МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Запорізький національний технічний університет

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до практичної роботи №4
з дисципліни «Теорія зварювальних процесів» для студентів освітньої програми „Технології та устаткування зварювання” всіх форм навчання

2016

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Методичні вказівки до практичної роботи №4 з дисципліни «Теорія зварювальних процесів» для студентів освітньої програми „Технології та устаткування зварювання” всіх форм навчання / Укл.: О.В. Овчинников, О.Є. Капустян. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2016 – 22 с.

Укладачі: О.В. Овчинников, д-р техн. наук, проф.;
О.Є. Капустян, старш. викладач.
Рецензент: М.Ю. Осіпов, канд. техн. наук, доцент
Редактор: І.П. Аверченко
Відповідальний за випуск: О.Є. Капустян

Затверджено
на засіданні кафедри ОТЗВ
Протокол № 8 від 1.06.2016

Рекомендовано до видання
НМК ІФФ
Протокол № 10 від 21.06.2016

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

ЗМІСТ

1 МЕТА РОБОТИ 4
2 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ 4
2.1 Поняття зварюваність металів 4
2.2 Особливості наплавлювальних процесів, що впливають на зварюваність металів 10
2.3 Методи оцінки параметрів зварюваністі 11
3 РОЗРАХУНОК 15
3.1 Розрахунково-статистичний метод оцінки стійкості сплавів проти утворення ГТ 15
3.2 Розрахунково-статистичний метод оцінки стійкості сплавів проти утворення ХТ 16
4 ПОРЯДОК ПРОВЕДЕННЯ РОБОТИ 19
5 ЗМІСТ ЗВІТУ 21
ЛІТЕРАТУРА 21

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

РОЗРАХУНОК ЗВАРЮВАНОСТІ МЕТАЛІВ

1 МЕТА РОБОТИ

Придбати практичні прийоми розрахунку зварюваності металів.

2 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

2.1 Поняття зварюваність металів

Зварювання обумовлює необхідність забезпечити надійне з'єднання принаймні двох деталей. Межа сплавлення двох таких деталей повинна бути досить міцною, що виключає відрив наплавленого металу від основного, а також утворення гарячих і холодних тріщин, пор, значних внутрішніх напружень, як безпосередньо після зварювання, так і при наступних нагріваннях під загартування або при інших видах термічної обробки .

Таким чином, зварюваність дуже складне поняття, залежне від великого числа факторів, що включають як склад і властивості деталей, які підлягають зварюванню, так і способу зварювання, його режимів та подальшої термічної обробки.

Зварюваність - комплексна характеристика металу, що характеризує його реакцію на фізико-хімічний вплив процесу зварювання і здатність утворювати зварне з'єднання, що відповідає заданим експлуатаційним вимогам.

За ГОСТ 2601-84 поняття зварюваність формулюється в такий спосіб: Зварюваність - властивість утворювати з'єднання, що відповідає вимогам, що пред'являються до звареної конструкції.

Питанню зварюваності матеріалів за всі роки існування зварювальної науки приділялася велика увага. Існують десятки національних нормативних документів та міжнародних стандартів, в яких зроблена спроба регламентувати термін «зварюваність» матеріалів. У той же час публікації останніх років тільки підтверджують, що вивчення зварюваності залишається одним з

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

найбільш важливих і першочергових завдань світового рівня. Поступово термін «з'єднання» витісняє термін «зварювання». На наш погляд, зміна в термінології має концептуальний характер, що полягає в більш загальному розумінні самих умов отримання нероз'ємних з'єднань з будь-яких матеріалів. Безпосередньо зварний шов може утворюватися і без стадії плавлення матеріалу, а також не мати чітко виражених розмірів і ознак.

Якщо розглядати сучасні матеріали, з яких випливає виготовляти зварні конструкції, то багато хто з них виходячи з існуючих уявлень про зварюваність відносяться до важко зварюваних або взагалі до незварюваних. Проте, отримання нероз'ємних з'єднань таких абсолютно тендітних матеріалів, як кераміка, скло, високоміцні сталі і сплави, чавуни, композити, монокристали, сьогодні є реальністю. Назріла необхідність в новому тлумаченні терміну зварюваності (з'єднанє) матеріалів.

Очевидно, що терміни «зварюваність» і «з'єднанє» повинні враховувати комплекс відомостей про з'єднуються (хімічний склад і структурні стани); вплив передбачуваної технології на зварений (з'єднаний) матеріал, структурний, термонапружений стан, виникнення дефектів, властивостей; вплив зовнішнього середовища на зварений (з'єднаний) матеріал при експлуатації в виробі (зміна в часі структури і властивостей, викликаних наявністю зварного з'єднання в виробі).

Практично у всіх відомих, в тому числі міжнародних і національних стандартах, у визначеннях зварюваності згадується, що необхідні «відповідний технологічний процес», «певний процес і певна технологія», «піддається зварюванню будь-яким способом» і «без спеціальних заходів» (в разі досконалої зварюваності), «при встановленій технології», при «відповідною процедурою зварювання», тобто вплив технології як такої на зварюваність згадується, проте рекомендації носять умовний або філософський характер.

У всіх випадках в тому чи іншому виді визначення зварюваності включає облік таких понять, як «власне якість зварювальних деталей і конструкцій, які вони утворюють», або «зварні шви повинні задовольняти відповідним вимогам за властивостями і впливу на конструкцію», або «отримання з'єднання, властивості якого дозволяють повністю використовувати матеріал», або «зварене з'єднання повинно відповідати вимогам, обумовленим конструкцією і

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

експлуатацією виробів», тобто в цих поняттях проглядається суб'єктивність оцінки властивостей з'єднань, які будуть отримані.

На основі багаторічного світового досвіду використання зварювання можна висунути наступні положення, врахування яких необхідне при уточненні поняття зварюваності:

- зварюваність (з'єднане) є властивістю матеріалу;
- зварюваність (з'єднане) в звичному розумінні змінюється в залежності від технології, застосованої для даного виду конструкцій;
- зварюваний матеріал може переходити в незварюваний зі зміною технологій, і навпаки;
- технологічні процеси з'єднання для різних агрегатних станів формування шва різні як за своїм фізичним принципом, так і тепловому (силовому) впливу на зварюваний (сполучається) матеріал;
- тепловий і силовий вплив на шов і зону термічного впливу для різних технологічних процесів надають різну ступінь впливу на структурні, фізико-хімічні, механічні та інші функціональні властивості матеріалів;
- теплові та силові дії впливають на величину, характер протікання і фіксовану величину поточних і залишкових напружень, а також деформацій в зварному (з'єднуються) матеріалі і з'єднанні в цілому;
- технологічний процес і супутній йому тепловий і силовий вплив на матеріал, а також напружено-деформований стан визначають рівень деградації матеріалу. Останній оцінюється по відношенню до вихідного матеріалу або вимогам показників, що допускають функціональні властивости і якості як в процесі виготовлення, так і експлуатації конструкцій.

Висунуті положення дозволяють запропонувати нове формулювання зварюваності (з'єднане) матеріалів. Зварюваність (з'єднане) властивість матеріалу утворювати нероз'ємне з'єднання з необхідною якістю і рівнем фізико-механічних і функціональних властивостей з'єднання як в процесі його отримання, так і при експлуатації виробу. Зварюваність визначається ступенем деградації властивостей з'єднання в цілому і розраховується як інтегральний показник. Управління зварюваністю може здійснюватися на основі варіювання ступеня деградації.

Основні критерії зварюваності наступні:

- окислюваність металу при наплавленні, що залежить від його

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

хімічної активності;

- опірність утворенню гарячих тріщин при повторних нагрівах;
- опірність утворенню холодних тріщин і сповільненого руйнування;
- чутливість металу до теплового впливу в процесі зварювання, яка характеризується його схильністю до зростання зерна, структурними і фазовими змінами в шві і зоні термічного впливу, зміною міцності і пластичних властивостей;
- чутливість до утворення пор;
- відповідність властивостей наплавленого металу експлуатаційним вимогам: міцності, пластичності, зносостійкості, жаростійкості і жароміцності, корозійної стійкості та ін.

ГОСТ 13585-68 визначає методи наплавлення валікової проби і опірність утворенню холодних і гарячих тріщин відповідно.

Розрізняють фізичну і технологічну зварюваність. Під фізичній зварюваністю розуміють здатність металів утворювати в результаті зварювання (будь-яким способом) монолітні з'єднання з хімічним зв'язком.

Фізична зварюваність визначається характером взаємовідносин прикордонних рядів атомів на межі поділу. Якщо кристалічні решітки однотипні і параметри їх близькі, то це обумовлює отримання високих механічних властивостей на межах розділу цих металів.

Сучасний стан науки про природу зварювальних процесів дозволяє стверджувати, що всі метали і сплави, що володіють фізичною зварюваністю можуть утворювати зварні з'єднання задовільної якості, однак сукупність властивостей, що визначають можливість фізичної зварюваності: дифузія в рідкому і твердому станах; утворення рідких і твердих розчинів; спільна кристалізація розплавлених основного і присадного металу, тобто всіх факторів, в результаті сприятливого поєднання яких, можуть утворюватися сполуки.

Сукупність властивостей основного металу, що визначають чутливість до термічного циклу наплавлення і здатність при обраної технології зварювання утворювати сплавом з властивостями, що задовольняють вимогам надійності конструкції при експлуатації, називають технологічною зварюваністю.

Монолітність зварного з'єднання при наплавленні забезпечується утворенням міжатомних і міжмолекулярних зв'язків

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

між частинками, що з'єднуються на поверхні їх контакту. В результаті утворюються сполуки з міцними хімічними зв'язками.

При зварюванні в процесі здійснення хімічних зв'язків матеріали, що зварюються піддаються механічному, фізичному або хімічному впливу.

Зварюваність - технологічна властивість матеріалів (металів або їх сплавів), що обумовлює здатність утворювати в процесі наплавлення з'єднання, які відповідають конструктивним і експлуатаційним вимогам, визначаються властивостями використовуваних матеріалів.

Поряд з властивостями основного металу технологічна зварюваність залежить також:

- від складу наплавного металу;
- застосованого методу і режимів наплавлення;
- використованих флюсів, покриттів або захисних газів;
- конструкції зварного вузла і умов експлуатації виробу.

Залежно від марки основного металу і умов експлуатації конструкції змінюється і сукупність показників, що визначають поняття зварюваності. Так під доброю зварюваністю низьковуглецевої сталі, призначеної для виготовлення конструкцій, що працюють при статичних навантаженнях, розуміють можливість при звичайній технології отримати зварне з'єднання, рівноміцністю з основним металом, без тріщин в металі шва і без зниження пластичності в колошовній зоні. Метал шва і колошовної зони повинен бути стійким проти переходу в крихкий стан при температурі експлуатації конструкцій і величиною напружень, що залежить від форми вузла. Так, під доброю зварюваністю сталі розуміють можливість отримання зварних з'єднань без тріщин і зниження пластичності як в металі шва, так і в колошовной зоні. З розвитком техніки одночасно з ускладненням умов роботи конструкцій, застосуванням високоміцних конструкційних матеріалів і пред'явленням підвищених вимог до працездатності виробу збільшується і число показників, що входять в поняття зварюваності.

У загальному випадку зварюваність матеріалу є комплекс властивістей і вона тим вище, чим простіше технологія зварювання або наплавлення, чим більша кількість способів зварювання і параметрів режимів, що забезпечують задані вимоги до властивостей з'єднання, чим ширше номенклатура виробів, для яких може бути

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

використано зносостійке наплавлення. Як і будь-яка комплексна властивість, зварюваність визначається складом і фізичними властивостями матеріалу.

До факторів, які найсильніше впливають на зварюваність слід віднести:

- хімічний склад матеріалу, який визначає його температурний інтервал кристалізації, фазовий склад, фазові і структурні перетворення на етапі нагрівання та охолодження;
- теплофізичні властивості, які визначають область і ступінь завершеності процесу структурних перетворень в матеріалах під впливом зварювального циклу;
- механічні властивості, які визначають здатність матеріалу сприймати без руйнування механічні дії (напруги), що виникають за рахунок нерівномірності нагрівання та охолодження, жорсткості конструкцій та інших чинників;
- спеціальні фізико-механічні властивості, які визначають активність хімічних реакцій, що протікають у зварювальної ванні і зоні термічного впливу.

При розробці технології зварювання конкретної конструкції необхідно враховувати як властивості матеріалу, так і ті зміни, які можуть спостерігатися при наплавленні в матеріалі зварного з'єднання. У свою чергу, ці зміни визначаються технологічними параметрами обраного способу зварювання (концентрацією джерела нагріву, швидкістю наплавлення та ін.); складом і температурою навколишнього середовища; складом використованих при наплавленні додаткових матеріалів - флюсів, присадного дроту, захисних газів і характером підготовки деталей під наплавлення; наявністю залишкових напружень, концентраторів і т.д.; просторовим становищем наплавлюваної поверхні. Особливо важливо враховувати перелічені технологічні чинники в зв'язку з тим, що зварювальний процес має суттєві особливості, які обумовлюють сильніший вплив перерахованих факторів на властивості, ніж у разі використання інших технологічних процесів.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

2.2 Особливості наплавлювальних процесів, що впливають на зварюваність металів

Особливості термічного впливу:

- нерівномірне нагрівання (градієнт температури при наплавленні в залежності від способу змінюється від сотен до декількох тисяч градусів на міліметр);
- високі температури нагріву в зоні дії джерела тепла, що досягають температури випаровування матеріалу;
- велика швидкість нагріву і охолодження (від десятків до тисяч градусів у секунду) Для більшості способів наплавлення швидкості нагріву і охолодження металу в шві і зоні термічного впливу вище, ніж при найбільш жорсткому циклі термічної обробки - гартуванні.

Металургійні особливості:

- відносно мала маса металу, що розплавляється (від декількох кілограмів при електрошлаковому зварюванні до грамів);
- велика поверхня розплавленого металу по відношенню до його об'єму (0,5-100) 1 / мм; це визначає істотний вплив реакцій, які відбуваються на поверхні зварювальної ванни на зміну властивостей металу в усьому об’ємі наплавлення;
- активність хімічних і фізичних процесів взаємодії розплавленого металу з навколишнім середовищем і зварювальними матеріалами, обумовлена в значній мірі високою температурою.

Особливості механічної дії:

- виникнення у зварних з'єднаннях напружень, що досягають у багатьох випадках межі текучості;
- вплив на з'єднання залишкових напружень, що існували в зварюваної конструкції раніше.

Майже весь комплекс розглянутих особливостей впливає у всіх випадках зварювання матеріалів, проте найбільш важливим, з точки зору кінцевих властивостей, є: зміна хімічного складу структури і властивостей матеріалу в зоні з'єднання, рівень напружень і деформацій, що існують або виникають в процесі наплавлення в зоні з'єднання. При цьому всі зони зварного з'єднання повинні мати стійкість проти переходу в крихкий стан.

Якщо ж мова йде про зварюваність легованих сталей, які працюють в умовах контакту з абразивним середовищем, то поряд з

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

вимогами, переліченими вище, необхідно, щоб зона сплавлення мала б також і високу здатність до опору зношування. Лише при забезпеченні всіх перерахованих вимог, при зварюванні за звичайною технологією, така сталь буде мати добру зварюваність. Чим складніше умови роботи зварної деталі, тим більше число властивостей має враховуватися при визначенні зварюваності.

Різниця між металами, що мають хорошу і погану зварюваність, полягає в тому, що для з'єднання останніх необхідна більш складна технологія наплавлення:

- попередній підігрів;
- обмеження погонної енергії зварювання;
- наступна термообробка, облицювання кромок і т.п.

Таким чином, різниця між металами, що мають хорошу чи погану зварюваність, полягає в тому, що останні для отримання зварних з'єднань з комплексом властивостей, які відповідають вимогам експлуатації, повинні зварювати за більш складною технологією, наприклад, з попередніми і супутнім підігрівом, з обов'язковою наступною термообробкою виробів , в деяких випадках з попереднім наплавленням крайок і термообробкою перед зварюванням.

2.3 Методи оцінки параметрів зварюваності

Оцінку зварюваності, як правило, роблять не за абсолютними величинами, а в порівнянні з властивостями матеріалів, що застосовувалися раніше або з властивостями основного металу. Результати випробування на зварюваність визнаються задовільними в тому випадку, якщо вони відповідають нормативам, встановленим технологічними умовами на даний вид продукції.

З огляду на те, що зварюваність визначається багатьма показниками, не вдається створити єдину методику випробування, яка дозволяє однозначно описати цю комплексну технологічну характеристику. Тому для оцінки зварюваності застосовують ряд випробувань. Вибір методів випробування обумовлений призначенням конструкції і властивостями основного металу.

Під впливом наплавлення відбувається зміна структури і

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

властивостей металів шва і колошовної зони в порівнянні з основним металом. При зварюванні у процесі кристалізації металу шва під впливом напруг, що розтягують виникає можливість утворення кристалізаційних тріщин, що є одним з найважливіших показників зварюваності. У металі шва можуть з'явитися і холодні тріщини. Виникнення їх при зварюванні низьковуглецевих і низьколегованих сталей спостерігається відносно рідко.

Під впливом застосовуваного при зварюванні джерела теплоти в колошовній зоні змінюється структура основного металу, що може привести до утворення колошовних холодних тріщин. Стійкість металу колошовної зони проти утворення тріщин є другим показником зварюваності. Зразки, що застосовуються в цьому випадку, служать і для виявлення холодних тріщин в металі шва. Під впливом наплавлення в металі зварного з'єднання відбуваються процеси, які можуть призвести до зниження стійкості його проти переходу в крихкий стан.

Зазвичай метал наплавлення за хімічним складом і структурою значно відрізняється від основного металу. Помітні зміни відбуваються також і в металі колошовної зони. Це може привести до істотної відмінності міцності та інших спеціальних характеристик металу шва і колошовної зони від властивостей основного металу. Тому в комплекс визначення зварюваності входить перевірка механічних властивостей металу шва і зварного з'єднання при різних температурах.

При оцінці сталей на зварюваність враховують наступне

Вуглець збільшує твердість і зменшує пластичність, призводить до гартування ЗТВ і до появи тріщин, до збільшення кількості газових пір в процесі окислення при зварюванні.

Марганець - при вмісті до 1 % не погіршує зварюваність і не утруднює зварювання. В якості доброго розкислювача він сприяє зменшенню вмісту кисню в сталі. Однак при вмісті більше 2,5 % зварюваність погіршується, так як підвищується твердість сталі, з'являються гартівні структури, можуть бути тріщини.

Кремній - до 1 % вводиться як розкислювач і не впливає на зварюваність. Але при вмісті кремнію більш 2,5 % зварюваність погіршується, так як утворюються тугоплавкі оксиди, що ведуть до появи шлакових включень, підвищуються міцність і твердість, а разом з цим і крихкість.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Хром - до 0,6 % не відбивається на зварюваності. При вмісті хрому більше 1 % зварюваність погіршується і особливо при підвищенні вмісту вуглецю.

Нікель - в звичайних вуглецевих сталях нікелю до 0,3 %, а в високолегуючих - до 28 %. Нікель, разом з міцністю, підвищує і пластичність металу зварного з'єднання і не погіршує, а навіть покращує зварюваність.

Молібден - в сталях від 0,5 до 3 % істотно збільшує міцність і ударну в'язкість стали, але погіршує зварюваність, підвищує схильність до утворення тріщин у шві і перехідній зоні.

Мідь - зміст її в сталях до 1 % покращує зварюваність, підвищує їх міцність, пластичні властивості, ударну в'язкість і корозійну стійкість.

Розрахунково-статистичний метод оцінки стійкості сплавів проти утворення тріщин заснован на використанні параметричних рівнянь, складених за допомогою регресійного аналізу. Ці рівняння пов'язують вихідні параметри з вхідними (хімічний склад сталі, товщина конструкції і т.д.) без аналізу фізичних і хімічних процесів, що відбуваються в металах при зварюванні. Метод застосовуємо тільки для тих сплавів, які входять в концентраційні межі вивчених композицій, хоча дані рівняння виражають залежності, екстраполяція яких дасть, в разі виходу за межі вивчених композицій, з великою часткою ймовірності вірний результат дослідження. Так само використовуючи цей метод неможливо врахувати аномалії по домішках, що не входять у використовувані параметричні рівняння, а так само аномалій за технологічними параметрами зварювання, які виходять за досліджені межі. Тому цей метод рекомендується тільки для наближених експрес-оцінок.

Основними параметрами оцінки схильності сталей до утворення холодних тріщин є еквівалент вуглецю ($C_{екв}$) і параметр тріщіноутворення РСМ. В основу математичного підходу до опису хімічного еквівалента вуглецю було покладено припущення, що зварюваність можна визначити за показником, який визначає, який необхідний мінімальний критичний час охолодження, щоб в металі шва утворилося 100 % мартенситу. Чим менше підготовчого часу необхідно для утворення 100 %-ої мартенситної структури (тобто чим вище критична швидкість охолодження), тим краще зварюваність і вище опір утворенню холодних тріщин. Це свідчить про те, що

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

підготовчі процеси, пов'язані з утворенням холодних тріщин, мають дифузний характер, і безпосередньо пов'язані з перерозподілом водню в металі шва. У разі малого інкубаційного періоду (1-10 с) утворення мартенситу водень швидко фіксується в металі шва, однак його локальна концентрація виявляється недостатньою для ініціювання утворення холодних тріщин.

У разі тривалого інкубаційного періоду утворення мартенситу (1000-2000 с) часу виявляється цілком достатньо для окрихчування металу, що зварюється в результаті дії водню.

При малому інкубаційному періоді, але наступної тривалій витримці можливо поступовий перерозподіл водню, що і викликає ефект уповільненого руйнування.

Істотне розходження в рекомендаціях різних джерел для визначення еквівалента вуглецю свідчить про складність проблеми зварюваності металів і сплавів, особливо при наплавленні високолегованих зносостійких матеріалів, які іноді містять W, Al, Ti, Nb - та ін. Компоненти не враховуються в наведених вище прикладах, але можуть істотно впливати на зварюваність.

При будь-якому підході до оцінки зварюваності складнолегованих сталей, якими є всі високозносостойкі наплавочні сплави, впливу вуглецю відводиться переважаюча роль, що наочно ілюструється таблицею 2.1 пропонованої в роботі [7]. Автори аналізу сучасних уявлень про зварюваність пропонують розділити сплави по відношенню до здатності утворювати бездефектні з'єднання, на чотири категорії - хороша, задовільна, обмежена і погана зварюваність, головною ознакою яких, є вміст вуглецю і сумарна кількість легуючих елементів в наплавленні.

У загальному плані незварюваних матеріалів немає, проте, чим гірше зварюваність, тим складніше технологія наплавлення, тим більшу кількість заходів необхідно застосовувати для отримання якісного зварного з'єднання.

Таблиця 2.1 - Характеристика зварюваності наплавлювальних сплавів

Сума елементів (Mn+Si+Ni+4Mo+Cr)	Зварюваність при вмісті вуглецю,%			
	хороша	задовільна	обмежена	погана
До 1	< 0,25	0,25...0,30	0,30...0,45	>0,45
1...3	<0,20	0,20...0,30	0,30...0,40	>0,40
Понад 3	< 0,18	0,18...0,28	0,28...0,38	>0,38

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

3 РОЗРАХУНОК

3.1 Розрахунково-статистичний метод оцінки стійкості сплавів проти утворення ГТ

Рекомендовані параметричні рівняння
1 Для всіх сталей

$$HCS = \frac{C(S + P + Si/25 + 0,01Ni)*10^3}{3Mn + Cr + Mo + V}$$

Для сталей с $\sigma_в$ < 700 МПа HCS< 4 – не схильна
Для сталей с $\sigma_в$ > 700 МПа HCS < 2 – не схильна
2 Для Nb-мікролегованих сталей

$$UCS* = 230C + 190S + 75P + 45Nb - 12,3Si - 5,4Mn - 1$$

UCS < 10 – стійка;
UCS ≥ 30 – схильна
3 Леговані сталі

$$V_{KP} = 19 - 42C - 411S - 3,3Si + 5,6Mn + 6,7Mo\left[мм/мин\right]$$

$V_{кр}$ > 6 – стійка;
$V_{кр}$ < 1.8 – схильна
4 Cr-Ni – аустенітні сталі

$$\frac{Cr_Э}{Ni_Э} = \frac{Cr + 1,37Mo + 1,5Si + 2Nb + 3Ti}{Ni + 0,31Mn + 22C + 14,2N + Cu}$$

> 1,5 при P+S = 0,02-0,035 – стійка;
< 1,5 при P+S > 0,02 – схильна

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

3.2 Розрахунково-статистичний метод оцінки стійкості сплавів проти утворення ХТ

У початковий період розвитку зварювальної техніки всі матеріали і сплави в залежності від їх здатності утворювати зварні з'єднання необхідної і достатньої якості, поділяли на ті, що володіють хорошою, задовільною і незадовільною зварюваністю:

$$C_Э = C + \frac{Mn + Si}{4}, \%$$

Міжнародний інститут зварювання (МІС) [1] оцінює схильність низьколегованих сталей до утворення холодних тріщин за еквівалентом вуглецю, який визначається за наступним співвідношенням:

$$C_{ЭКВ} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Ni + Cu}{15}$$

Чутливість до утворення гарячих тріщин (hot cracing susceptibility) за японськими даними [2] рекомендується оцінювати за наступним значенням еквівалента вуглецю:

$$C_Э = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Si}{24} + \frac{Cr}{3} + \frac{Ni + Cu}{15}, \%$$

за іншими для низьколегованих високоміцних сталей з низьким вмістом С, при зварюванні з погонного потужністю 17 кДж/см:

$$C_{эн} = C + \frac{Si + Mn + Cr + Ni + Co}{20} + \frac{Mo}{15} + \frac{V}{10} + 5B + \frac{[H]}{60} + \frac{K_0 d}{40000}, \%$$

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

де [H] - вміст водню в металі шва в $см^3$ / 100 гр;

K_0 - коефіцієнт жорсткості з'єднання кгс / ($мм^2$·хв);

δ - товщина металу, мм.

При $C_{эн} > 0,286$ можливе утворення холодних тріщин

У вітчизняному довіднику [3], а також в оглядовій роботі з аналізу сучасних уявлень про зварюваність [4] еквівалент вуглецю рекомендується визначати за формулою:

$$C_э = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Si}{24} + \frac{Ni}{10} + \frac{Cr}{3} + \frac{Mo}{4} + \frac{V}{14}, \%$$

- за ГОСТ 27772-88 для прокату, призначеного для будівельних конструкцій

-

$$C_{ЭКВ} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Si}{24} + \frac{Ni}{40} + \frac{Cr}{5} + \frac{V}{14} + \frac{Cu}{13} + \frac{P}{2}$$

- нормативними документами ВАТ «Газпром»

$$C_{ЭКВ} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + \sum(V + Ti + Nb)}{4} + \frac{Ni + Cu}{15} + 15 * B$$

- по API 5L для труб класу PSL2

$$C_{ЭКВ} = C + \frac{Mn}{20} + \frac{Si}{30} + \frac{Ni}{60} + \frac{Cr}{20} + \frac{Cu}{20} + \frac{Mo}{15} + \frac{V}{10} + 5 * B$$

- запропонований Британською асоціацією (BWRA)

$$C_{ЭКВ} = C + \frac{Mn}{20} + \frac{Cr + Mo + V}{10} + \frac{Ni}{15}$$

- для трубних сталей категорії міцності X70

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

$$C_{ЭКВ} = C + \frac{Si}{7} + \frac{Mn + Mo}{5}$$

$$C_{ЭКВ} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr}{20} + \frac{Ni + Cu}{40} + \frac{Mo}{50} + \frac{V}{10}$$

- для бесперлитових сталей

$$C_{ЭКВ} = C + \frac{Mn + Cu}{16} + \frac{Si}{25} + \frac{Ni}{60} + \frac{Cr}{20} + \frac{Mo}{40} + \frac{V}{15}$$

Сучасні знання про природу зварювальних процесів дозволяють стверджувати, що всі однорідні метали і сплави можуть утворювати зварні з'єднання задовільної якості при $C_e < 0{,}45\%$.

При $C_{екв} < 0{,}45$ - зварюваність хороша для легованих сталей.

При $C_{екв} < 0{,}49$ - зварюваність хороша для низьковуглецевих сталей.

При $C_{екв} > 0{,}45$ до 0,5 - зварюваність задовільна і потрібен підігрів.

При $C_{екв} > 0{,}5$ до 0,6 - зварюваність обмежена, потрібні підігрів і відпал, або нормалізація.

При $C_{екв} > 0{,}6$ до 0,8 - зварюваність погана.

Показником, що вказує на окрихчування стали через структурні перетворення, є твердість зони термічного впливу. Для звичайних нелегованих і низьколегованих сталей твердість зони термічного впливу повинна бути не вище HV350. Можливу максимальну величину твердості визначають розрахунковим шляхом на основі хімічного складу стали:

$$HV_{\max} = 90 + 1050C + 47Si + 75Mn + 30Ni + 31Cr\,.$$

Рівняння хімічної еквівалента вуглецю має вид [3]:

$$CE_M = C + \frac{1}{38} * Si + \frac{1}{6{,}0} * Mn + \frac{1}{12} * Ni + \frac{1}{1{,}8} * Cr + \frac{1}{2{,}3} * Mo + \frac{1}{9{,}1} Cu, \%$$

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Оцінка загартованості металу ЗТВ розраховується за рівнянням:

$$\ln(\Delta t_M) = A * CE_M + B$$

де А, В - константи (А = 11,26; В = - 3,51), індекс «М» відноситься до мартенситу,

Δt_M - критичний час охолодження від температури від 800 до 500 ° С, с.

При CE_M від 0,2 до 0,45% стали мають гарну зварюваність; при CE_M = 0,46-0,576 % - задовільну; при CE_M = 0,577-0,782 % - обмежену і при CE_M =0,783-1,0% - погану зварюваністю [9].

Якщо попередня оцінка зварюваності вказує на схильність сталі до утворення холодних тріщин, найчастіше застосовують попередній підігрів зварюваного виробу. Температуру t, ºС, попереднього підігріву розраховують за формулою

$$T = 350\sqrt{C_{об}}\,0,25,$$

де $C_{об}$ - загальний еквівалент вуглецю, який залежить від товщини свариваемой конструкції, мм:

$$C_{об} = C_{ЭКВ}(1 + 0,005d)\,.$$

4 ПОРЯДОК ПРОВЕДЕННЯ РОБОТИ

1. Викладач видає варіант розрахункового завдання, узгоджує матеріал деталі (табл. 4.1).

2. По вище викладеній методиці здійснюється розрахунок зварюваності та температури попереднього підігріву.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Таблиця 4.1

№	Метал
1.	10Г2
2.	10Х2М
3.	12Х2Н4А
4.	12ХН
5.	14Х2ГМР
6.	14Х2Н3МА
7.	14ХГН
8.	15Г
9.	15Н2М
10.	15Х
11.	18Х2Н4МА
12.	18ХГ
13.	18ХГТ
14.	Р18
15.	120Х12Ф1
16.	200Х20Г10В1Ф
17.	250Х15М3
18.	300Х20Г10В1Ф
19.	300Х20Г10Ф5
20.	08ГС
21.	30ХГС
22.	Г13
23.	Г21Х15Т
24.	1Х13
25.	Х28
26.	1Х18Н9Т
27.	Х25Н20
28.	10Х18Н10ТЮ
29.	Р6М5
30.	20Х
31.	140Х12Ф
32.	20Х13
33.	110Г3

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

3 Отримані в результаті розрахунку CE_M і $\ln(\Delta t_M)$ зводимо в табл. 4.2

Таблиця 4.2 - Оцінка зварюваності сталей

Марка сталі	CE_M, %	$\ln(\Delta t_M)$	Δt_M, с	зварюваність

4. Побудувати графічні залежності хімічного еквівалента вуглецю від логарифма критичного часу охолодження 100% мартенситу по групах зварюваності.

5 ЗМІСТ ЗВІТУ

1. Хімічний склад, масс. % згідно варіанту розрахункового завдання з вказанням галузі його можливого використання та конструкції, деталей, що виготовляються з цього матеріалу.
2. Розрахунок зварюваності та температури підігріву.
3. Аналіз отриманих результатів.
4 Висновки по роботі.

ЛІТЕРАТУРА

1. Techical report+// I lw.Дос. 1X-535-67. 1967
2. Хасуи А, Моригаки О. Наплавка и напыление. - М.: Машиностроение, 1985. - 231 с.
3. Сварка в машиностроении: Справочник в 4 т / Редкол.: Г.А.Николаев (пред.) и др. - М.: Машиностроение, 1978 - т.1 / Под ред. Н.А. Ольшанского. 1978. - 504 с.
4. Ющенко К.А., Дерломенко В.В. Анализ современных представлений о свариваемости // Автоматическая сварка № 1. – 2005. - с. 8-13.
5. Волченко В.Н., Ямпольский В.М., Винокуров В.А. Теория сварочных процессов. - М.: Высшая школа. - 1988. - 559 с.
6. Технология электрической сварки металлов и сплавов плавлением /Под ред. Б.Е. Патона. - М.: Машиностроение, 1974. – 780

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

с.

7. Петров Г.Л., Тумарев А.С. Теория сварочных процессов. Учебник для вузов. Изд. 2-е перераб. - М.: Высшая школа, 1977. – 302 с.

5. Теория сварочных процессов / Под ред. В.В. Фролова. - М.: Высшая школа, 1988. - 560 с.

8 Гривляк И. Свариваемость сталей. - М.: Машиностроение, 1984. - 216 с.

9 Костин, В. А. Математические описание углеродного эквивалента как критерия оценки свариваемости сталей [Текст] / В. А. Костин // Автоматическая сварка. – 2012. – № 8. – С. 12–17.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com