

УДК 621.791

ДОСЛІДЖЕННЯ МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ Й ТРІЩИНОСТІЙКОСТІ ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ СТАЛІ 09Г2С¹⁷

Алефіров О., студент гр. МС-41-19, ХНАДУ

Анотація. Проведено дослідження структурно-механічної неоднорідності стикових зварних з'єднань сталі 09Г2С, виконаних двостороннім автоматичним зварюванням плавленням. На основі проведених досліджень визначено середні значення й коефіцієнти варіацій границі текучості, тимчасового опору й тріщиностійкості J_c металу з'єднань. Показано, що статистичні варіації границі текучості, тимчасового опору й тріщиностійкості J_c металу різних зон з'єднань не мають чітких кореляцій між собою.

Ключові слова: сталь, зварювання, механічні властивості, тріщиностійкість.

RESEARCH OF MECHANICAL PROPERTIES AND CRACK RESISTANCE OF WELD JOINTS OF STEEL 09Г2С

Alefirov O., student of group MC-41-19, KhNAHU

Abstract. The research of structural and mechanical heterogeneity of the abutting weld joints of steel 09G2S executed by bilateral automatic welding by melting is conducted. On the basis of the conducted researches mean values and coefficients of variations of a tear strength, temporary resistance and crack resistance of J_c of metal of connections are defined. It is shown that statistical variations of a tear strength, the temporary resistance and crack resistance of J_c of metal of different zones of connections have no accurate correlations among themselves.

Key words: steel, welding, mechanical properties, crack resistance.

Вступ

Однієї з істотних особливостей зварних з'єднань є структурно-механічна неоднорідність металу. Природа й властивості цієї неоднорідності неодноразово досліджувалися, однак, її роль як фактора руйнувань зварних з'єднань залишається до кінця не певною. Негативні ефекти неоднорідності звичайно проявляються в комплексі з перерозподілом полів номінальних і локальних напружень, деформацій, старінням металу, нагромадженням утомлюваних ушкоджень. Істотним є й статистичний фактор структурно-механічної неоднорідності, оскільки формування вогнищ руйнування зварних з'єднань багато в чому залежить від випадкових розсіювань мікро- й макрохарактеристик різних зон зварного шва. У зв'язку із цим структурно-механічна неоднорідність має особливе значення й розглядається як необхідний елемент комплексного експериментального дослідження міцності й тріщиностійкості зварних з'єднань.

Це спричиняє актуальність проведених досліджень структурно-механічної неоднорідності зварних з'єднань, виконаних дуговим зварюванням плавленням.

Аналіз публікацій та мета досліджень

Зварювальні процеси протікають по складним фізико-хімічним законам при високій температурі. Оцінка впливу більшості параметрів на зварювальні процеси розраховується наближено по номограмам або емпіричними формулами, складеними на основі статистичних даних 30-40 річної давності [1]. Вибір способу і найкращих режимів зварювання легованих сталей, які

¹⁷ Робота виконана під керівництвом доцента Багрова В.А.

працюють в різних умовах, пов'язаний з деякими труднощами: трудомісткість і тривалість виконання дослідження, значні матеріальні витрати, що обмежує кількість варіантів раціонального рішення. Крім того, отримані математичні моделі та залежності не дають візуального представлення про протікання процесів зварювання [2].

Структура і властивості зварних з'єднань з низьколегованих сталей пов'язані з технологічним процесом зварювання і залежать від обраного способу і режимів (фронт газового захисту, швидкість зварювання, напруга дуги, сила зварювального струму, температура попереднього підігріву, температура наступної термообробки й інш.). Крім цього, швидко протікають процеси у зварювальній ванні, створюють нерівноважні умови кристалізації, а незавершеність процесів дифузії й конвективного масоперенесення обумовлює хімічну і структурну неоднорідність [3], що знижує експлуатаційні властивості виробів і в більшості випадків призводить до передчасного руйнування. Найбільшу небезпеку становить зона сплаву наплавленого металу з основним (навколошовна зона), де спостерігається підвищена хімічна і структурна неоднорідність, а також пік концентрації внутрішніх зварювальних напружень.

Ціль досліджень полягала в одержанні статистичної інформації про характеристики механічних властивостей різних зон зварних з'єднань для наступної розробки розрахункових моделей деформування й розвитку критеріїв руйнування.

Методи і матеріали дослідження

Дослідження виконані на зварних з'єднаннях сталі марки 09Г2С, яка широко застосовується у сучасному машинобудуванні. Сталь 09Г2С застосовується для виготовлення різних деталей і елементів зварних металоконструкцій загального призначення, що працюють при температурі від мінус 70 до плюс 425 °С: парових казанів, апаратів і місткостей, що працюють під тиском; деталей трубопровідних арматур, відповідальних зварних машинобудівних і будівельних конструкцій.

Для виготовлення зразків використовувалися прокатні листи товщиною 10 мм, довжиною 500 мм і шириною 150 мм. Механічні властивості сталей при даній товщині листового прокату відповідно до ДЕРЖСТАНДАРТ 5520-79 представлені в табл. 1.

Зварювання проводилося автоматичним способом під флюсом дротом діаметром 2 мм. Для сталі 09Г2С – флюс АН-348А й дріт Св08ГА. Зварювання проводилося із двох сторін. Перша сторона: струм зварювання 300–320 А, напруга 26–27 В, швидкість 40 м/год, виліт електрода 25 мм. Друга сторона: струм зварювання 410–430 А, напруга 29–40 В, швидкість 40 м/год, виліт електрода 25 мм.

Таблиця 1 - Механічні властивості листового прокату товщиною 10 мм

Сталь	ДЕРЖСТАНДАРТ	Модуль пружності E , МПа	Межа текучості σ_t , МПа	Тимчасовий опір σ_b , МПа	Відносне подовження δ_5 , %
09Г2С	5520-79	$2,1 \cdot 10^5$	325	470	21

Для визначення характеристик механічних властивостей випробовувалися стандартні циліндричні зразки за ДСТУ 6996 з діаметром робочої частини 3 мм. Зразки вирізалися в поздовжньому напрямку із чотирьох областей зварного з'єднання, розташованих на відстані 0, 6, 8 і 25 мм від центра шва (рис. 1), по чотирьох зразка з кожної області.

Випробування проводилися на універсальній іспитовій машині ViSS моделі Vi-00-201, призначеної для механічних випробувань на міцність, витривалість і руйнування в інтервалі навантажень до 5 кН із частотою навантаження від 0 до 100 Гц. Для розтягання навернутих циліндричних зразків використовувався реверсор.

Тріщина вирощувалася в умовах циклічного навантаження при трьохточковому вигині з коефіцієнтом асиметрії циклу рівним 0,1 при максимальному навантаженні 1,22 кН для зразків зі сталі 09Г2С.

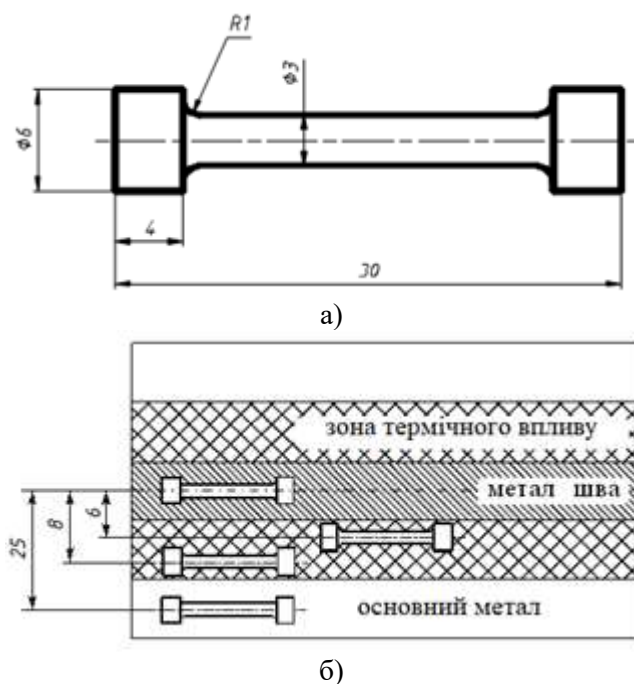


Рис. 1. Стандартний циліндричний зразок і схема вирізки

Характеристики тріщиностійкості визначалися на плоских прямокутних зразках із крайовою тріщиною відповідно до ДЕРЖСТАНДАРТУ 25.506-85. Геометрія й схема вирізки (рис. 2) аналогічна схемі для циліндричних зразків — по чотирьох зразка з кожної області.

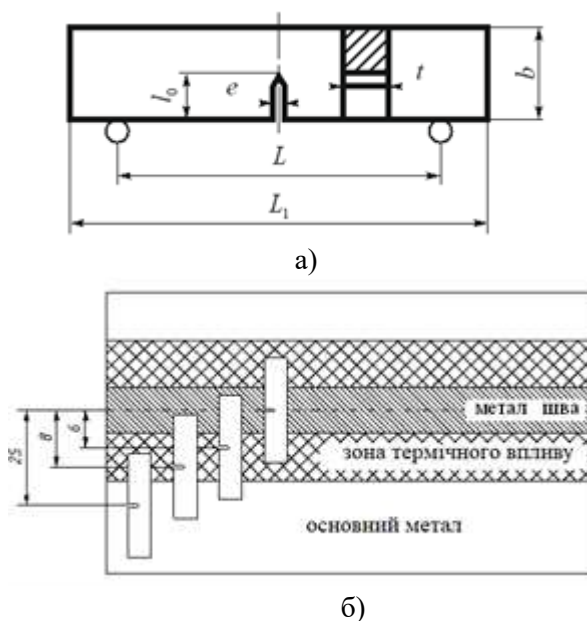


Рис. 2. Плоский прямокутний зразок і схема вирізки:
 $l_0 = 6$ мм; $e = 1$ мм; $t = 6$ мм; $b = 12$ мм; $L = 48$ мм; $L_1 = 54$ мм

Випробування циліндричних зразків проводилися із записом діаграм «навантаження – подовження». Механічні характеристики визначалися за ДСТУ 1497-84.

При випробуваннях на трьохточковий вигин по діаграмі «навантаження – переміщення» визначалося критичне значення J-Інтеграла, що відповідає максимальному руйнівному навантаженню по наступній формулі [4]

$$J_c = \frac{(1-\mu^2)K_c^{*2}}{E} + \frac{A_{pc}}{(b-l)t} \frac{\chi}{k}, \quad (1)$$

де μ – коефіцієнт Пуассона рівний 0,3;

E – модуль пружності;

l – вихідна довжина тріщини;

b, t – розміри поперечного бруто-перетину зразка (рис. 2, а);

K_c^* – умовний критичний коефіцієнт інтенсивності напружень;

A_{pc} – робота, що відповідає пластичній частині під діаграмою навантаження зразка; $\chi=2$; $k=1$.

Вихідна довжина тріщини l визначалася як середнє арифметичних вимірів в 3 точках на контурі утомлюваної тріщини, розташованих через рівні проміжки (рис. 3):

$$l = \frac{l_1 + l_2 + l_3}{3}, \quad (2)$$



Рис. 3. Контур вихідної утомлюваної тріщини

Умовний критичний коефіцієнт інтенсивності напружень K_c^* визначався по формулі [4]

$$K_c^* = \frac{P_c \cdot L}{t \cdot \sqrt{b^3}} \cdot Y_4, \quad (3)$$

$$Y_4 = 3,494 \left[1 - 3,396 \left(\frac{l}{b} \right) + 5,839 \left(\frac{l}{b} \right)^2 \right],$$

де P_c – максимальне навантаження, що діє на зразок;

L – відстань між опорами, рівна 48 мм.

Робота A_{pc} визначалася як площа під діаграмою «навантаження – переміщення», обмежена прямою паралельною лінійної частини діаграми й проведеної через крапку з максимальним навантаженням P_c (рис. 4).

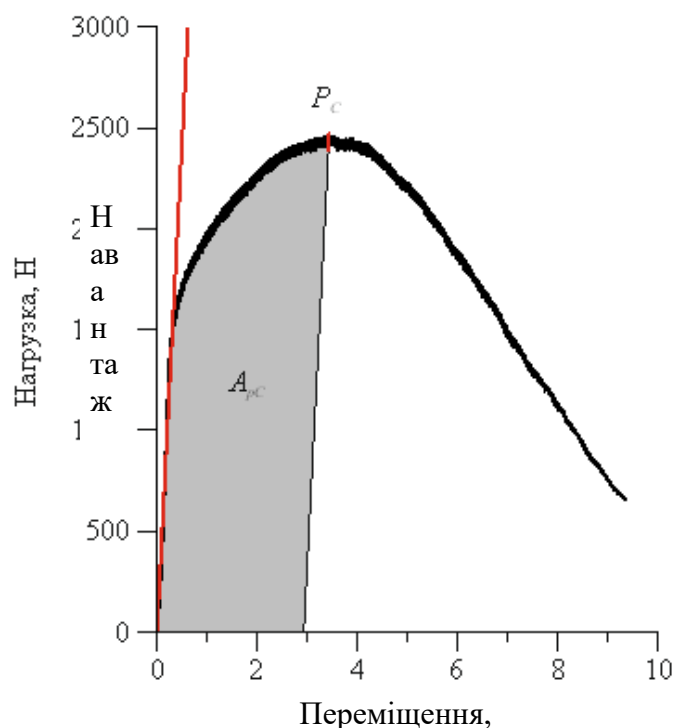


Рис. 4. Діаграма деформування зразків із крайовою тріщиною при трьохточковому вигині

Результати досліджень

Варіації структурно-механічних властивостей є основою для формування чисельної моделі оцінки тріщиностійкості зварних з'єднань. Середні значення й коефіцієнти варіації визначалися для трьох зон зварного з'єднання шляхом об'єднання сукупностей експериментальних значень отриманих у кожній зоні [5, 6] (табл. 2).

Коефіцієнт варіації визначався за формулою

$$v = \frac{\sigma}{\bar{x}}, \quad (4)$$

де σ - середньоквадратичне відхилення;
 \bar{x} - середнє значення.

Таблиця 2 - Середні значення \bar{x} і коефіцієнти варіації v механічних властивостей і J -Інтеграла в зонах зварного з'єднання

Зона зварного шва	Межа текучості		Тимчасовий опір		J -Інтеграл	
	МПа	v	МПа	v	\bar{x} , кДж/м ²	v
09Г2С						
Основний метал	442	0,04	593	0,02	84	0,14
ЗТВ	466	0,07	631	0,01	87	0,26
Метал шва	414	0,06	571	0,04	89	0,07

Коефіцієнти варіації границі текучості й тимчасового опору у зварному шві зі сталі 09Г2С змінюються в межах від 0,04 до 0,07 і від 0,1 до 0,4 відповідно. Найбільшого значення коефіцієнт варіації *J-Інтеграла* досягає в ЗТВ – 0,26 для 09Г2С. В основному металі зварного шва зі сталі 09Г2С коефіцієнт варіації дорівнює 0,14, у металі шва - 0,07.

Згідно з отриманими даними варто відзначити, що варіація *J-Інтеграла* перевищує варіації інших досліджуваних величин. Найбільше це проявляється для ЗТВ, оскільки в цій зоні істотно виражена мікроструктурна неоднорідність, що впливає на напружений стан у вершині тріщини. Механічні властивості, обумовлені на циліндричних зразках, менш піддані впливу неоднорідності, оскільки в процесі деформування задіяні зерна металу по всім перетинам зразка.

Висновки

1. Проведено дослідження структурно-механічної неоднорідності стикових зварних з'єднань сталі 09Г2С, виконаних двостороннім автоматичним зварюванням плавленням. Визначено середні значення й коефіцієнти варіацій границі текучості, тимчасового опору й тріщиностійкості J_c металу з'єднань.

2. Показано, що статистичні варіації границі текучості, тимчасового опору й тріщиностійкості J_c металу різних зон з'єднань не мають чітких кореляцій між собою.

3. При чисельному статистичному моделюванні деформування й руйнування зварних з'єднань для кожної розглянутої характеристики необхідно використовувати відповідні їй коефіцієнти варіації. Використання узагальнених коефіцієнтів варіацій може приводити до істотних погрешностей оцінок працездатності зварних з'єднань.

Література

1. Биковський О.Г. Довідник зварника.- К.: Основа, 2014.- 448с.
2. Пекельний М.І. Основи механіки руйнування [Текст]:учб. посібник/ М.І. Пекельний, М.М. Гребенніков. -Х.: Харк. авіац. ін-т, 2019.-92с
3. Квасницький В.В. Теорія зварювальних процесів. Дослідження фізико-хімічних і металургійних процесів та здатності металів до зварювання. Навчальний посібник. — Миколаїв: УДМТУ, 2002. — 181 с.
4. Зражевський Г.М., Кепич Т.Ю., Куценко О.Г. Основи теорії міцності, деформації та механіки руйнування. - К.:ЛОГОС, 2005, - 169с
5. Огірко О. І., Галайко Н. В. О-36 Теорія ймовірностей та математична статистика: навчальний посібник / О. І. Огірко, Н. В. Галайко. – Львів: ЛьвДУВС, 2017. – 292 с.
6. ДСТУ 2442-94 Розрахунки та випробування на міцність. Механіка руйнування. Терміни та визначення.