**Позняков Валерій Дмитрович. Зварюваність високоміцних сталей при ремонті конструкцій тривалого терміну експлуатації. : Дис... д-ра наук: 05.03.06 – 2009**

|  |  |
| --- | --- |
| |  | | --- | | Позняков В.Д. Зварюваність високоміцних сталей при ремонті конструкцій тривалого терміну експлуатації. - Рукопис.  Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.03.06 “Зварювання та споріднені процеси і технології”. Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ, 2009р.  Дисертація присвячена вивченню особливостей формування структури і залишкових напружень в з'єднаннях високоміцних сталей с границею текучості 350...800 МПа, зварювання яких виконувалося в умовах жорсткого закріплення, оцінці впливу цього фактора на зміну механічних властивостей і опору таких з'єднань крихкому, уповільненому та втомному руйнуванням, розробці на підставі отриманих нових наукових знань теоретичних основ і комплексу практичних заходів, спрямованих на забезпечення підвищення технологічної та експлуатаційної міцності відремонтованих металевих конструкцій. Встановлено механізми за якими відбуваються зміни в структурі та механічних властивостях високоміцних сталей внаслідок дії термодеформаційних циклів зварювання та зовнішнього навантаження. Розвинуті уявлення щодо впливу технологічних чинників на формування залишкових напружень в жорсткозакріплених зварних з'єднаннях з багатошаровими швами та визначено методи керування їх рівнем за рахунок використання певної комбінації зварювальних матеріалів і регулювання режимів та техніки зварювання. Вивчено якісний і кількісний вплив структурного та водневого факторів на утворення холодних тріщин, в зварних з'єднаннях високоміцних сталей під дією зварювальних напружень. Встановлено основні закономірності впливу термічних циклів газокисневого різання та дугового зварювання на структуру металу зони термічного впливу і опірність відремонтованих з'єднань крихкому та втомному руйнуванням, розроблено комплекс методів забезпечення їх високої технологічної і експлуатаційної міцності. | |
| |  | | --- | | 1. Представлена робота спрямована на розв’язання глобальної науково-технічної проблеми, яка має важливе народногосподарське значення, та полягає у створенні й впровадженні перспективних ремонтно-зварювальних технологій для подовження ресурсу унікальних металоконструкцій довгострокової експлуатації, виготовлених з високоміцних сталей загального призначення з межею плинності 350...800 МПа. Вивчено особливості формування структури і залишкових напружень у зварних з'єднаннях високоміцних сталей та досліджено їхній вплив на механічні властивості, опірність крихкому, уповільненому руйнуванню, та руйнуванню від утомлення, найбільш характерних для машин, механізмів та інженерних споруд вузлів, ремонтне зварювання яких здійснюється безпосередньо в умовах експлуатації конструкцій. Це дозволило запропонувати конкретні технічні рішення, спрямовані на зниження рівня залишкових напружень у зварних металевих конструкціях і підвищення за рахунок цього їх технологічної, експлуатаційної та циклічної міцності.  2. Визначено основні чинники, що впливають на зварюваність високоміцних сталей за умов жорсткого закріплення зварних з’єднань, що ремонтуються. Показано, що при характерному для жорсткозакріплених зварних з'єднань високому рівні зал, який досягає 0,2 основного металу, створюються передумови для підвищення в швах і металі ЗТВ 0,2 на 8...12 % та зменшенню на 25...40 % пластичності й холодостійкості. Для забезпечення необхідного рівня холодостійкості з’єднань, що ремонтуються, обґрунтована перспективність створення технології зварювання, що базується на обмеженні рівня напружень розтягу до зал 0,80,2 та мінімальної швидкості охолодження металу ЗТВ до w6/5, при яких виключається можливість утворення в металі мікроструктури верхнього бейніту.  3. Досліджено механізм впливу залишкових розтяжних напружень на механічні властивості зварних з’єднань високоміцних бейнітно-мартенситних сталей. За результатами електронно-мікроскопічних досліджень встановлено, що при зал 0,80,2 спостерігаються суттєві зміни в дислокаційній структурі пластично деформованого металу. Під дією розтяжних напружень відбувається генерування дислокацій та інтенсивна їхня взаємодія і перерозподіл в об’ємі металу. В результаті інтенсивної взаємодії дислокацій утворюються нові субграниці і відбувається фрагментація мікроструктури, що призводить до її подрібнення та збільшення мікротвердості на 10…12 %. За рахунок цього збільшуються показники 0,2. Внаслідок еволюції дислокаційної структури утворюються локальні зони з низькою ( 108 см-2) і високою ( 61011 см-2) щільністю дислокацій. Найбільша щільність дислокацій спостерігається на межах між Бв/Бн та Бв/М, що обумовлено наявністю по межах пластин верхнього бейніту карбідних частинок, які блокують рух дислокацій. Сукупність цих факторів призводить до ускладнення пластичної релаксації напружень, яка відбувається за рахунок крихкого руйнування, що проявляється в погіршенні пластичності та холодостійкості металу.  4. Встановлено вплив залишкових напружень на стійкість до утворення холодних тріщин зварних з’єднань високоміцних сталей з вуглецевим еквівалентом (Секв) 0,35 – 0,70 % залежно від вмісту дифузійного водню в наплавленому металі та швидкості охолодження металу ЗТВ. Показано, що ймовірність утворення повздовжніх тріщин при виконанні кореневого шару шва буде зведена до мінімуму за умови використання технології зварювання, що базується на обмеженні верхнього рівня швидкості охолодження (w6/5 10 оС/с), дифузійного водню в наплавленому металі до 4 мл/100 г та рівня залишкових напружень в з'єднаннях із сталей, що мають Секв = 0,35…0,40 %, до 0,9 0,2, а при Секв = 0,45…0,55 % і Секв = 0,60-0,70 % до 0,7 0,2 та 0,5 0,2 відповідно.  5. За результатами експериментальних досліджень технологічних проб, що мають регульовану жорсткість закріплення, обґрунтована перспективність застосування при ремонті металевих конструкцій технологій, що базуються на використанні для виконання окремих шарів шва різних за складом зварювальних матеріалів. Показано, що висока опірність зварних з’єднань високоміцних бейнітно-мартенситних сталей утворенню повздовжніх та поперечних тріщин може бути забезпечена за рахунок використання для виконання кореневого шару шва матеріалів системи легування 08Х20Н9Г7Т. Наступні за ним шари шва повинні виконуватися матеріалами, які забезпечать з’єднанню рівноміцність на обмежених режимах (q/V 10 кДж/см).  6. Вивчено закономірність змін від температури 0,2 структурно-нестійкого металу ЗТВ високоміцних сталей за умов його безперервного нагрівання – охолодження відповідно до термічних циклів зварювання. Показано, що інтенсивне зниження з 590…780 до 90…130 МПа значення межі плинності і міцності сталей, що нагріваються вище температури Ас3, відбувається в інтервалі температур 400…780 оС, при цьому їхнє подовження та звуження зростають на 40...50 %, і метал переходить у термопластичний стан. Експериментально встановлено, що до початку фазових перетворень межа плинності металу, що охолоджується, збільшується з інтенсивністю 6...7 МПа/оС. Більш динамічні зміни відбуваються в металі під час проходження фазових перетворень:  - різко з інтенсивністю 45...МПа/оС при бейнітному та 120…145 МПа/оС при мартенситному перетворенні, зростає і досягає своїх максимальних, для конкретних сталей і умов охолодження, значень межа плинності металу ЗТВ;  - збільшуються, сприяючи розвиткові, розтяжній деформації, об’єми металу, внаслідок чого він подовжується на величину, відносні значення якої, залежно від хімічного складу сталі і швидкості охолодження зразків, змінюються від 0,18 до 0,47 %.  Отримані дані дозволили розвинути уявлення про кінетику зварювальних напружень в матеріалах із складними структурними перетвореннями і показати, що рівень залишкових напружень у з'єднаннях високоміцних бейнітно-мартенситних сталей можна регулювати, змінюючи параметри термічного циклу зварювання.  7. Виконано аналіз технологічних і металургійних факторів, що визначають характер формування зварювальних напружень, та запропоновано способи регулювання напружено-деформованого стану в жорсткозакріплених зварних з'єднаннях високоміцних конструкційних сталей загального призначення з багатошаровими швами. На підставі експериментальних досліджень встановлено, що лише комплексний підхід, що базується на обмеженні режимів зварювання (q/V = 10…20 кДж/см), довжини швів, що виконуються на прохід (150… 170 мм), та застосуванні примусового пластичного деформування наплавленого металу (виконується пошарово при Т = 120…60 оС до зміни малюнку шва), дозволяє зменшити рівень залишкових поперечних напружень в зварних з’єднаннях товщиною більше 20 мм у 2,0...2,5 раза, а повздовжніх - на 20... 25 %. Більш суттєвого зменшення повздовжніх напружень до рівня, що не перевищує 0,50,2 наплавленого металу, можна досягти при зварюванні способом поперечної гірки, під час якого наплавлення валика виконується не вздовж, а перпендикулярно осі шва.  8. Встановлено, що опірність крихкому руйнуванню металу ЗТВ високоміцних сталей загального призначення може знижуватися через тривале циклічне навантаження зварних конструкцій. Виявлено, що на стадії, яка передує утворенню тріщин втомленості, показники K1c в зоні дії концентратора напружень зменшуються, порівняно з вихідним після зварювання станом, на 25... 30 % при температурі випробувань - 40 оС і орієнтовно на 40 % при температурі - 60оС. Більш суттєво, (з 0,30...0,24 до 0,10...0,08 мм), зменшуються значення с. Металографічними дослідженнями встановлено, що пошкоджуваність металу в зварних з'єднаннях має локалізований характер, спостерігається в безпосередній близькості до концентратора напружень. Експериментально доведено, що опірність зварних з’єднань крихкому та руйнуванню від втомленості може бути поновлено після першого та другого ремонту, під час якого пошкоджений метал видаляється, а на його місце наплавляється новий з близькими до основного матеріалу характеристиками. Показано, що після третього ремонту знижується -1 на 30...50 % , а після четвертого -1зменшуєтьсябільше ніж у 2 рази, а K1с і с практично на 30 %.  Отримані дані дозволили науково обґрунтувати необхідність в обмеженні кількості (не більше двох) ремонтів, які виконуються в одному і тому ж місці конструкції без заміни ушкодженого вузла.  9. На базі експериментально отриманих даних доведено можливість підвищення майже в 2 рази (з -1 = 50…90 МПа) довговічності зварних конструкцій, які після ремонту працюють за умов змінних навантажень. Досягається це при відповідному виборі зварювальних матеріалів та їхньому комбінуванні під час виконання окремих шарів шва. Встановлено, що кореневий та заповнюючі його шари шва раціонально виконувати матеріалами, що забезпечують зварним з’єднанням необхідну міцність, холодостійкість та опірність уповільненому руйнуванню, а завершальний шар –аустенітно-мартенситними матеріалами з низькою (нижче 200 оС) температурою початку мартенситного перетворення (легування типу 06 Х10Н10), внаслідок чого на поверхні шва і в прилеглих до нього ділянках ЗТВ утворюються стискальні зварювальні напруження, що сприяє підвищенню довговічності відновлених вузлів.  10. Розроблені і науково обґрунтовані основні положення технології зварювання високоміцних сталей загального призначення та здійснене їх широке впровадження при ремонті базових вузлів пресового устаткування, кар'єрних екскаваторів, прогонових споруд мостів, металевих конструкцій вугільних галерей та інших. Досвід експлуатації в проектному режимі згаданих конструкцій, а також той факт, що на базі виконаних досліджень були розроблені та вдало застосовані у виробництві ремонтно-зварювальні технології для відновлення працездатності базових вузлів дробарок, які виготовлені з середньовуглецевих сталей типу 25Л и 35Л, що відрізняються обмеженою зварюваністю та мають товщину 100…220 мм, свідчить про надійність розроблених технологій. Їх застосування дозволяє при відносно невеликих витратах (не більш 5...20 % вартості нового виробу) суттєво в 1,5 – 2, 0 рази подовжити ресурс безпечної експлуатації металевих конструкцій з довгостроковим терміном експлуатації. | |