні кафедри ОТЗВ
Протокол №4 від 14.11.2019р.

Рекомендовано НМК ІФФ
Протокол № 4
від 10.12.2019р.

1 МЕТА ТА ЗАВДАННЯ НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Теоретичний курс дисципліни «Напруження та деформації при зварюванні» спрямований на отримання глибоких знань та відомостей, необхідних для вирішення задач підвищення надійності та довговічності деталей машин і конструкцій, а також вивчення технологічних методів запобігання чи усунення надлишкових деформацій чи напружень, з метою їх практичного застосування.

Вивчення дисципліни відбувається на основі сучасних уявлень про напруження та деформації при зварюванні. Це дозволить оволодіти знаннями які будуть застосовувані для розробки зварних конструкцій та вибору технологічних процесів зварювання та наплавлення, а також при вирішенні практичних задач, що пов'язані з вибором технологічних режимів зварювання чи наплавлення конкретних виробів.

При вивченні дисципліни студенти повинні користуватися основною та додатковою літературою. Практичний досвід з цих питань вивчається на лекційних та лабораторних заняттях. З метою отримання більш глибоких знань студентам потрібно самостійно, перед прослуховуванням лекцій та лабораторними роботами, прочитати рекомендовану літературу до цієї теми.

Метою дисципліни «Напруги та деформації при зварюванні» є отримання глибоких знань та відомостей, необхідних для вирішення практичних та наукових задач, з метою їх практичного застосування, а саме: освоєння студентами питань стосовно причин виникнення напруженого стану при зварюванні, класифікація різних видів напружень та деформацій, визначення їх величини, розрахунки напружень та деформацій, що можуть виникнути при зварюванні чи наплавленні, визначати засоби запобігання та усунення напружень та деформацій під час зварювання чи наплавлення, а також методи усунення їх після зварювання чи наплавлення.

У результаті вивчення навчальної дисципліни студент повинен отримати теоретичні знання та практичні навички з питань визначення величин напружень та деформацій, що виникають у процесах зварювання та наплавлення, вибір оптимальних видів і режимів технологічного процесу зварювання металів, а також надбання практичного досвіду з проведення наукових досліджень та самостійно виконувати невеликі практичні розробки, що дозволяє отримати:

Завдання навчальної дисципліни є засвоєння студентами фізичної сутності процесів утворення зварювальних деформацій та напружень, ознайомитись із існуючими методами розрахунків та експериментальним визначення зварювальних напружень та деформацій, розподілом залишкових напружень, впливом деформацій та напружень на властивості конструкцій, засобами їх попередження, зменшення або усунення. Це сприятиме набуттю **інтегральної компетентності** - здатності розв'язувати складні спеціалізовані задачі та практичні проблеми в прикладній механіці або у процесі навчання, що передбачає застосування певних теорій та методів механічної інженерії і характеризується комплексністю та невизначеністю умов.

У результаті вивчення навчальної дисципліни студент повинен отримати:

- **загальні компетентності**: ЗК2. Знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності. ЗК4. Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях. ЗК12. Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел. ЗК13. Здатність оцінювати та забезпечувати якість виконуваних робіт;

- **фахові компетентності**: ФК1. Здатність аналізу матеріалів, конструкцій та процесів на основі законів, теорій та методів математики, природничих наук і прикладної механіки. ФК2. Здатність робити оцінки параметрів працездатності матеріалів, конструкцій і машин в експлуатаційних умовах та знаходити відповідні рішення для забезпечення заданого рівня надійності конструкцій і процесів, в тому числі і за наявності деякої невизначеності. ФК5. Здатність використовувати аналітичні та чисельні математичні методи для вирішення задач прикладної механіки, зокрема здійснювати розрахунки на міцність, витривалість, стійкість, довговічність, жорсткість в процесі статичного та динамічного навантаження з метою оцінки надійності деталей і конструкцій машин. ФК6. Здатність виконувати технічні вимірювання, одержувати, аналізувати та критично оцінювати результат вимірювань. ФК9. Здатність представлення результатів своєї інженерної діяльності з дотриманням загальноприйнятих норм і стандартів.

Очікувані програмні результати навчання: використовувати знання та навички в галузі зварювання та споріднених технологій для призначення параметрів технологічних процесів; вміти створювати

конкурентну продукцію у відповідності до РН3) виконувати розрахунки на міцність, витривалість, стійкість, довговічність, жорсткість деталей машин; РН4) оцінювати надійність деталей і конструкцій машин в процесі статичного та динамічного навантаження; РН6) створювати і теоретично обґрунтовувати конструкції машин, механізмів та їх елементів на основі методів прикладної механіки, загальних принципів конструювання, теорії взаємозамінності, стандартних методик розрахунку деталей машин; РН16) вільно спілкуватися з професійних питань усно і письмово державною та іноземною мовою, включаючи знання спеціальної термінології та навички міжособистісного спілкування. На вивчення навчальної дисципліни відводиться 120 годин (4 кредити) ЄКТС.

2 СТРУКТУРА ТА ЗМІСТ КУРСУ

Структура курсу дисципліни «Напруги та деформації при зварюванні» складається з лекційних занять, лабораторних робіт, самопідготовки та модульного контролю. Лекційні заняття проводяться по темам. Модульний контроль проводиться поетапно.

Тема 1: Вступ. Мета та завдання дисципліни. Важливість дисципліни для потреб сучасного виробництва. Основні поняття міцності, напруження та деформації.

Тема 2: Виникнення напружень та деформацій при зварювальних роботах. Види руйнування матеріалів. Теорія пружності. Теорія напружень. Теорія плинності. Лінійна механіка руйнування. Деформації та переміщення. Вплив низької та високої температури на властивості металу. Методи підвищення холодостійкості. Застосування критеріїв механіки руйнування до оцінки міцності зварних з'єднань. Одно, двох та трьох вимірні задачі. Розрахунки напружень та деформацій за методами Г.А. Николаева та П.П. Троцуна [1, 2].

Тема 3: Основні фізичні явища та фактори які впливають на величини напружень, деформацій та переміщень. Дилатометричне явище. Розповсюдження теплоти й утворення температурного поля. Вплив анізотропії властивостей, нерівномірність нагріву, температурних та пластичних деформацій на утворення напружень та деформацій при зварюванні та наплавленні. Вплив структурних перетворень в сталях на утворення напружень та деформацій при

зварюванні та наплавленні. Концентрація напружень в зварних з'єднаннях та деталях після наплавлення. Вплив концентраторів напружень на розподіл напружень та деформацій. Тимчасові та залишкові напруження при зварюванні та наплавленні.

Тема 4: Методи зниження залишкових напружень та деформацій. Класифікація зварювальних деформацій. Методи оцінки напружень та деформацій. Тверді та м'які прошарки у зварних з'єднаннях та виробах після наплавлення. Найбільш поширені методи виміру залишкових деформацій. Методи попередження та усунення залишкових напружень та деформацій.

3 ЛАБОРАТОРНІ РОБОТИ

1. Визначення коефіцієнтів концентрації напружень в різних зварних з'єднаннях та виробах після наплавлення.

2. Дослідження деформацій зварних з'єднань та виробів, на які наплавляється шар металу у процесі нагрівання та охолодження.

3. Дослідження термічного впливу на структуру металу та виникнення в ньому неоднорідності властивостей у ЗТВ в зварних з'єднаннях та виробах після наплавлення.

4 ПИТАННЯ ДО МОДУЛЬНОГО КОНТРОЛЮ

Питання до модульного контролю формуються з наступних тем:

1. Основні поняття міцності, види руйнування.
2. Діаграма розтягування при одноосному навантаженні.
3. Вплив типу напруженого стану (стискання, розтягування) на характер руйнування.
4. Пружна та пластична деформації.
5. Вплив зниження температури на механічні властивості матеріалів та характер руйнування.
6. Вплив підвищення температури на механічні властивості матеріалів та характер руйнування.
7. Оцінка схильності матеріалів до крихкого руйнування.
8. Утворення та розповсюдження холодних та гарячих тріщин.
9. Теорія пружності.
10. Теорія напружень.
11. Критерії оцінки напруженого й деформованого стану.

12. Рівняння рівноваги тіла.
13. Рівняння напруженого стану в крапці тіла.
14. Деформації, напруження й переміщення при зварюванні.
15. Одно, двох та трьох вимірні задачі.
16. Розрахунок зварювальних напружень та деформацій за методами Г.А. Николаева та П.П. Трочуна.
17. Проектування зварних конструкцій з урахуванням виникнення напружень та деформацій.
18. Основні фізичні явища які впливають на величини напружень, деформацій та переміщень.
19. Механізми виникнення пластичної деформації.
20. Фактори, що впливають на величину напружень та деформацій.
21. Вплив температурних та пластичних деформації, анізотропії властивостей, нерівномірність нагріву на утворення напружень та деформацій при зварюванні та наплавленні.
22. Вплив структурних перетворень в сталях на утворення напружень та деформацій при зварюванні та наплавленні.
23. Вплив концентраторів напружень на характер розподілу напружень та деформацій
24. Тверді та м'які прошарки в зварних з'єднаннях та виробках після наплавлення.
25. Засоби для зменшення залишкових напружень та деформацій під час зварювання.
26. Засоби для зменшення залишкових напружень та деформацій після зварювання.
27. Механізми виникнення та розподілу залишкових напружень.
28. Тимчасові та залишкові напруження та деформації.
29. Методи оцінки та вимірювання напружень та деформацій.
30. Класифікація зварювальних напружень та деформацій.
31. Найбільш поширені методи виміру залишкових деформацій.
32. Методи попередження залишкових напружень та деформацій.
33. Методи усунення залишкових напружень та деформацій.

Рекомендована література

Базова

1. Касаткин, В. С. Напряжения и деформации при сварке [Текст] / В. С. Касаткин, В. М. Прохоренко, И. М. Чертков. – К.: Вища школа, 1987. – 246с.
2. Винокуров, В. А. Сварочные деформации и напряжения Методы их устранения [Текст] / В. А. Винокуров. – М.: Машиностроение, 1968. – 236с.
3. Єрмолаєв, Г. В. Міцність зварних з'єднань: підручник [Текст] / Г. В. Єрмолаєв. – Миколаїв : НУК, 2007. – 220 с.
4. Напруження та деформації при зварюванні і паянні: підручник [Текст] / Л. М. Лобанов, Г. В. Єрмолаєв, В. В. Квасницький, О. В. Махненко, Г. В. Єгоров, А. В. Лабарткава; за заг. ред. Л. М. Лобанова. – Миколаїв: НУК, 2016. – 246 с.
5. Касаткин, Б. С. Экспериментальные методы исследования деформаций и напряжений: Справочное пособие [Текст] / Б. С. Касаткин, А. Б. Кудрин, Л. М. Лобанів. – К.: Наукова думка, 1981. – 581с.

Допоміжна

1. Гуляев, А.П. Металоведение [Текст] / А.П. Гуляев. – М.: Металлургия, 1978. – 648 с.
2. Броек Д. Основы механики разрушения [Текст]: Пер. с англ. / Д. Броек. – М.: Высшая школа, 1980, – 368 с.
3. Николаев, Г. А. Расчет, проектирование и изготовление сварных конструкций [Текст] / Г. А. Николаев, С. А. Куркин, В. А. Винокуров. – М. : Высшая школа, 1971. – 760 с.
4. Махненко, В. И. Ресурс безопасной эксплуатации сварных соединений и узлов современных конструкций [Текст] / В. И. Махненко. – К. : Наукова думка, 2006. – 620 с.
5. Паяння матеріалів: підручник [Текст] / Г. В. Єрмолаєв, В. В. Квасницький, В. Ф. Квасницький, С. В. Максимова, В. Ф. Хорунов, В. В. Чигарьов ; за заг. ред. В. Ф. Хорунова і В. Ф. Квасницького. – Миколаїв : НУК, 2015. – 340 с.

Інформаційні ресурси

1. Сайт zntu@otzw.ua.
2. Все о сварке, сварочных технологиях и оборудовании <http://weldingsite.com.ua/gas.html>.