

АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ  
Інститут електрозварювання ім. Є. О. Патона

На правах рукопису

**РЯБЧУК**  
*Тетяна Георгіївна*

КОМП'ЮТЕРНА СИСТЕМА ДЛЯ РОЗРАХУНКУ  
ТА ПРОЕКТУВАННЯ КУТОВИХ ШВІВ  
ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ

05.03.06 —

технологія та машини зварювального виробництва

**АВТОРЕФЕРАТ**  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Київ 1993



00814624 (P)

№ 26.914

Робота виконана в ЛНБ ім.С.О.Патона АН України.

Науковий керівник: академік АН України МАХНЕНКО В.І.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук МІХВЕВ П.П.;  
кандидат технічних наук СЕРЕНКО О.М.

Провідне підприємство: УкрНДІ "Проектстальконструкція",  
м.Київ.

Захист відбудеться "28" листопада 1993 р. о     годині  
на засіданні спеціалізованої вченої ради К 016.08.01 в  
Інституті електрозварювання ім.С.О.Патона АН України (252650,  
Київ 5, МСП, вул.Боженка, 11).

З дисертацією можна ознайомитись в науково-технічній  
бібліотеці інституту.

Відзив на автореферат (1 примірник, затверджений печат-  
кою) прохання надсилати за вище вказаною адресою.

Автореферат розісланий "12" Березня 1993 р.

Вчений секретар спеціа-  
лізованої вченої ради  
кандидат технічних наук

НЕСТЕРЕНКО В.М.

ЛНБ ім. В. Стефаніка  
АН України

Актуальність теми. Безперервно зростаючі вимоги на світовому ринку до якості зварних конструкцій, економії трудових і матеріальних ресурсів, скорочення строків проектування висувають перед їх творцями все більш складні завдання, рішення яких потребують відповідних ефективних підходів.

Розвиток обчислювальної техніки, зокрема персональних комп'ютерів, дав реальні передумови для створення нових підходів у різних галузях виробництва, в тому числі у виробництві зварних конструкцій.

В зварних з'єднаннях кутові шви є найбільш поширеними. Близько 70 % усіх з'єднань виконано кутовими швами, при цьому маса наплавленого металу складає 1,0...1,2 % від маси сталевих конструкцій. Досвід показує, що в ряді випадків допускається подвійне і потрійне завищення цих об'ємів за рахунок необгрунтованого вибору розмірів швів.

Прагнення до оптимізації розмірів кутових швів тісно пов'язане з необхідністю проведення глибоких і трудомістких розрахунків, що стосовно широкої інженерної практики можливе тільки на основі відповідної комп'ютерної системи. Комп'ютеризація проектування та розрахунку зварних з'єднань може досягти найбільшої ефективності, якщо при цьому не сліпо копіювати схеми ручного обліку, а враховувати більш реальні механізми навантаження та руйнування, але в рамках існуючих можливостей для інженерної практики.

Проведений аналіз методів оцінок граничних станів зварних з'єднань з кутовими швами дозволяє зробити висновки, що в існуючих підходах відсутня комплексність врахування основних факторів, що діють на несучу здатність кутового шва.

Метою дисертаційної роботи є створення комп'ютерної системи для розрахунку і проектування кутових швів зварних з'єднань на основі сучасних підходів механіки руйнування при комплексному врахуванні основних факторів, які визначають граничний стан: наявність гострої примикаючої порожнини, багатоси́нність напруженого стану, наявність залишкових зварювальних напружень, стохастика геометричних розмірів та механічних властивостей металу шва й пришовної зони.

У відповідності з метою в роботі ставляться наступні завдання:

1. Вибрати критерії граничного стану зони кутового шва при статичному і циклічному навантаженнях, що комплексно враховують наведені вище фактори.

2. Випукати розрахункові схеми для визначення зусиль (напружень), що виникають у кутових швах зварних з'єднань під дією заданих номінальних навантажень з врахуванням пружно-пластичної поведінки матеріалу кутового шва і пружної піддатливості з'єднуваних елементів.

3. Розглянути можливості оптимізації розмірів кутових швів.

4. Розробити методичку оцінки впливу варіації вихідних параметрів на забезпеченість розрахунку кутових швів.

5. Розробити структуру комп'ютерної системи для розрахунку і проектування зварних з'єднань із кутовими швами.

6. Створити серію модулів як складових частин комп'ютерної системи, відповідних різним типам зварних з'єднань і різним схемам навантаження.

7. Провести апробацію характерних модулів шляхом зіставлення розрахункових результатів з даними експерименту.

8. Розробити рекомендації для розрахунку і проектування кутових швів зварних з'єднань з використанням персональних комп'ютерів (ПК).

Методи досліджень. Аналітичні та чисельні методи теорії пружно-пластичного деформування матеріалів у сполученні з методами сучасної механіки руйнування, інформатики. Розрахункові дані досліджень апробувались зіставленням з експериментальними результатами.

#### Наукова новизна.

1. Вперше на основі сучасної механіки руйнування тлі із трицинами запропоновані критерії граничного стану для зони кутового шва зварного з'єднання при статичних і циклічних навантаженнях, що дозволяють одночасно врахувати багатосиність напруженого стану, залишкові зварювальні напруження, примикаючі гострі порожнини.

2. Користуючись можливостями сучасних персональних комп'ютерів, запропоновані уточнені розрахункові схеми для оцінки зусиль (напружень) в кутових швах різних зварних з'єднань при заданих номінальних навантаженнях з врахуванням пружно-пластичної роботи матеріалу шва і пружної піддатливості з'єднуваних елементів.

3. Для різних зварних з'єднань із кутовими швами розроблені алгоритми розрахунку оптимальних розмірів кутових швів при статичному і циклічному навантаженні із умов одночасного настання граничного стану в усіх точках перетину шва і мінімуму наплавленого металу.

4. Для різних зварних з'єднань з кутовими швами, в залежності від варіації основних вихідних параметрів, запропоновано алгоритм оцінки забезпеченості розрахунку, що встановлює зв'язок між величинами забезпеченості розрахунку з припустимим навантаженням, коефіцієнтами безпеки, геометричними розмірами. Показано, що при відомій варіації вихідних параметрів більш раціонально вести розрахунок за заданою забезпеченістю, ніж за заданим коефіцієнтом безпеки.

Апробація роботи. Результати досліджень і основні положення роботи доповідались та обговорювались на семінарі "Перспективи застосування персональних комп'ютерів для автоматизації проектування зварних з'єднань і технології зварювання" (м.Київ, 1987), семінарі "Застосування математичних методів та ЕОМ у зварюванні" (м.Ленінград, 1987), IV літній школі країн-членів РЕВ "Застосування математичних методів у зварюванні" (м.Київ, 1988), конференції в рамках конгресу МІЗ "Якість зварювання. Роль комп'ютерів" (м.Відень, Австрія, 1988), всесоюзній науково-технічній конференції "Математичні методи і САПР у зварювальному виробництві" (м.Свердловськ, 1988), засіданні експертної групи координаційної ради по зварюванню СРСР (м.Київ, 1990), всесоюзному науково-технічному семінарі "Застосування математичних методів і САПР у зварюванні" (м.Ленінград, 1991), всесоюзній науково-технічній конференції "Міцність і діагностика зварних конструкцій" (м.Тверь, 1991), засіданні секції "Математичне моделювання фізико-хімічних процесів, створення банків даних, розрахунково-інформаційних і експертних систем в галузі зварювання і споріднених технологій" (м.Київ, 1992).

#### Практична цінність роботи.

1. Розроблена комп'ютерна система для інженерних розрахунків на міцність різних кутових швів зварних з'єднань побудована на модульному принципі. Кожний модуль системи присвячений певному типу зварюго з'єднання і дозволяє вирішувати такі завдання:

- розрахунок граничного навантаження зони кутового шва

зварного з'єднання при статичних і циклічних навантаженнях;

- перевірочний розрахунок на міцність кутового шва при статичних та циклічних навантаженнях;

- визначення оптимальних розмірів кутового шва при статичних та циклічних навантаженнях.

Відповідне сервісне забезпечення, розроблене у системі, не потребує від користувача спеціальних знань і навичок роботи з персональним комп'ютером у галузі міцності зварних з'єднань, розрахунків напруженого стану і дозволяє оперативно отримувати необхідні результати при проектуванні й перевірочних розрахунках на міцність кутових швів різних зварних з'єднань. Оптимізація розмірів кутових швів при проектуванні за допомогою розрахункових алгоритмів системи сприяє значному скороченню об'єму наплавленого металу при заданій надійності зварних з'єднань.

2. Опрацьована комп'ютерна система дозволяє оцінити вплив величин залишкових зваривальних напружень на граничну навантаженість і розміри кутових швів різних зварних з'єднань при статичному та циклічному навантаженнях.

3. Розроблена комп'ютерна система дозволяє користувачу оцінити ступінь наближення тих чи інших вихідних даних проєктованого з'єднання з кутовими швами на припустимі навантаження і розміри зварних швів.

4. Розроблено рекомендації з розрахунку і проєктування кутових швів зварних з'єднань із використанням ПК.

5. Різні модифікації системи (у залежності від модулів, що цікавлять користувача) впроваджені на ряді підприємств машинобудівного профілю: АО "Важмехпрес" (м.Воронеж), НВО "Центр" (м.Мінськ).

На захист виносяться наукові результати і положення:

- запропоновані критерії граничного стану для зони кутового шва зварного з'єднання при статичних і циклічних навантаженнях, що дозволяють врахувати одночасно примикавчу гостру порожнину, багатосічність навантаження і залишкові зваривальні напруження;

- уточнені розрахункові схеми для визначення зусиль (напружень) у кутових швах різних зварних з'єднань при заданих номінальних навантаженнях;

- алгоритм розрахунку оптимальних розмірів кутових швів

при статичних і циклічних навантаженнях;

- алгоритм оцінки забезпеченості розрахунку в залежності від варіації вихідних параметрів та використовуваних коефіцієнтів безпеки;

- розроблена комп'ютерна система для розрахунку і проектування кутових швів зварних з'єднань.

Публікації. По темі дисертації опубліковано 9 робіт.

Структура і об'єм дисертації. Дисертація складається з вступу, чотирьох глав, загальних висновків, списку літератури, додатків. Загальний об'єм складає 265 сторінок машинописного тексту, 99 малюнків, 39 таблиць; список використаної літератури вміщує 93 найменування.

У вступі обгрунтовано актуальність створення комп'ютерної системи для розрахунку і проектування зварних з'єднань з кутовими швами. Показано наукову новизну і практичну цінність роботи. Сформульовано основні положення, винесені на захист.

У першій главі розглянуті існуючі підходи для розрахунку на міцність кутових швів зварних з'єднань, що працюють при статичних і циклічних навантаженнях; проаналізовані недоліки і обмеження в галузі застосування існуючих підходів; визначені мета і завдання дослідження.

У другій главі обгрунтовано вибір критеріїв граничного стану у розрахунках на міцність зони кутового шва зварного з'єднання при статичних і циклічних навантаженнях, розглянуто та проаналізовано за допомогою банку даних "Механічні властивості зварних з'єднань", створеного в ЛЕЗ ім.Є.О.Патона АН України основні параметри, що входять до критеріїв.

У третій главі описано опрацьовані математичні моделі і характеристики напруженого стану, викликаного зовнішнім навантаженням у кутових швах зварних з'єднань, що відносяться як до статично визначених, так і до статично невизначених систем. Наведено ілюстрації реалізації описаних підходів до різних типів з'єднань, розглянуто вплив вихідних параметрів на розподіл зусиль у швах. Придлено увагу розробці методів розрахунку зварних з'єднань із слабонавантаженими швами.

У четвертій главі описуються типові розрахункові алгоритми для оцінки граничного стану кутового шва; наводиться зіставлення одержаних результатів з експериментальними даними; описується алгоритм для оптимізації розмірів кутових швів; досліджується вплив залишкових напружень на граничне наванта-

ження у шві; наводиться алгоритм оцінки забезпеченості розрахунку і досліджується вплив варіації вихідних параметрів на розміри кутових швів; описується комп'ютерна система для розрахунку і проектування зварних з'єднань з кутовими швами.

В процесі виконання роботи були запропоновані нові інженерні підходи, що дозволяють на основі сучасних положень механіки руйнування розраховувати і проектувати кутові шви різних зварних з'єднань. Запропоновані алгоритми реалізовані на ПК у вигляді комп'ютерної системи.

#### СТИСЛИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

Більшість існуючих методів розрахунку зварних з'єднань із кутовими швами побудована на попередньому розрахунку напружень і деформації в перетині кутового шва. При різній геометрії з'єднань і докладеному навантаженні необхідно мати чітке уявлення про розподіл напружень і деформацій в перетині вказаних швів. Це питання розглядалося у роботах Г.О. Ніколаєва, В.О. Винокурова, Д.І. Навроцького, В.І. Махненка, О.А. Великоіваненко, Ф. Фалтуса, Ф. Маклінтока та ін. Однак багато що залишається мало вивченим, особливо для складного напруженого стану та в одержанні ефективних інженерних методів розрахунку.

Прагнення до оптимізації розмірів кутових швів у різних з'єднаннях з економічних міркувань тісно пов'язане з необхідністю оцінки несучої спроможності зварних швів. Крім того, з'єднання повинне мати достатній запас технологічної міцності, що забезпечить можливість виконання кутових швів невеликого перетину без застосування додаткових трудомістких технологічних заходів. Цим питанням присвячений ряд досліджень О.А. Казимірова, О.О. Баки, М.Л. Зайцева, В.М. Барішева, Ф. Фалтуса, Д. Федер, Д. Радаи та ін.

Розробка та освоєння підходів механіки руйнування тІД з тріщинами, відповідно до зварних з'єднань у роботах О.О. Баки, М.Л. Зайцева, В.О. Винокурова, В.І. Махненка, В.Є. Починка, Є.М. Морозова, Г.С. Васильченка, Д. Радаи, Д. Франсуа, І. Уєди, І.Д. Харрісона, Ф.М. Бурдекіна, А.А. Велса та ін., дозволили розширити можливості розрахункових методів при оцінці зварних з'єднань із вказаними вище геометричними особливостями.

Найбільш часто руйнування елементів зварних конструкцій проходить квазікрихко і супроводжується розвитком пластичних

деформації, що потребує застосування підходів нелінійної механіки руйнування, заснованої на пружно-пластичній поведінці матеріалу.

Для оцінки граничного стану при статичних навантаженнях у роботі вибрано двошпараметричний критерій нелінійної механіки руйнування, заснований на пропозиції Є.М. Морозова та Г.С. Васильченка. Для багатосного напруженого стану його можна подати у вигляді:

$$\left[ \frac{\sigma_t}{\sigma_p} \right]^{q+1} + \left[ \frac{K_{\omega\theta}^{\max}}{K_{IC} \eta} \right]^2 = 1, \quad (1)$$

де  $\sigma_t$  - інтенсивність напружень,  $K_{IC}$  - в'язкість руйнування матеріалу шва або пришовної зони,  $\eta$  - виправлення, що враховує притуплення у вершині примикаючої порожнини, а також обмежені лінійні розміри кутового шва, при яких деформування відрізняється від вимог плоскої деформації. Використовується така наближена залежність:

$$\eta = \eta_1 \eta_2, \quad (2)$$

де  $\eta_1 = 1$  при  $r < r_0$ ;  $\eta_1 = \sqrt{r/r_0}$  при  $r > r_0$ ;  
 $\eta_2 = 1$  при  $h > h_m = m(K_{IC}/\sigma_T)^2$ ;  $\eta_2 = \sqrt{h_m/h}$  при  $h < h_m$ ,  
 $r$  - радіус притуплення порожнини,  $r_0 = 0,1$  мм,  $m = 1 \dots 2,5$ ,  
 $h$  - характерний лінійний розмір шва.

Коефіцієнт інтенсивності напружень  $K_{\omega\theta}$  у вершині примикаючої порожнини за теорією узагальненого нормального відриву з врахуванням залишкових напружень визначається таким чином:

$$K_{\omega\theta} = \left[ (K_I + K_I^r) \cos^3 \frac{\omega}{2} - 3(K_{II} + K_{II}^r) \sin \frac{\omega}{2} \cos^2 \frac{\omega}{2} \right] \cos^2 \theta + \\ + (K_{III} + K_{III}^r) \cos \frac{\omega}{2} \sin 2\theta, \quad (3)$$

де  $K_I$ ,  $K_{II}$ ,  $K_{III}$  - коефіцієнти інтенсивності напружень від зовнішнього навантаження,  $K_I^r$ ,  $K_{II}^r$ ,  $K_{III}^r$  - те ж саме, але від залишкових зваривальних напружень,  $\omega$  і  $\theta$  - кути потенціального розвитку тріщини.  $K_{\omega\theta}^{\max}$  обирається за умови екстремальності значення  $K_{\omega\theta}$ .

Критерій (1) відрізняє наочність та зручність реалізації. Він добре узгоджується з широко використовуваним на Заході двошпараметричним критерієм Харрісона (рис. 1).

Використання (1) вимагає знання ряду характеристик матеріалу шва і зони сплавлення, які визначають їх опір руйнуванню ( $\sigma_p$ ,  $\sigma_T$ ,  $K_{IC}$ ). Природно, що найбільш раціональним з врахуванням комп'ютеризації розрахунків є застосування банку да-

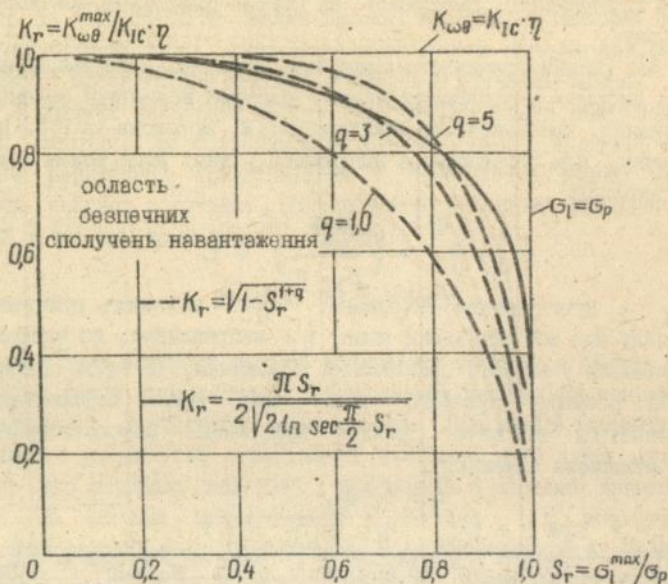


Рис. 1. Двохпараметричні критерії в'язко-крихкого руйнування

них за реальними характеристиками  $\sigma_p$ ,  $\sigma_T$  і  $K_{IC}$ , отриманими у відповідних експериментальних дослідженнях.

У теперішній час найбільш складним є пошук величини  $K_{IC}$ , що характеризує опір матеріала крихкому руйнуванню, тому в роботі розглянуто можливості наближеної оцінки величини  $K_{IC}$  через стандартні характеристики матеріалу.

При циклічних навантаженнях на даній стадії удосконалення розрахунку кутових швів пропонується обмежитись умовою непоширеності тріщини. Це дозволить з певним ступенем консерватизму використати достатньо простий критерій у вигляді

$$\Delta K_{\omega\theta} = \Delta K_{th}(R=0) f(R) \quad \text{при } \omega = \omega_{**}, \quad \theta = \theta_{**}, \quad (4)$$

де  $\Delta K_{\omega\theta} = K_{\omega\theta}^{max} - K_{\omega\theta}^{min} = K_{\omega\theta}^{max} (1 - R)$ ,  
 $K_{\omega\theta}^{max}$  - коефіцієнт інтенсивності напружень при  $\omega = \omega_{**}$  і  $\theta = \theta_{**}$ , що відповідає найбільш можливому спрямуванню розвитку тріщини,  $\Delta K_{th}$  - порогове значення розмаху коефіцієнтів інтенсивності напружень,  $R$  - коефіцієнт асиметрії циклу,  $f(R)$  - функція, що враховує вплив коефіцієнта асиметрії циклу  $R$  на

$\Delta K_{th}$ .

При "коротких" тріщинах, розмір яких сумірний із структурним елементом матеріалу, критерій (4) стає неприйнятним. Кількісно оцінити розмір "короткої" тріщини можна наближено з виразу

$$l \leq \left[ \frac{\Delta K_{th}}{\sigma_R (1 - R) \sqrt{\pi}} \right], \quad (5)$$

де  $\sigma_R$  - граничне напруження, що не викликає ініціювання тріщини від втоми в даному матеріалі. Звичайно, гострі порожнини, які примикають до кутових швів, виходять за межі "коротких" тріщин.

При побудові розрахункових алгоритмів визначення зусиль (напружень) в кутових швах, відповідні з'єднання у роботі розподілені на дві групи: статично визначені і статично невизначені. Особливу увагу приділено розрахунку зусиль (напружень) у різних з'єднаннях із кутовими швами, де вимагається притягнення даних з деформацій з'єднуємих елементів, тобто сполученням другої групи. Запропоновано ряд розрахункових алгоритмів, в основу яких покладено припущення про пружно-пластичну поведінку металу шва і пружної піддатливості з'єднуємих елементів.

Крайові задачі, що виникають, у загальному випадку розв'язуються чисельними методами з використанням матричної прогонки. Фізична нелінійність, обумовлена пластичним бігом зварного шва при ступеневому законі зміцнення, реалізується шляхом послідовних наближень. Опрацьовані алгоритми є достатньо ефективними з позицій витрати машинного часу, оскільки отримання рішення, навіть у найскладнішому випадку, вимагають не більше кількох секунд РС АТ 286.

Зазначений алгоритм вживали для оцінки зусиль як у несучих кутових швах різних зварних з'єднань (з'єднань внапуск із несиметричними фланговими швами, при сполученнях флангових швів з лобовими, для таврових з'єднань і т.д.), так і для слабонавантажених кутових швів різних з'єднань. Останні вельми поширені у сучасних зварних металевих конструкціях, і практично не існує інженерних методів розрахунку з'єднань з такими кутовими швами, оскільки визначення зусиль у слабонавантажених кутових швах, навіть у найпростіших випадках, пов'язане із розв'язанням статично невизначеного завдання, тобто достатньо складного.

У роботі виконані чисельні дослідження і показана специфіка розподілу зусиль уздовж слабонавантажених швів різних з'єднань.

На основі узагальнення наявних даних, отриманих чисельними методами або в результаті наближених аналітичних рішень, наводяться рекомендації для визначення коефіцієнтів інтенсивності напружень  $K_I$ ,  $K_{II}$ ,  $K_{III}$  для усіх типів зварних з'єднань, що входять до комп'ютерної системи.

Розрахунки на міцність в опрацьованій комп'ютерній системі ведуться по граничному стану, визначеному по наведених вище критеріях із використанням розрахункових даних з інтенсивності напружень і коефіцієнтів інтенсивності напружень. Ступінь вірогідності розрахунку граничного стану при статичних і циклічних навантаженнях оцінювалася зіставленням із відповідними експериментальними даними з робіт Ф. Фалтуса, В.О. Винокурова, О.О. Бакши, Д. Бенуа та ін. Розбіжності по граничних навантаженнях не перевищували 10 % як у випадках достатньо в'язкого руйнування, так і при відверто крихких руйнуваннях.

Можливість досить швидко отримати шляхом розрахунку інформацію про граничний стан для різних розмірів кутових швів при статичному і циклічному навантаженнях з прийнятною точністю створює передумови для використання алгоритму визначення оптимальних розмірів кутових швів за умови одночасного настання граничного стану і мінімального об'єму наплавленого металу. У загальному випадку реалізація алгоритму здійснюється чисельно методом послідовних наближень. В результаті можна отримати ідеальну форму кутового шва. Природно, що здійснити таку форму технологічно складно, крім того у зонах переходу  $\varphi = 0$  і  $\varphi = \varphi_K$  (рис. 2) можуть виникати небажані концентратори напружень. Тому доцільно "ідеалізовану" форму  $h(\varphi)$  замінити більш реальною, наприклад, описаним трикутником із катетами  $K_y$  і  $K_z$  (рис. 2). Величини  $K_y$  і  $K_z$  визначаються за умови, що з усіх можливих описаних трикутників треба вибрати з мінімальною площею наплавки

$$F_H = 0,5 K_z (K_y + H'), \quad (6)$$

де  $H'$  - глибина розчищення кромки.

Реалізація опрацьованого розрахункового алгоритму на персональний ЕОМ не викликає істотних утруднень, що дозволяє використати його при розробці відповідного забезпечення для

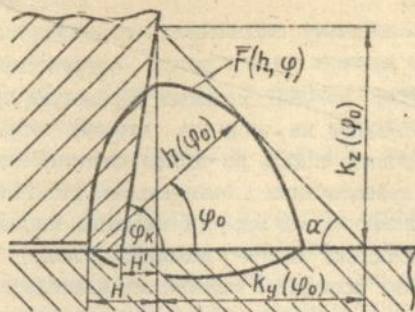


Рис. 2. Характерні розміри форми перерізу шва

широкого інженерного користування і знизити об'єм наплавленого металу приблизно на 30 %.

В існуючих методах розрахунку зварних з'єднань вплив залишкових зварювальних напружень на граничне навантаження і розрахункові розміри кутових швів, звичайно, не враховують, оскільки при статичному навантаженні граничний стан для металу кутових швів настає у стані, коли залишкові напруження встигають повністю релаксувати, а при циклічних навантаженнях руйнування відбувається не по металу шва, а по основному металу в зоні переходу. Такі уявлення не завжди достатньо висчерпно характеризують варіанти руйнування, особливо при наявності гострих порожнин, що примикають до металу шва. Запропоновані у роботі підходи дозволяють оцінити вплив залишкових зварювальних напружень на граничне навантаження та оптимальні розміри зварних швів при різних видах навантаження. Показано, що при статичних навантаженнях вплив залишкових зварювальних напружень виявляється, якщо є відповідні умови до окрихчування: наявність гострих порожнин, високої границі текучості у сполученні з відносно невисокою в'язкістю руйнування і масивним перерізом, а при циклічному навантаженні вплив залишкових напружень на величину граничного навантаження виявляється тільки через зміну коефіцієнта асиметрії істинного циклу навантаження у вершині порожнини, що примикає.

Розвиток більш досконалих методів розрахунку на міцність потребує притягнення цілого ряду параметрів, по яких проєктувальник має в своєму розпорядженні досить приблизну інфор-

мація, що, природно, не повинно відбитися на заданій забезпеченості розрахунку.

З аналізу мінливості механічних властивостей і геометричних розмірів кутових швів в роботі обґрунтовується необхідність врахування варіації вказаних параметрів при оцінці забезпеченості розрахунку на міцність кутових швів зварних з'єднань. Запропоновано підхід до оцінки забезпеченості розрахунку граничного навантаження і оптимальних розмірів зварного кутового шва в залежності від варіації вихідних параметрів.

Враховуючи можливий досить великий розкид коефіцієнтів варіації геометричних розмірів і механічних властивостей у металі шва, одержуваних у різних умовах, більш обґрунтованим є розрахунок таких з'єднань не по заданим коефіцієнтам безпеки, а по заданій забезпеченості розрахунку.

Показано, що з допомогою двохпараметричного критерія можна оцінювати і тривалу міцність кутового шва зварного з'єднання, особливо у випадках, коли деформаціями повзучості можна знехтувати.

У підсумку, результати виконаних досліджень лягли в основу опрацьованої комп'ютерної системи для розрахунку і проектування кутових швів зварних з'єднань. Створене сервісне математичне забезпечення максимально полегшить роботу користувача, не вимагаючи від нього спеціальних знань в галузі математики, механіки руйнування комп'ютерної техніки. Від нього потрібні лише знання, безпосередньо пов'язані з проектуванням зварних з'єднань: умови роботи, номінальні навантаження, що діють на з'єднання, механічні властивості, геометричні розміри. Більш того, якщо в будь-якій з потрібних величин є невпевненість, то можна задати цю величину наближено, визначивши границі її варіювання.

Розроблена комп'ютерна система для інженерних розрахунків на міцність різних кутових швів зварних з'єднань, побудована за модульним принципом. Кожен модуль системи присвячений певному типу з'єднання і дозволяє розв'язати такі завдання (рис. 3):

1. Розрахунок граничного навантаження зони кутового шва зварного з'єднання при статичних навантаженнях.
2. Розрахунок граничного навантаження зони кутового шва зварного з'єднання при циклічних навантаженнях.
3. Перевірочний розрахунок на міцність кутового шва при

статичних навантажень.

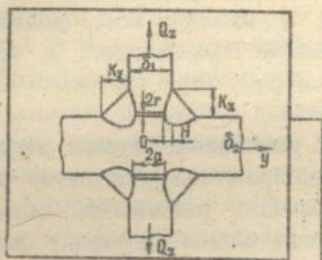
4. Перевірочний розрахунок на міцність кутового шва при циклічних навантаженнях.

5. Визначення оптимальних розмірів кутового шва при статичних навантаженнях.

6. Визначення оптимальних розмірів кутового шва при циклічних навантаженнях.

За рахунок відповідного сервісного забезпечення використана система не потребує від користувача спеціальних навичок роботи з персональним комп'ютером, вона працює в діалоговому режимі і дозволяє оперативного отримувати необхідні результати.

## КОМП'ЮТЕРНА СИСТЕМА



### СТРУКТУРА ТИПОВОГО МОДУЛЯ

ЗАДАЧІ	1	2	3	4	5	6
ВИХІДНІ ЗАВДАННЯ	МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ					
	ГЕОМЕТРИЧНІ ПАРАМЕТРИ		НАВАНТАЖЕННЯ, ГЕОМЕТРИЧНІ ПАРАМЕТРИ		НАВАНТАЖЕННЯ	
РОЗРАХУНОК	$\rho, V, T, M,$			$K_T, K_H, K_S$		
	$\sigma_i, K_{\sigma B}$	$\Delta K_{\sigma B}$	$\sigma_i, K_{\sigma B}$	$\Delta K_{\sigma B}$	$\sigma_i$	
	ГРАНИЧНЕ НАВАНТАЖЕННЯ, ЗАБЕЗПЕЧЕНОСТЬ		КОЕФІЦІЄНТ БЕЗПЕКИ		ОПТИМАЛЬНІ РОЗМІРИ, ЗАБЕЗПЕЧЕНОСТЬ	

Рис. 3. Структура типового розрахункового модуля комп'ютерної системи

1. Комп'ютеризація проектування і розрахунку кутових швів зварних з'єднань може досягти найбільшої ефективності, якщо при цьому користуватися новими підходами, які враховують реальний механізм навантаження і руйнування, але в межах існуючих можливостей для інженерної практики.

2. Для практичних розрахунків зони кутового шва зварних з'єднань на основі сучасної механіки руйнування тІЛ з тріщинами запропоновані критерії граничного стану при статичних та циклічних навантаженнях, що дозволяють на відміну від раніше відомих робіт одночасно враховувати багатосність напруженого стану, залишкові зварувальні напруження, примикаючі гострі по-рожини.

3. Користуючись можливостями сучасних персональних комп'ютерів, пропонується уточнені розрахункові схеми для оцінки зусиль (напружень) у кутових швах різних зварних з'єднань при заданих номінальних навантаженнях з врахуванням пружно-пластичної роботи матеріалу шва і пластичної піддатливості з'єднаних елементів.

4. Результати апробації розроблених окремих розрахункових схем шляхом зіставлення з експериментальними даними різних авторів при оцінюванні граничних навантажень свідчать про достатню вірогідність отриманих шляхом розрахунку даних. Опрацьовані розрахункові схеми дозволяють враховувати характерні особливості навантажування і дає добре узгодження з експериментом по граничних навантаженнях у випадках, де застосування рекомендацій БНІЛу призводить до суттєвих погрешностей.

5. Для різних зварних з'єднань з кутовими швами розроблені алгоритми визначення оптимальних розмірів зварних швів при різних видах навантаження. Можливість отримання на стадії проектування рекомендації стосовно оптимальних розмірів і форми кутового шва сприяє зниженню об'єму наплавленого металу, енергетичних і трудових витрат при виготовленні зварних конструкцій. Показано, що в ряді випадків оптимізація розмірів кутових швів у порівнянні з рекомендаціями БНІЛу дозволяє знизити об'єм наплавленого металу в середньому на 30 %.

6. В розроблених методах вплив залишкових зварувальних напружень виявляється при статичних навантаженнях, якщо є відповідні умови до окрихчування, тобто наявність гострих по-

рожнин, високої градиці текучості у сполученні з відносно невисокою в'язкістю руйнування і масивним перерізom шва. При циклічному навантаженні вплив поперечних залишкових напружень на величину граничного навантаження виявляється лише через зміну коефіцієнта асиметрії істинного циклу навантаження у вершині приймаючої порожнини.

7. Враховуючи відверто стохастичний характер використовуваної проєктувальником інформації стосовно геометричних розмірів зварного шва, механічних властивостей його зони, діючих навантажень, в розробленій комп'ютерній системі розрахунку на міцність зварних з'єднань передбачено алгоритм оцінки забезпеченості розрахунку за найбільш характерним параметром.

8. Опрацьована комп'ютерна система для інженерних розрахунків на міцність різних кутових швів зварних з'єднань, в якій сполучаються сучасні підходи механіки руйнування та чисельні методи реалізації розрахунків. Система побудована за модульним принципом – кожен модуль системи присвячений окремому типу з'єднання. За рахунок відповідного сервісного забезпечення система дозволяє оперативно одержувати необхідну інформацію, не вимагаючи від користувача спеціальних знань і навичок роботи з персональним комп'ютером.

9. Підготовлено "Рекомендації з розрахунку та проєктування кутових швів зварних з'єднань із використанням персональних ЕОМ".

Основний зміст дисертаційної роботи відбито у таких публікаціях:

1. Makhnenko V.I., Pochinok V.E., Ryabchuk T.G. Computeraided system for fillet welded joints // Proc: Intern. Conf. on Improved Weldment Quality with Special Reference to Computer Technology. - Pergamon Press, 1988, - P. 11-19.

2. Махненко В.И., Рябчук Т.Г. Концентрация напряжений у концов фланговых швов // Применение математических методов в сварке: Сб. науч. тр. - Киев: ИЭС им.Е.О.Патона, 1988. - С. 61-67.

3. Совершенствование методов расчета сварных соединений с использованием соответствующих банков данных и персональных ЭВМ /В.И. Махненко, В.Е. Починок, Р.Ю. Мосенко и др. // Там же. - С. 102-111.

4. Рябчук Т.Г. Компьютерная система для расчета и проєк-

тирования сварных соединений с угловыми швами // Математические методы и САПР в сварочном производстве: Тез. докл. конф. - Свердловск, 1990. - С. 84.

5. Махненко В.И., Рябчук Т.Г., Починок В.Е. Совершенствование методики расчета на прочность сварных соединений с точечными швами // Автомат. сварка. - 1990. - № 1. - С. 9-14.

6. Махненко В.И., Рябчук Т.Г. Компьютеризация расчета сварных соединений с угловыми швами // Автомат. сварка. - 1991. - № 11. - С. 1-6.

7. Махненко В.И., Рябчук Т.Г. Обеспеченность расчета и размеры угловых швов различных сварных соединений // Автомат. сварка. - 1993. - № 1. - С. 3-6.

8. Махненко В.И., Рябчук Т.Г. Влияние остаточных сварочных напряжений на предельную нагрузку и расчетные размеры несущих угловых швов сварных соединений // Автомат. сварка. - 1993. - № 3 (в печати).

9. Рябчук Т.Г. Компьютерная система для расчета и проектирования угловых швов сварных соединений (в печати).

Особистий внесок автора. Сім з дев'яти робіт написано у співавторстві, дві - самостійно. В [1] запропонована методика оптимізації розмірів кутових швів за допомогою ПК, [2] присвячена дослідженню розподілів напружень у кінцях флангових швів, у [3 - 6, 9] наводиться опис структури комп'ютерної системи, алгоритми, на основі яких виконані чисельні дослідження, зіставлення отриманих шляхом розрахунку даних з експериментальними, у [7] запропоновано алгоритм забезпеченості розрахунку, вивчено вплив забезпеченості розрахунку і варіації вихідних параметрів на розміри несучих кутових швів, у [8] оцінено вплив залишкових зваривальних напружень на несучу спроможність кутового шва.

Підп. до друку 02.03.93. Формат 60x84/16. Пап. офс. № 2. Офс. друк. Ум. друк. арк. 0,93. Ум. фарбо-відб. 1,16. Осл.-внд. арк. 0,96. Тираж 100 прим. Зам. 139. Безкоштовно.

ІЕЗ ім.Є.О.Патона. 252650 Київ 5, МСП, вул. Горького, 69.  
ПОД ІЕЗ ім.Є.О.Патона. 252650 Київ 5, МСП, вул. Горького, 69.

ЛНБ ім. В. Стефаніка  
АН України



Безкоштовно

Av 26.914  
**Av 26.914**