

«Реновація»

**Отримання якісних зварних з'єднань з чавуну  
контактним стиковим зварюванням**

## ЗМІСТ

|                                                                                                |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ВСТУП .....                                                                                    | 3  |
| 1 КОРОТКА ХАРАКТЕРИСТИКА ЧАВУНІВ .....                                                         | 4  |
| 2. ОЦІНКА ЗВАРЮВАНOSTІ ЧАВУНІВ.....                                                            | 8  |
| 3 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ СПОСОБІВ ЗВАРЮВАННЯ ЧАВУНІВ .....                                            | 13 |
| 4. ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ КОНТАКТНОГО СТИКОВОГО ЗВАРЮВАННЯ<br>ЧАВУНУ Й ЗВАРЮВАННЯ ПЛАВЛЕННЯМ..... | 27 |
| ВИСНОВКИ.....                                                                                  | 30 |
| ЛІТЕРАТУРА .....                                                                               | 31 |

## ВСТУП

У сучасному машинобудуванні більше 50% маси машин становлять литі деталі, які здебільшого виконані із чавуну. Крім гарних ливарних властивостей, простоти і економічності одержання виливків, чавуни мають високу корозійну стійкість, зносостійкість при експлуатації, малу чутливість до концентраторів напружень, низку інших спеціальних властивостей [1].

У цей час виробництво чавунних виробів зводиться до їхнього виливка. Питання про виробництво зварювально-литих конструкцій із чавуну практично мало досліджене, що підтверджується обмеженою кількістю інформації із цього питання в літературних джерелах. До сьогоденішнього дня зварювання стосовно до чавуну використовувалася в основному для ремонтних робіт. Багато в чому це обумовлене тим, що чавуни, як правило, мають обмежену зварюваність.

Чавун – один з основних конструкційних матеріалів для виготовлення корпусних деталей. Забезпечення стабільної якості зварювання чавуну відкриває широкі можливості ресурсозбереження за рахунок з'єднання і відновлення корпусних деталей машин, створення зварювально-литих металоконструкцій у машинобудуванні. Тут існує проблема зварювання чавуну зі сталлю. Стикове зварювання може стати основним засобом комбінування сталевих і чавунних частин зварного виробу, при якому з найбільшою повнотою будуть використані всі позитивні технологічні і експлуатаційні властивості цих різнорідних металів при виготовленні корпусів насосів, блоків і головок циліндрів для дизельних і карбюраторних двигунів, гільз циліндрів, розподільних валів, гальмових дисків, барабанів і т.інш. [1].

Розвиток стикового зварювання чавуну із чавуном і чавуну зі сталлю в цей час перебуває в початковій стадії і опирається поки лише на перші результати досліджень.

Умовою подальшого розширення областей і обсягу застосування стикового зварювання чавуну в промисловості є всебічне і глибоке вивчення цього специфічного процесу.

## 1 КОРОТКА ХАРАКТЕРИСТИКА ЧАВУНІВ

Чавун є багатокомпонентним залізовуглецевим сплавом, що містять понад 2 % С, до 5 % Si і деяку кількість марганцю. Сірка і фосфор, як правило, є домішками. У леговані чавуни, крім того, вводять хром, нікель, молібден і інші елементи, що надають йому особливі властивості. Наявність евтектики в структурі чавуну обумовлює його застосування винятково в якості ливарного сплаву [2].

Залежно від складу, умов кристалізації і швидкості охолодження вуглець у чавуні може перебувати в хімічно зв'язаному стані у вигляді цементиту або структурно-вільному стані у вигляді графіту. Наявність цементиту в сплаві надає зламу світлий колір. Тому чавун, у якому вуглець перебуває у вигляді цементиту, називається білим. Графіт надає зламу сірий колір, і такі чавуни називаються сірими.

Графітізаторами в чавунах за даними довідників [1, 3] є вуглець, кремній, алюміній, мідь, нікель і ін. Ці елементи із залізом утворюють тверді розчини, які збільшують у його ґратах число вакансій і зсувів, що полегшують дифузію, що зменшують енергію активації, послабляють зв'язки між атомами вуглецю і заліза і тим самим сприяють графітізації. Ступінь їх впливу різна. Найбільш сильними графітізаторами є вуглець і кремній. Кремній, вміст якого в сірих чавунах становить 1,2-3,5 %, впливає на будову чавуну і у першу чергу на ступінь його графітізації. Кремній змінює ступінь евтектичності сплаву, під якою розуміють відношення загального вмісту вуглецю в чавуні до вмісту його в евтектиці. Використовуючи графітізуючу дію кремнію, можна одержати евтектичний чавун при введенні в нього меншої кількості вуглецю. Регулюючи співвідношення вуглецю і кремнію в сплаві, можна одержати необхідну структуру в чавунному виливку (рис. 1.1, а, б.).

Процес графітізації залежить від швидкості охолодження виливка. Чим менше швидкість охолодження, тим повніше здійснюється процес графітізації. В умовах виробництва, чим менше виливок, тим більше швидкість охолодження. У результаті для забезпечення процесів графітізації зі зменшенням товщини

стілки виливка необхідно збільшити сумарний вміст у ній вуглецю та кремнію (рис. 1.1, в.).

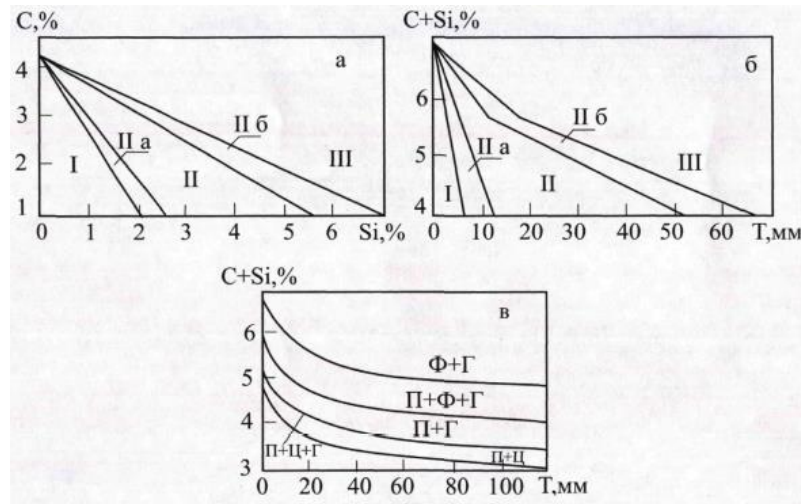


Рисунок 1.1 - Структурні діаграми: а) – Маурера; б) – Грейнера-Клінгенштейна.; в) – Л.І. Какуріна. Т – товщина виливка, мм; І – область білих чавунів; ІІ (а) – половинчастих; ІІ – перлітних сірих; ІІ (б) – перлітно-феритних сірих; ІІІ – феритних сірих

За структурою чавуни розділяють на наступні групи [1,4]:

- 1) білі чавуни, у яких увесь вуглець перебуває у вигляді цементиту (рис. 1.2.);
- 2) сірі чавуни, у яких вуглець утримується головним чином у вигляді пластинчастого графіту (СЧ) (рис. 1.3.);

3) високоміцний чавун, який у свою чергу діляться на чавуни з кулястим графітом (ЧКГ) (рис. 1.4. а.) і чавуни з вермікулярним графітом (ЧВГ) (рис. 1.4. б.);

- 4) ковкий чавун, у якому графіт має пластівчасту форму (ЧПГ) (рис. 1.5.)

Білі чавуни мають обмежену область застосування, тому що цементит, який присутній у його структурі у вигляді вторинного цементиту і у складі ледебуриту, надає йому високу крихкість, твердість і вони практично не піддаються обробці різанням. Деяке застосування в промисловості знаходять вибілені чавуни, зокрема при виливку деталей дробильних та розмелюючих установок і для інших деталей, від яких потрібна більша поверхнева твердість і зносостійкість. У вибілених чавунах через різні умови кристалізації в поверхневому шарі утворюється цементна евтектика, а в середині виливка – графітна. Такі умови охолодження виходять при виливку чавуну в металевий

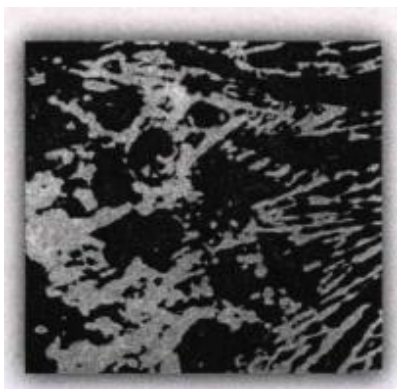


Рисунок 1.2 -  
Мікроструктура білого  
чавуну

кокіль або сиру піщану форму. Для цих цілей застосовують чавун зі зниженим вмістом кремнію.

Сірим чавуном називається чавун, у якого більша частина вуглецю перебуває у вільному стані у вигляді графіту. Сірий чавун м'який, добре обробляється різальним інструментом. У зламі має сірий колір.



Рисунок 1.3 - Мікроструктура СЧ

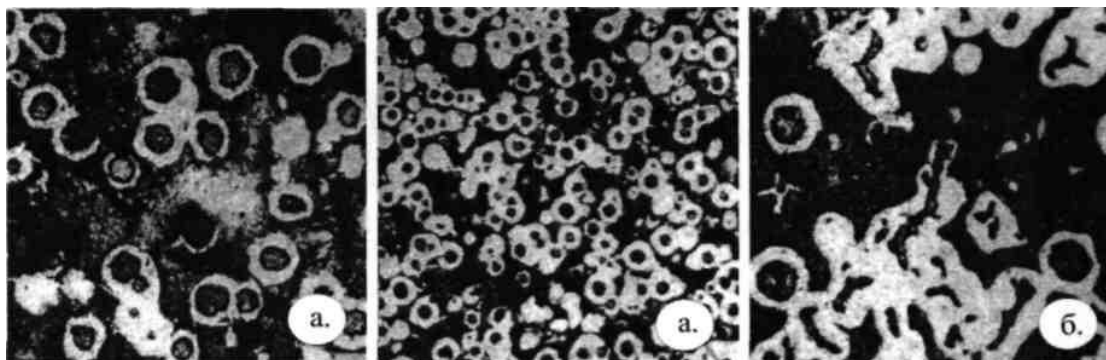


Рисунок 1.4 - Мікроструктура а) ЧКГ; б) ЧВГ

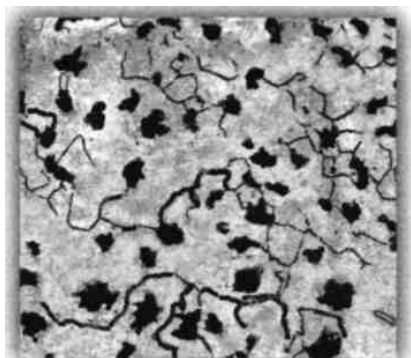


Рисунок 1.5 -  
Мікроструктура ЧПГ

Має малу пластичність, його не можна деформувати, тому що, графіт що втримується в ньому сприяє розколюванню металу. Сірий чавун значно краще працює на стиск, ніж на розтягання. Руйнівне навантаження на стиснення в 3-5 разів вище, ніж при розтяганні. Широке поширення одержав сірий чавун зі

вмістом вуглецю 2,8...3,5 %, кремнію – 1,6...3 %, марганцю 0,5... 1 %, фосфору 0,2...0,8 % і сірки 0,05...0,12 %.

Високоміцний чавун з кулястим графітом: (ВЧКГ) по складу аналогічний звичайному сірому, але за рахунок легування його малими добавками лужних, лужноземельних і рідкісноземельних металів, найчастіше 0,03...0,07 % Mg, графіт у ньому здобуває кулясту форму. Графіт кулястої форми значно менше послаблює металеву основу чавуну. На відміну від пластинчастого графіту в сірому чавуні, кулястий графіт є менш небезпечним концентратором напружень: Високоміцний чавун з кулястим графітом (ВЧКШ) відрізняється, від сірого чавуну із пластинчастою формою графіту тим, що має більш високі механічні властивості, близькі до властивостей вуглецевої сталі (межа міцності при розтяганні, границя текучості і відносне подовження), а також підвищеною корозійною стійкістю і зносостійкістю: Ці властивості отримані їм при модифікуванні рідкого чавуну магнієм.

Ковкий чавун одержують із виливків білого чавуну шляхом тривалої витримки при температурі близько 1000°C. Після такої обробки чавун здобуває підвищену в'язкість, і тому й називається ковким. Ковкий чавун має знижений вміст вуглецю (2,5...3 %) і кремнію (0,7...1,5 %). Більш низький вміст вуглецю обумовлює підвищену пластичність сплаву так як зменшується кількість графіту, що виділяється при відпалюванні. Знижений вміст кремнію усуває виділення пластинчастого графіту в структурі виливків при охолодженні. Виливки з ковкого чавуну застосовують для деталей працюючих при ударних і вібраційних навантаженнях.

## 2. ОЦІНКА ЗВАРЮВАНOSTІ ЧАВУНІВ

По своїх фізичних властивостях хімічному складі та структурі чавун відноситься до групи сплавів, що обмежено зварюються, якість чавуну може бути різко змінене термодетформаційним циклом зварювання. У цьому зв'язку застосовуваний технологічний процес повинен враховувати всі особливості матеріалу, що зварюється, для забезпечення необхідних властивостей зварного з'єднання [5].

Звичайно під зварюваністю розуміють здатність матеріалу утворювати з'єднання, що має необхідні властивості (як правило, на рівні властивостей матеріалів, що зварюються). У цей час розрізняють фізичну і технологічну зварюваність.

Фізична зварюваність визначається тими фізико-хімічними процесами, які проходять на границі зіткнення матеріалів, що зварюються, і залежить від особливостей металу, що зварюється, і металу шва. Із цього погляду фізична зварюваність чавуну із чавуном і чавуну зі сталлю характеризуються можливістю проходження фізико-хімічних процесів, у результаті яких утворюється нероз'ємне зварне з'єднання як у рідкому стані (зварювання плавленням), так і у твердому стані (контактно-стикове зварювання) [4,5]. У відношенні фізичної, зварюваність чавуну може бути віднесений до металів, що добре зварюються. Це пов'язане з необмеженою розчинністю основного і присадного матеріалу в рідкому стані, дифузією у твердому та рідкому стані і т.д.

Технологічна зварюваність характеризує сукупність властивостей (технологічних характеристик) основного металу, його здатність при даній технології утворювати зварне з'єднання, що забезпечує надійність конструкції при експлуатації [6]. Технологічний процес повинен враховувати фізичні властивості і структурні перетворення матеріалу, що зварюється, при забезпеченні якісного зварного з'єднання. Важливе значення тут мають хімічний і структурний склад матеріалу, що зварюється, а також його механічні властивості.

Основна металева маса чавуну являє собою ферит або перліт, з невеликим



вмістом» вуглецю в зв'язаному стані (до 0,8%). Безперервність феритної або перлітної структури в чавунах у значній мірі порушується структурно вільними графітними включеннями, що різко знижує всі механічні властивості. Крім основних складових структури чавуну (ферит + графіт або перліт + графіт), у сірих чавунах зустрічається і ледебурит. Ледебурит – найбільш характерна форма виділення цементиту, який надає чавуну твердість і крихкість [2, 7].

Треба відзначити, що технологічна зварюваність визначається здатністю металу виробів і шва зберігати високі експлуатаційні якості при певному характері впливу на нього в процесі зварювання. Ця здатність обумовлена властивостями металу в зоні термічного впливу з'єднання. При цьому можна виділити наступні властивості чавуну:

- Чавун відносно легкоплавкий і рідкотекучий, а також досить чутливий до термічних циклів зварювання;
- При швидкому охолодженні вуглець не встигає виділитися у вільному стані і перебуває у вигляді цементиту, повідомляючи сплав високу твердість і крихкість;
- При вповільненому охолодженні вуглець виділяється у вигляді структурно вільного графіту. У цьому стані сплав (сірий чавун) має приблизно задовільні механічні властивості;
- Чавун має явно виражену схильність до загартування. Залежно від швидкості охолодження в інтервалі температур від 780°C до 300°C структура чавуну може змінитися від стабільної (графіт + перліт або ферит) до структури загартування (мартенсит, тростит, сорбіт + графіт).

Тому всі основні елементи технологічного процесу: сила струму, потужність зварювального полум'я при газовому зварюванні, порядок накладення швів, ступінь нагрівання, умова охолодження та інші повинні бути обрані з урахуванням фізичних властивостей чавуну і його структурних перетворень [8, 9].

У якості основ при оцінці зварюваності для чавуну, як і для сталі, варто було б прийняти той або інший кількісний захід відносної працездатності і

технологічних властивостей зварного з'єднання по всіх існуючих показниках.

Особливості та труднощі зварювання чавунів обумовлюються наступними факторами [9]:

- високим вмістом вуглецю в складі основного металу;
- схильністю до утворення цементиту і ледеburиту при кристалізації, а також до загартування при прискореному охолодженні;
- малою пластичністю основного металу і зони термічного впливу (ЗТВ);
- відносно низьким значенням температури кристалізації в порівнянні із цією ж характеристикою металу зварювальної ванни на залізній або залізонікелевій основі;
- високою газонасиченістю, а також наявністю в чавуні мікропорожнеч і навіть пухкостей, у яких концентруються гази. Іноді виникають додаткові труднощі, пов'язані з ремонтом виробів раніше експлуатованих. Прикладом цього може служити зварювання виробів з «горілого» або просоченого маслом чавуну.

У випадку зварювання чавуну чавуном істотним заходом одержання якісних зварних з'єднань є високий попередній підігрів виробу. Він сприяє уповільненню швидкості охолодження і, як правило, повністю виключає утворення у найпоширеніших нелегованих і немодифікованих чавунах нерівноважних фаз – цементиту та ледеburиту. Вироби, що зварюються, попередньо нагріваються до температури 350-780°C залежно від їхньої конструкції, способу зварювання, складу присадних матеріалів і ряду інших факторів. Бажаний також завжди супутній підігрів місця зварювання і уповільнене охолодження отриманого зварного з'єднання [9].

При дуговому зварюванні і наплавленні електродними матеріалами з низьким вмістом вуглецю в результаті проплавлення основного металу вуглець у значній кількості переходить у наплавлений метал, що вважається небажаним явищем. Так, при зварюванні чавуну сталлю на вуглецювання шва сприяє утворенню метастабільних структур у шві, наприклад, виділенню цементиту по границях зерен і розпаду аустеніту при охолодженні шва з утворенням

мартенситу (структура загартованої високовуглецевої сталі). Це, у свою чергу, призводить до підвищення твердості і різкому зниженню пластичності металу шва, отже, до утворення тріщин у зварних з'єднаннях. Процесу зварювання без попереднього підігріву властиві більші швидкості охолодження металу шва і ЗТВ. При цьому процеси кристалізації рідкого металу і розпаду аустеніту нерівноважні. Крім того, може негативно позначитися дія високого вмісту вуглецю у шві, і тому необхідно виключити або, принаймні, зменшити такий вплив.

У зв'язку із цим електродні матеріали для зварювання чавуну без попереднього підігріву або з невеликим підігрівом створюються двома способами [9,10]. Перший полягає в застосуванні кольорових металів (нікелю, міді) і їх сплавів, які не розчиняють вуглець і не утворюють із ним стійких карбідів, залишаючись пластичними після наплавлення на чавун. Другий передбачає використання електродів на сталевій основі. Шви, одержувані при зварюванні електродами для конструкційних сталей, піддані загартуванню і не дають якісних з'єднань. Тому сталевий шов легують сильними карбідоутворюючими елементами (Ti, V, Nb), що зв'язують вуглець у дрібні стійкі карбіди, рівномірно розподілені в металевій низьковуглецевій матриці. Таким чином, одержуваний наплавлений метал не загартовується навіть при більших швидкостях охолодження.

Давно замічено, що зварювання (газова, дугова, контактна) чавуну здійснюється тим важче, чим більше в його структурі графіту та чим він крупніше. Узагальнюючи літературні дані [4-9, 11, 12], можна дати наступну оцінку чавунам з погляду можливості одержання якісного з'єднання. Гарна зварюваність чавуну забезпечується при дрібному пластинчастому або кулястому графіті, особливо у випадку перлітної матриці. Задовільною зварюваністю характеризуються чавуни із включеннями графіту середніх розмірів. Якщо включення графіту великі і практично утворюють сітку, чавун має обмежену зварюваність. Це виражається у великій кількості порожнеч у зоні сплави, різким погіршенням суцільності та міцності зварного з'єднання (рис. 2.1).

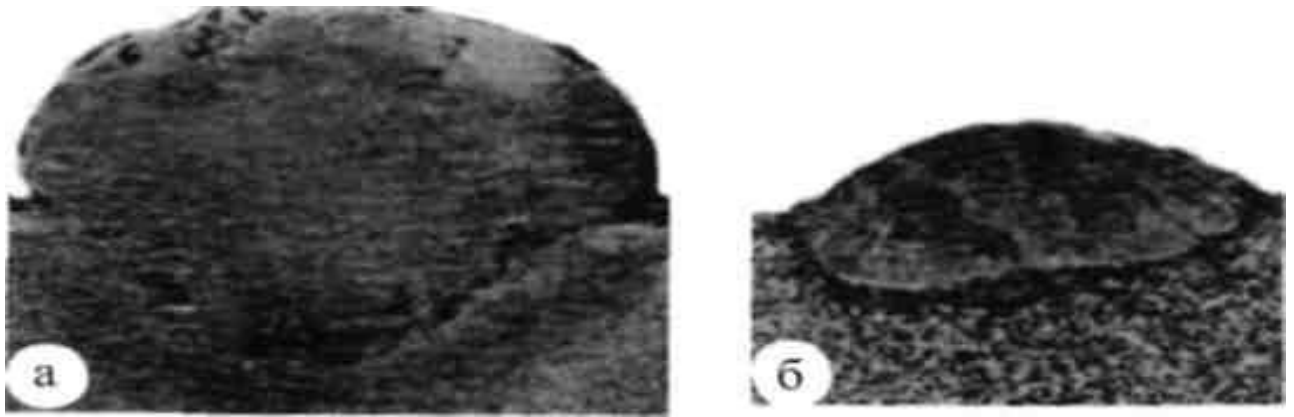


Рисунок 2.1 - Макрошліфи поперечних перерізів наплавлених валиків: а) при відсутності змочування основного металу зварювальною ванною б) при якісній сплавці чавуну з металом шва

Високоміцний чавун з кулястим графітом (ВЧКГ) відрізняється від сірого чавуну із пластинчастою формою графіту тим, що має більш високі міцнісні властивості, близькі до властивостей вуглецевої сталі. Ці властивості отримані при модифікуванні рідкого сірого чавуну магнієм, кальцієм і лантаноїдами. У результаті модифікування частки графіту у ВЧКГ перебувають у вигляді маленьких сфер (кульок), крім ризику утворення та поширення тріщин, одночасно надаючи чавуну пластичність і міцність.

Однак зварювання високоміцного чавуну з кулястим графітом має свої особливості: високоміцний чавун має гіршу зварюваність ніж звичайний сірий і має підвищену схильність до відбілювання.

У роботі [8] відзначається, що схильність зварних з'єднань до утворення тріщин у ЗТВ у високоміцних чавунів значно вище в порівнянні зі звичайними сірими чавунами при однакових вмістах вуглецю, кремнію та марганцю. Дана особливість пов'язана з тим, що чавуни з кулястим графітом, модифіковані магнієм, кальцієм і лантаноїдами сприяють переохолодженню і кристалізації з утворенням цементиту та ледебури. Оскільки, в умовах зварювання, це явище підсилюється, завжди існує небезпека утворення відторгнення навколо шва, що містить у структурі карбіди і мартенсит.

### 3 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ СПОСОБІВ ЗВАРЮВАННЯ ЧАВУНІВ

Технологічні процеси зварювання чавуну на сучасному рівні розвитку передбачають можливість виконання зварювальних операцій із загальним або частковим попереднім нагріванням виробів до температури 600-650°C (гаряче зварювання) і одержанням наплавленого металу у вигляді чавуну з невеликим нагріванням до температури 150-400°C, або в необхідних випадках, без попереднього нагрівання (холодне зварювання) і з одержанням наплавленого металу – не чавуну та у вигляді сплавів, що піддаються механічній обробці різанням або, що не мають такі властивості. Зварювальні та наплавочні процеси можна виконувати з розплавлюванням основного металу (зварювання) або без розплавлювання основного металу (низькотемпературна пайка-зварювання), окремими валиками або з утворенням ванни великого об'єму, вручну або механізованими способами [9,13].

Усі способи зварювання чавуну за властивостями наплавленого металу можна розбити на дві групи: способи, призначені для одержання наплавленого металу у вигляді чавуну із заданими властивостями (феррито-перлітний, перлітний, високоміцний з кулястим графітом і ін.), що досягається застосуванням відповідних зварювальних матеріалів; способи, призначені для одержання зварного шва – не чавуну. При цьому до наплавленого металу пред'являються вимоги забезпечити, оброблюваність різанням (сплави з високим вмістом нікелю, міді, високолегованої сталі та ін.). Якщо таких вимог не пред'являється, застосовують вуглецеву сталь. Існує ряд способів, застосовуваних у спеціальних випадках: контактне зварювання та електрошлакове зварювання, дифузійне зварювання, наплавлення стрічковим електродом, пайка цинковим сплавом при температурі 350°C, пайка з хімічним обмідненням при температурі 200°C та ін. [13].

Класифікація способів зварювання чавуну по технологічних ознаках і властивостям наплавленого металу дана на рис. 3.1. Різноманіття методів викликане специфічними властивостями чавуну, що визначають його зварюваність, вимогами, пропонованими до зварного з'єднання і т.д.



Рисунок 3.1 Класифікація способів зварювання чавуну

Проаналізуємо способи зварювання чавуну. Широко застосовується механізоване зварювання самозахисним дротом суцільного перетину на нікелевій основі і порошковими дротами [14,15]. Використовуються розроблені раніше технологічні процеси ручного дугового зварювання електродами на основі міді, залізонікелевого сплаву, монель-металу, заліза з карбідоутворюючими елементами в покритті, а також газового та дугового зварювання із чавунними прутками в якості присадки або стрижня електрода [13]. Розглянемо способи зварювання, де метал шва є чавун. Одним з даних способів зварювання чавуну є зварювання порошковим дротом. Застосування порошкового дроту дозволяє широко регулювати склад наплавленого металу, легко механізувати процес зварювання та забезпечувати високу продуктивність наплавлення.

У складі дротів, крім заліза, є необхідна кількість елементів – графітизаторів (вуглецю, кремнію), завдяки чому наплавлений метал виходить

по хімічному складу близьким до чавуну. Відповідна форма графіту забезпечується необхідним модифікуванням зварювальної ванни.

Для зварювання сірого чавуну із пластинчастим графітом використовуються порошкові дроти марок ПП-АНЧ-1, ПП-АНЧ-2, ПП-АНЧ-3 [8], а для високоміцного чавуну з кулястим графітом розроблений дріт ПП-АНЧ-5 [16]. Порошкові дроти перших трьох марок призначені, в основному, для заварки дефектів на виливках із сірого чавуну з товщиною стінки в місці дефекту більш 15 мм; вони відрізняються різним вмістом основних графітизаторів – вуглецю та кремнію.

У роботі [25] для відновлення зон пошкодження в корпусних деталях якості домішки, що модифікує, використовували детонаційну не магнітну складову шихти [26], отриману при утилізації боєприпасів, які відслужили строк зберігання, оскільки така порошкова композиція може забезпечити значний економічний ефект у порівнянні з наноалмазами.

Структура наплавленого металу – сірий чавун із пластинчастим графітом. Характер металевої основи і розміри графітних включень залежать від складу дроту та умов охолодження після зварювання. Найбільш часто одержувані результати металографічного аналізу показані на рис. 3.2.

Механічні випробування показали, що при зварюванні сірих чавунів дротом ПП-АНЧ-1, ПП-АНЧ-2 [18] і ПП-АНЧ-3 межа міцності коливається від 120 до 250 МПа. Більш кращі показники – межа міцності до 300 МПа [17], одержують при використанні порошкового дроту марки ППСВ-7. У складі її шихти втримуються графіт і в значній кількості силікокальцій, завдяки наявності якого досягається здрібнювання графітних пластинчастих включень, а також забезпечується перлітно-графітна структура металевої основи.

При зварюванні високоміцного чавуну метал шва повинен мати переважно кулясту форму графіту для того, щоб зберегти в з'єднанні цінні властивості основного металу. Слід намагатися звести до мінімуму кількість метастабільних фаз (цементиту, ледебуриту та мартенситу) у наплавленому металі та навколошовній зоні.

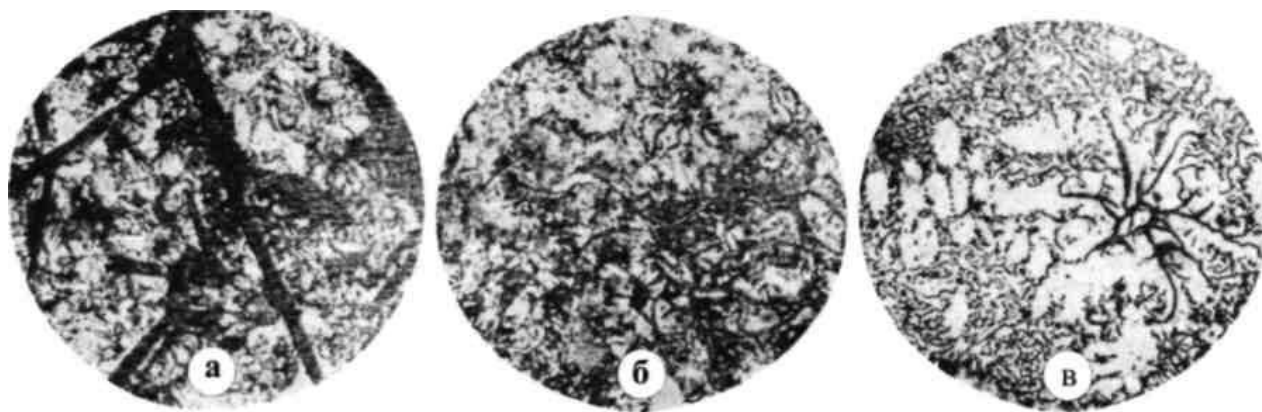


Рисунок 3.2. Мікроструктура металу, наплавленого порошковими дротами ( $\times 150$ ): а) ПП-АНЧ-1; б) ПП-АНЧ-2; в) ПП-АНЧ-3

Надійні результати забезпечуються при зварюванні високоміцного чавуну порошковим дротом ПП-АНЧ-5 [18]. У наплавленому металі та навколошовній зоні стабільно виходить ЧКГ із феритно-перлітною металевою основою. По механічних властивостях наплавлений метал не поступається найпоширенішим у промисловості маркам чавунів з феритно-перлітною і перлітною матрицею. Наплавлений метал близький до основного по хімічному складу.

Однак, у зв'язку з тим, що чавун, модифікований для одержання кулястого графіту, має підвищену схильність до відбілу, зварювання проводиться з високим попереднім підігрівом (загальним або місцевим) до температури 500-700°C залежно від виду та конструкції виробу. Такий захід знижує швидкість охолодження наплавленого металу та достатній для одержання феритно-перлітної металевої основи з невеликою кількістю цементиту. Після зварювання потрібне відпалювання при 850-900°C з витримкою 1,5 - 2 год і охолодженням з піччю для того, щоб забезпечити повну графітизацію наплавленого чавуну та одержання феритної металевої основи з кулястим графітом. Якщо охолодження завареного вилівка із зазначеної температури буде відбуватися на повітрі, то перлітна металева основа практично не буде містити фериту.

При зварюванні чавуну порошковим дротом, можуть утворюватися різні дефекти великих і дуже великих розмірів на оброблюваних, оброблених і відповідальних необроблюваних поверхнях [9].

Процес механізованого зварювання та наплавлення чавуну порошковим



дротом розроблений порівняно недавно. Набагато раніше знайшов застосування технологічний процес ручного дугового зварювання та наплавлення чавуну штучними електродами. Такий спосіб використовується при виправленні ливарних дефектів у масивних товстостінних чавунних виливках, а також при ремонті деталей, коли потрібне наплавлення значних об'ємів металу [18].

Для наплавлення чавуну створюють штучні електроди двох типів. Перший тип характеризується чавунним стрижнем, на який тонким шаром нанесене спеціальне покриття. В електродах другого типу в якості стрижня застосовується сталевий-маловуглецевий дріт, а до складу покриття вводяться у великій кількості вуглець, кремній і інші компоненти з таким розрахунком, щоб наплавлений метал по складу мало відрізнявся від чавуну, що зварюється. Метал шва та зона сплавки в стані після зварювання містять цементит і ледебурит (рис. 3.3).

При розплавлюванні чавунного електрода перехід металу відбувається переважно у вигляді великих крапель. Основними реакціями, що визначають зміну хімічного складу металу, є реакції окиснення вуглецю та кремнію. Оскільки втрата вуглецю і кремнію (найбільш сильних графітизаторів) небажана, необхідно вживати заходів до гальмування зазначених реакцій і компенсації втрат від вигорання.

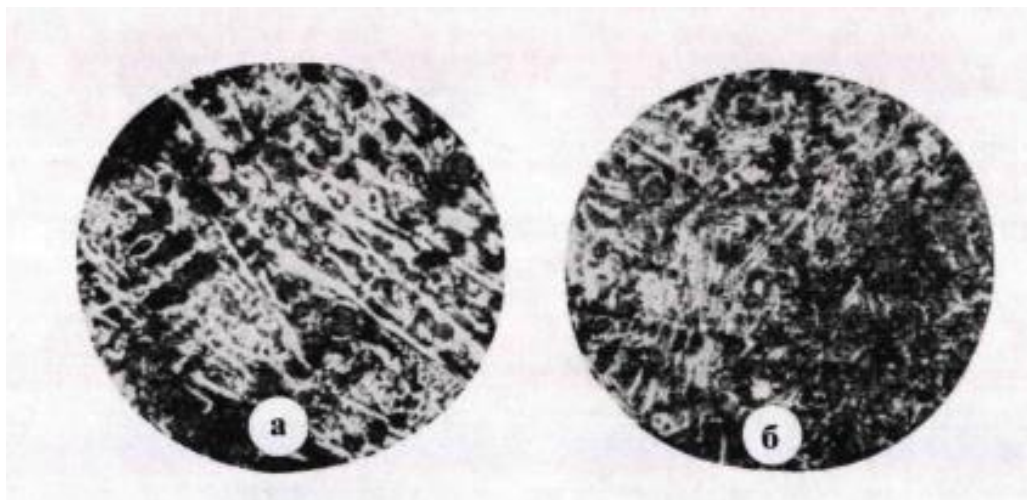


Рисунок 3.3 - Мікроструктура зварного з'єднання, виконаного електродом зі стрижнем зі ЧКГ ( $\times 150$ ): а) метал шва; б) зона сплавки

При дуговому зварюванні чавунними прутками застосовуються покриття, які виконують дві головні функції: відшкодування втрат вуглецю та кремнію і

запобігання їх від окиснення. Покриття полягають в основному із графіту та утримуючих кремній компонентів: феросиліцію, силікокальція, карборунду та ін.

Однак при зварюванні чавуну, як чавунними електродами, так і чавунними прутками виникають різні дефекти великих розмірів.

Ацетилено-кисневе зварювання із чавунною присадкою широко використовується у виробництві для усунення дефектів лиття та ремонтних цілей [4, 14]. Зварювання виконується нормальним полум'ям. У якості присадного металу застосовуються чавунні прутки.

У якості флюсу використовується бура технічна безводна  $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ . Звичайна бура містить кристалічну воду, яка погіршує її флюсуючі властивості. При нагріванні бури до  $400^\circ\text{C}$  вона розплавляється та перетворюється в склоподібну масу. Після остигання її розтирають у дрібний порошок і застосовують для зварювання. Гарні результати дає флюс, до складу якого входять: бура – 23%, сода – 27%, азотнокислий натрій – 50%. Флюс у вигляді порошку вноситься в зону зварювання перед початком процесу на поверхню, що зварюється, нагріту до  $600\text{--}900^\circ\text{C}$ , а також на присадний пруток. При зварюванні флюс періодично додається у зварювальну ванну.

У порівнянні з іншими способами газове зварювання чавуну має ряд технологічних переваг. Є можливість регулювати в широких межах швидкості нагрівання основного металу та охолодження зварного шва. Після закінчення зварювання можна здійснити місцеву термічну обробку з'єднань, нагріваючи виріб у районі шва тим же полум'ям. Зазначені переваги дозволяють одержати зварне з'єднання сірого чавуну, легко оброблюване по всьому перетину, і метал шва, що відповідає по якості основному металу (рис. 3.4).

Газове зварювання – процес давно відомий і використовуваний у ремонтній справі для відновлення деталей із чавуну та інших сплавів, однак він має низьку продуктивність і підвищену трудомісткість. Звідси можна зробити висновок, що ацетилено-кисневе зварювання більш ефективно тільки для ремонту деталей, як із сірого чавуну, так і зі ЧКГ. На рис. 3.4 наведений приклад мікроструктури зварювання ЧКГ.

Електрошлакове зварювання (ЕШЗ) має більш м'який, ніж дугове зварювання, термічний цикл, що дозволяє успішно застосовувати її для зварювання чавуну із пластинчастим графітом більших товщин. При цьому можна одержати з'єднання з гарною оброблюваністю і досить високими механічними властивостями без попереднього підігріву виробу [19, 20]. Це дає можливість використовувати ЕШЗ для виготовлення зварювально-литих чавунних виробів, а також для ремонтних робіт.

Процес ЕШЗ чавуну здійснюють під основним, обезсірковуючим флюсом. Присадний метал подається у зварювальну ванну у вигляді прутків, пластин, порошкового дроту, шматочків чавуну або стружки.

Метал шва має склад і структуру, близькі до складу і структури основного металу, і містить менше сірки завдяки обезсірковуючій дії шлаків. З'єднання не має тріщин і інших дефектів. Однак цей процес дуже специфічний і енергоємний, тому він не знайшов широкого застосування.

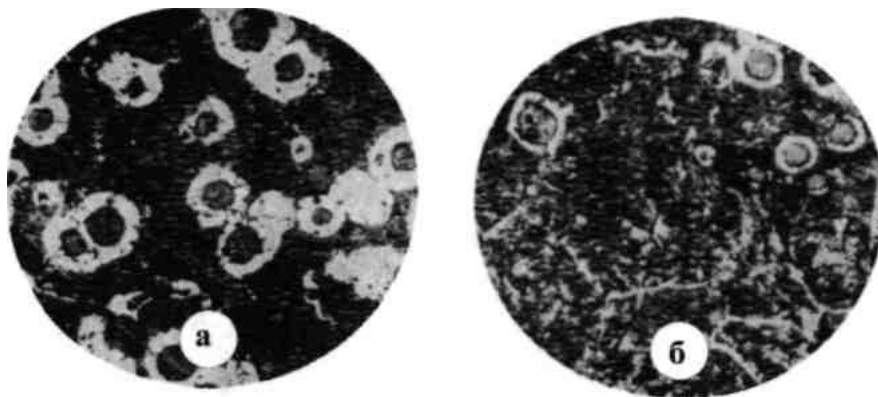


Рисунок 3.4 - Мікроструктура зварного з'єднання, виконаного газовим зварюванням із присадкою прутка з ЧКГ ( $\times 100$ ): а) метал шва; б) зона сплавки

ЕШЗ можна так само зварювати ЧКГ, у цьому випадку в якості електродів використовуються пластини або стрижні, близькі по складу до основного металу або із трохи підвищеним вмістом графітизаторів. Через тривале перебування металу шва в рідкому стані важко забезпечити стабільне одержання в ньому графіту кулястої форми. Для надійного модифікування металу шва необхідно використовувати флюси, що містять елементи глобуляризатори графіту, порошкові дроти або стрічки, а також присипки з модифікаторами.

При контактному стиковому зварюванні оплавленням є ряд позитивних особливостей, які полягають у більш рівномірному і одночасному нагріванні деталей по всіх поперечним перерізам, швидкості процесу, відсутності присадного матеріалу, очищенню поверхонь, що зварюються, від оксидів і неметалічних включень, розчиненні графіту. Кінцева структура з'єднання залежить від хімічного складу деталей, що зварюються, і термічних умов зварювання [4,11, 12].

Властивості з'єднання значною мірою залежать від величини припуску на осідання і від настановної довжини. Припуск на осідання повинен підбиратися таким, щоб забезпечувалося повне видавлювання зі стику рідкої фази, найнебезпечнішої з погляду утворення непластичних структур у з'єднанні.

Швидкість охолодження з'єднань знижується пропусканням імпульсів струму через стик, завдяки чому запобігає утворенню мартенситу у шві та у ЗТВ. У результаті виходить стик, рівномісний основному металу. Структура металевої основи деталей не виявляє істотного впливу на якість з'єднань.

Існує спосіб дугового зварювання чавуну різнорідним металом. Механізоване зварювання самозахисним дротом на основі нікелю. Одна із самих складних проблем зварювання чавуну – одержання герметичних, легко оброблюваних і рівномісних основному металу з'єднань на тонкостінних виробах без їхнього підігріву. При малій товщині виробів, що зварюються, завдання одержання герметичних з'єднань додатково ускладнюється слабким тепловідводом від зони зварювання та підвищеною сприйнятливістю тонкостінних виробів до впливу напружень. Зі зменшенням товщини виробу розміри зони високого нагрівання основного металу, що визначає низьку стійкість з'єднання проти утворення тріщин в умовах термодформаційного циклу зварювання, інтенсивно зростають. Зменшення ефективної потужності джерела й збільшення швидкості зварювання, тобто зниження погонної енергії, дозволяє зменшити розміри цієї зони.

При зварюванні штучними електродами на нікелевій основі легше досягти задовільної якості з'єднання, якщо використовувати електроди малого діаметра

(2-3 мм) і здійснювати, процес зварювання на низьких режимах, короткими ділянками довжиною 15-25 мм, із тривалими перервами на охолодження. Однак щільність зварних з'єднань тонкостінних деталей в навколошовній зоні не гарантується, у зв'язку із чим потрібна додаткова герметизація нанесенням шару припою або епоксидної смоли.

В ІЕЗ ім. Е.О. Патона АН України розроблений новий метод механізованого зварювання чавунних виробів самозахисним дротом марки ПАНЧ-11, ПАНЧ-12 [14,15]. Сутність методу полягає у виконанні механізованого або автоматичного зварювання відкритою дугою (без захисту газом або флюсом), дротом суцільного перетину діаметром 1,0-1,2 мм зі сплаву на основі нікелю.

За допомогою механізованого зварювання чавуну дротом ПАНЧ-11 і ПАНЧ-12 можна одержати міцнощільні з'єднання з високою продуктивністю зварювального процесу, особливо при зварюванні тонкостінних виробів. Зварені з'єднання відрізняються підвищеною стійкістю проти навколошовних тріщин у порівнянні із з'єднаннями, отриманими зварюванням штучними електродами при ідентичному хімічному складі металу шва. Нанесення додаткових герметизуючих покриттів на виріб у зоні шва не потрібно. Склад дроту розроблений для зварювання чавуну без підігріву. При цьому забезпечується одержання пластичного аустенітного шва, який характеризується наступними показниками механічних властивостей: тимчасовий опір розриву – до 450 МПа, границя текучості – до 350 МПа, подовження – до 15 %, твердість – не більше 170-180 HV. Властивості зварного з'єднання в цілому визначаються властивостями чавуну, що зварюється. У зоні сплавки не спостерігається помітної кількості ледебуриту і структурно-вільного цементиту. У ЗТВ є продукти нерівноважного розпаду аустеніту (тросит, мартенсит), що трохи підвищує твердість до 280-300 HV.

Склад дроту ПАНЧ-11 і ПАНЧ-12 забезпечує також високу стійкість швів проти утворення гарячих тріщин у результаті нейтралізації шкідливих домішок і додання неметалічним включенням глобулярної форми, яка досягається

спеціальним легуванням і модифікуванням. Стійкий процес зварювання легко здійснюється на низьких режимах, необхідних з метою малого тепловкладення в основний метал.

Не поступається в якості з'єднань, отриманих ручним зварюванням нікелевими електродами, методом зварювання самозахисним дротом ПАНЧ-11 і ПАНЧ-12. При цьому є ряд переваг: малий діаметр дроту дає можливість застосовувати вузьке оброблення крайок, у результаті чого досягається значне зменшення тепловкладення в деталь; забезпечуються тверді термічні цикли в районі зварювання, що зменшує зону структурних перетворень у ЗТВ. У порівнянні зі зварюванням штучними електродами маса наплавленого металу знижується в 3-5 разів, заощаджується дефіцитний нікель, а продуктивність зростає в 5 разів та більше. При використанні дроту ПАНЧ-11 і ПАНЧ-12 виконуються наступні роботи: відновлювальний ремонт тонкостінних (4-20 мм) деталей із сірого, ковкого та високоміцного чавуну, що прийшов у непридатність через утворення тріщин, відколів, пробоїн і інших дефектів; ремонт товстостінних виробів з нанесенням облицювального перехідного шару; заварка дрібних ливарних дефектів, виявлених у процесі механічної обробки; виготовлення лите-зварних виробів із чавуну, а також комбінованих деталей із чавуну та сталі [15]. Однак, при зварюванні самозахисними дротами ПАНЧ-11 і ПАНЧ-12 не вирішене питання зварювання неповоротних стиків труб, а також проблема пористості зварних швів при напівавтоматичному зварюванні. Крім цього, не вирішена проблема по усуненню крихкого прошарку в зоні сплавки (що складається із троститу, карбідів і голок мартенситу), який утворюється при зварюванні труб дротами ПАНЧ-11 і ПАНЧ-12, що і знижує пластичні властивості зварного з'єднання.

Поряд із дротами на нікелевій і залізонікелевій основах, для зварювання чавуну без підігріву або з невеликим підігрівом використовують також електроди на основі міді і його сплавів. Електроди на основі нікелю і його сплавів забезпечують необхідну якість зварних з'єднань, що мають задовільну міцність і піддаються механічній обробці.

Характеристика деяких найбільш відомих закордонних і вітчизняних марок електродів використовуваних для зварювання ЧКГ, за даними джерел [8, 9].

По складу стрижня електроди можна розділити на три групи:

- практично чистий нікель;
- сплави нікелю із залізом (вміст нікелю 55-70 %);
- сплави нікелю з міддю (монель-метал зі вмістом нікелю 65-70 %).

Відповідно до цього електроди забезпечують різні властивості зварних з'єднань і мають різні основні області застосування. Шви, наплавлені нікелевими та нікелемідними електродами, дуже добре обробляються і легко проковуються. У той же час міцність на розрив і стійкість швів проти утворення тріщин краще при наплавленні нікелезалізними електродами. Нікелеві електроди використовують більше для зварювання сірого чавуну, особливо для тонкостінних виливків.

Електроди зі стрижнем з монель-металу в основному призначені для заварки невеликих раковин виливків, які виявляються на робочих поверхнях у процесі механічної обробки. Гарна оброблюваність наплавленого металу і ЗТВ досягається завдяки тому, що, по-перше, нікелева основа забезпечує відсутність карбідів у шві; по-друге, температура плавлення нікелемідного сплаву суттєво нижче, ніж нікелю, що сприяє зменшенню проплавлення чавуну і зниженню вмісту в металі шва домішок (C, Si, Fe), які переходять із чавуну.

Склад електродів зі стрижнем з залізонікелевого сплаву підбирається таким чином, щоб у наплавленому металі вміст нікелю і заліза був приблизно в рівних частках. Такі сплави мають гарні технологічні характеристики, зокрема, задовільну стійкість проти утворення гарячих тріщин і достатню міцність стосовно ковкого і високоміцного чавуну. Залізонікелеві електроди рекомендується застосовувати для зварювання відповідальних і важко навантажених виробів.

Зварювання нікелевими електродами роблять на постійному струмі, частіше зворотної полярності. Для зниження тепловкладення в деталь і звуження ЗТВ зварювання роблять найменшим струмом, який можливий, невеликими

валиками (довжиною 20-30 мм), часто проковують шов у гарячому стані для зняття залишкових напружень і дають охолонути перед наплавленням наступного валика.

Відомі технологічні процеси комбінованого зварювання, коли поверхня ливарного дефекту або крайки облицьовується нікелевим електродом, потім наплавляється шар залізонікелевим електродом. Далі шари, наплавлені зазначеними електродами, чергуються. При такому комбінованому використанні електродів залишкові напруження в з'єднанні трохи знижуються і характеристики змочування раніше наплавлених шарів електродного металу поліпшуються. Спеціальні електроди розробляються для нанесення лицювальних шарів на чавунні поверхні, просочені маслом або окиснені під впливом високих температур («горілий» чавун);

Для деталей, що працюють під тиском, шви, виконані високонікелевим електродом, зачищаються, а потім запаюються припоєм. Цей спосіб рекомендується для зварювання тонкостінних складних деталей, наприклад, блоків циліндрів, головок блоків, корпусів компресорів і т.п.

У роботі [8] відзначається, що ручне зварювання штучними електродами має і певні недоліки. Розосередження стовпа дуги навіть при малих щільностях струму (25...30 А на 1 мм діаметра електрода) неминуче призводить до розігріву широкої навколошовної зони, якщо мова йде про зварювання тонкостінних складних деталей. У такому випадку зварювання повинне виконуватися короткими ділянками та із тривалими перервами для охолодження. Продуктивність зварювання знижується. Зварювання покритими електродами повинне виконуватися із широким обробленням крайок ( $\alpha = 80 \div 90^\circ$ ). Цей захід викликає необхідність наплавлення значної кількості металу, що знижує продуктивність і призводить до підвищеної витрати дорогих нікелевих електродів, оскільки електродні стрижні згоряють не повністю і частина їх губиться у вигляді недогарків.

При зварюванні електродами на основі міді наплавлений на чавун метал являє собою суміш міді і залізовуглецевого сплаву. Такий характер структури



металу шва визначається тим, що мідь і залізо практично взаємно нерозчинні. Властивості швів і ступінь їх оброблюваності залежать від співвідношення міді і заліза в сплаві. Найкращої вважається композиція сплаву з 80...90 % Cu і 10...20 % Fe. Така комбінація забезпечує сплавку у задовільні механічні властивості з'єднань сірого чавуну із пластинчастим графітом з межею міцності до 200 МПа.

Існує зварювання міднозалізними електродами, де оптимальне співвідношення Cu і Fe у шві досягається внаслідок використання як стрижня мідного дроту і введення в покриття відповідної кількості залізного порошку. Зварювання міднозалізними електродами виконується на постійному струмі зворотної полярності ділянками довжиною 30-50 мм із обов'язковим проковуванням кожного шару. Оскільки без ретельного проковування й карбування швів одержати якісне з'єднання у важкодоступних місцях не представляється можливим, застосовувати міднозалізні електроди недоцільно.

Зварювання чавуну сталевими електродами не забезпечує належної якості з'єднань і не дозволяє добитися досить високої (стосовно основного металу) їх міцності, герметичності і оброблюваності [21].

При наплавленні валика на чавунну деталь сталевим електродом у першому шарі утворюється високовуглецева сталь із 1-1,2 % C або навіть низьковуглецевий чавун (до 2 % C) залежно від глибини проплавлення і частки основного металу. У другому шарі наплавлення вміст вуглецю звичайно становить 0,4-0,6 % і тільки в четвертому – п'ятому шарі наближається до вмісту в металі електрода. В умовах зварювання це неминуче призводить до утворення гартівних структур, схильність зварних з'єднань до утворення тріщин підвищується.

По даним [8] технологічні прийоми зварювання чавуну сталевими електродами спрямовані на зниження твердості (крихкості) і схильності з'єднань до утворення тріщин в навколошовній зоні і першому шарі наплавленого металу. До них відносяться: зварювання перших шарів на режимах з малою погонною енергією; застосування електродів малого діаметра (не більш 3-4 мм);

зменшення щільності струму до 30...35 А на 1 мм діаметра електрода; забезпечення мінімально можливої глибини проплавлення основного металу (0,5...2,0 мм); виконання двошарового наплавлення, при якому після накладення першого валика довжиною до 50 мм зварник відразу наплавляє на цей валик другий шар. Такі заходи дозволяють трохи поліпшити структуру зварного з'єднання і частково збільшити пластичність перших шарів наплавлення.

Зварювання чавуну без підігріву сталевими електродами не дозволяє одержувати зварне з'єднання без твердих гартівних структур. Навколошовна зона при цьому є самим слабким місцем зварного з'єднання. Для усунення цього недоліку при ремонті важких і товстостінних чавунних виробів у корпус деталі по обидві сторони оброблення крайок ввертаються сталеві шпильки. Це підвищує загальну міцність з'єднання та поліпшує його працездатність [9, 13].

Твердість наплавленого сталевго шару можна знизити при одержанні аустенітної або феритної структури металевої основи. Використовують також спеціальні електроди, при зварюванні якими шов легується сильним карбідоутворюючим елементом (ванадієм) у кількості, достатньому для повного зв'язування всього вуглецю, що переходить із основного металу. При цьому вдається досягти феритної структури шва із включеннями дрібнодисперсних карбідів ванадію.

При одношаровому зварюванні без підігріву в наведеношовній зоні відзначається велика кількість ледебуриту і мартенситу, її твердість становить 490-640 НV. Виникає небезпека утворення тріщин. При багатошаровому зварюванні твердість близько шовної зони трохи знижується. Попередній підігрів виробу до 300-340°C дозволяє знизити значення твердості до 350 НV.

#### 4. ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ КОНТАКТНОГО СТИКОВОГО ЗВАРЮВАННЯ ЧАВУНУ Й ЗВАРЮВАННЯ ПЛАВЛЕННЯМ

Властивості чавуну в основному визначаються його структурою і наявністю в металевій матриці вільного графіту. Характер структурних перетворень чавуну при його затвердінні визначається складом і швидкістю охолодження. Уповільнене охолодження сприяє утворенню в структурі чавуну графіту у вільному стані, а збільшення швидкості охолодження сприяє утворенню цементиту ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ) і далі ледебуриту. Подібним чином діють легуючі карбідоутворюючі елементи (хром, ванадій, молібден, вольфрам). При підвищенні вмісту елементів-графітизаторів (вуглецю, кремнію, нікелю, алюмінію, міді й ін.) відбувається зворотний процес – утворення у структурі чавуну графітних включень. Основна металева основа чавуну, як правило, являє собою ферит або перліт, однак при варіюванні швидкостей охолодження можна одержати широкий спектр структур загартування.

Наявність різнорідних структур у чавуні, коли основна металева маса представляє металеву губку, заповнену пухкою неметалічною речовиною – графітом, не зустрічаються в жодному іншому металі і робить чавун матеріалом, що технологічно обмежено зварюється. Не всі чавуни зварюються однаково.

Найбільш дослідженим технологічним процесом є зварювання плавленням сірого чавуну. Це пояснюється його масовою поширеністю, високими ливарними властивостями та гарною оброблюваністю. Однак, у цілому основне застосування зварювання навіть для даної групи чавунів – це виправлення дефектів лиття в заготовках, а також ремонт і відновлення виробів. Для високоміцних і ковких чавунів поки повністю не вирішене завдання одержання металу шва при зварюванні плавленням, близького по складу та властивостям до основного металу. Білі чавуни в основному застосовують для одержання ковких чавунів при подальшій термічній обробці та не використовують для створення деталей машин і виробів.

При зварюванні плавленням вплив на метал, що зварюється, складається з наступних елементів:

- місцевого нагрівання зони зварного стику з наступним охолодженням;
- розплавленням металу в зоні шва, протікання металургійних реакцій, кристалізацією загальної ванни, фазових і структурних перетвореннях у шві і зоні термічного впливу;
- розвитком зварювальних напружень і деформацій, обумовлених остиганням зварного з'єднання й протіканням фазових перетворень.

При такому термодеоформаційному впливі найбільш часто з'являються наступні дефекти: холодні і гарячі тріщини, пори, раковини, втрата оброблюваності (відбіл), втрата корозійної стійкості при одержанні різномірних композицій у шві та основному металі. Тому всі основні елементи технологічного процесу при зварюванні плавленням – сила зварювального струму (або потужність газового полум'я) порядок накладення швів, температура попереднього нагрівання, тип присадного металу, умови охолодження і т.д. – повинні бути обрані з урахуванням фізичних властивостей чавуну і його структурних перетворень. Слід зазначити, що зварювання плавленням чавуну, навіть при самій оптимальній технології з використанням дротів, що серійно випускаються, на нікелевій основі (ПАНЧ-11, ПАНЧ-12, НМцАТ, НМцАТК і ін.) в основному не забезпечує рівномірності зварного з'єднання і основного металу. Ледебуритна складова в структурі зони термічного впливу навіть у невеликій кількості на 30-40 % знижує ударну в'язкість і кут загину зварних зразків. Для збільшення пластичності зварного з'єднання і одержання феритної або перлітної матриці потрібно не тільки істотний попередній підігрів, але й наступна термічна обробка у вигляді високотемпературного відпалювання.

В ІЕЗ ім. Е.О. Патона [24], а також ряді промислових підприємств були проведені дослідження зварюваності чавуну іншими найбільш прийнятними для промисловості способами зварювання. При цьому було встановлено, що більші перспективи має контактне стикове зварювання оплавленням, яке по класифікації способів відноситься до зварювання тиском. По якісних механічних властивостях одержуваних з'єднань даний спосіб зварювання зіставимо з дифузійним способом зварювання, однак по економічній ефективності його

перевершує.

Електричне контактне стикове зварювання оплавленням, на відміну від зварювання плавленням характеризується наступними принциповими особливостями:

1. У завершальній стадії процесу (наприкінці осадження), об'єм рідини розплавленого металу дуже малий, а її залишок після витиснення розподіляється між зернами металу в площині стику і самостійної ролі в структурних перетвореннях і металургійних процесах не відіграє. У зв'язку із цим, згадані раніше ускладнення при зварюванні плавленням, пов'язані з перебуванням відносно великого об'єму зварювальної ванни в розплавленому стані і наступною її кристалізацією (наприклад, пористість, гарячі тріщини і т.п.), тут виключаються.

2. Нагрівання при стиковому зварюванні йде відразу по всій площі стику, створюючи так зване лінійне температурне поле. Лінійне температурне поле (однорідне по стикові) створює значно менші по величині, ніж при дуговому зварюванні плавленням, залишкові зварювальні напруження, що у свою чергу, зменшує ймовірність появи холодних тріщин.

3. Процес зварювання відбувається із застосуванням тиску, який сприяє ущільненню металу і заліковуванню мікро несучільностей.

4. Технологічні можливості регулювання термічного циклу стикового зварювання за рахунок настановної довжини, швидкості оплавлення, напруги холостого ходу, попереднього підігріву в губках машини значно ширше, ніж у дугового та газового зварювання. Причому для чавуну, через його високий електричний опір, теплова ефективність роботи струму на настановній довжині значно вище, ніж у сталі, тому нагрівання і наступне оплавлення проводиться швидше, а також є можливість працювати на менших рівнях потужності.

## ВИСНОВКИ

Порівняльна характеристика способів зварювання чавуну може бути зведена до наступних основних положень:

6. Контактне стикове зварювання не має універсальності, яка є в газовому та дуговому зварюванні. Застосування контактного стикового зварювання також обмежене конфігурацією перетину стику, розміром і вагою заготовки і т.ін. Зважаючи на те, що процес зварювання здійснюється відразу по всій площі з'єднання, споживана електрична та механічна потужність устаткування порівняно високі.

Але в межах зазначених вище обмежень контактне зварювання має ряд істотних переваг:

- Загальна трудомісткість усіх підготовчих, основних і заключних процесів у кілька разів нижче, ніж при дуговому- або газовому зварюванні.
- Загальна витрата енергії, включаючи витрати на супутні термічні операції, знижується в 1,5-5 разів.
- При стиковому зварюванні повністю відпадають витрати на присадні матеріали, флюси.
- Вартість матеріалів з урахуванням втрат щодо недорогого чавуну при оплавленні і зношування електродних губок при стиковому зварюванні в 1,6-2,5 рази менше, ніж при дуговому і газовому зварюванні.
- Процес стикового зварювання навіть при ручному керуванні не вимагає найвищої кваліфікації виконавця, яка необхідна при дуговому і газовому зварюванні.
- Устаткування відносно легко автоматизують, що в більшій мірі знижує вимоги до професійної підготовки зварника і полегшує впровадження даного способу зварювання чавуну в масове виробництво.

Контактне зварювання чавуну зі сталлю як по зварюваності, так і за загально-технологічними показниками можна співставити тільки з дифузійним зварюванням, тому що інші способи практичного застосування не мають.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Шерман, А.Д. Чугун. Справочник / А.Д. Шерман, А.А. Жукова. - М.: Металлургия, 1991. - 575 с.
2. Гуляев, А.П. Металловедение / А.П. Гуляев. - М.: Металлургия, 1977. - 646 с.
3. Сварка и свариваемые материалы: справочное издание: в 3-х т. Т.1: Свариваемость материалов / Под ред. Э.Л. Макарова. - М.: Металлургия, 1991. - 528 с.
4. Шахматов, В.М. Сварка чугуна. - М.: Машгиз, 1960. - 36 с.
5. Елистратов, П.С. Металлургические основы сварки чугуна / П.С. Елистратов. - М.: Машгиз, 1957. - 53 с.
6. Осипов, А.М. Сварка и наплавка чугуна / А.М. Осипов, П.А. Норин. - Челябинск. Изд-во ЮУрГУ, 1998. - 12 с.
7. Акулов, А.И. Технология и оборудование сварки плавлением / А.И. Акулов, Г.А. Бельчук, В.П. Демянцевич. - М.: Машиностроение, 1977. - 432 с.
8. Грабин, В.Ф. Металлография сварных соединений чугуна / В.Ф. Грабин, Ю.Я. Грецкий, Л.Д. Тихоновская, В.А. Метлицкий,. Киев: Наук, думка, 1987.- 191с.
9. Иванов, Б.Г. Сварка и резка чугуна / Б.Г. Иванов, Ю.И. Журавицкий, В.И. Левченков - М.: Машиностроение, 1977.- 208 с.
10. Аснис, А.Е. Состояние и перспективы сварки чугуна / А.Е. Аснис, Ю.Я. Грецкий // Авт. сварка. - 1978. - №8. - С.39-42.
11. Пацкевич, И. Р. Исследование контактной сварки чугуна / И. Р. Пацкевич, В. М. Шахматов // Свароч. пр-во - 1955.- № 5.- С.1-4.
12. Пацкевич, И.Р. Исследование контактной стыковой сварки чугуна со сталью / И.Р. Пацкевич, В.М. Шахматов // Вопросы свароч. пр-ва. сб.- МоскваСвердловск: Машгиз, 1959, - Вып. №16- С.5- 7.
13. Аснис, А.Е. Состояние и перспективы сварки чугуна / А.Е. Аснис, Ю.Я. Грецкий // Авт. сварка. - 1978. - №8. -С.39-42.
14. Грецкий, Ю.Я. Сварка чугунных деталей в ремонтном производстве /

- Ю.Я. Грецкий, В.А. Метлицкий - Киев: Общество «Знание» УССР, 1985. - 16 с.
15. Грецкий, Ю.Я. Механизированная сварка чугуна самозащитной проволокой ПАНЧ-11 без подогрева / Ю.Я. Грецкий // Свароч. пр-во.-1976.-№ И-С.12-13.
16. А. С. 363303 СССР, МКИВ 23 К 35136. Порошковая проволока для сварки и наплавки чугуна / А. Е. Аснис, Ю. Я. Грецкий, В. А. Метлицкий и др. // Открытия. Изобретения. - 1976.-№ 23.-С. 191.
17. Сытник, Н.М. Заварка чугуновых отливок порошковой проволокой / Н.М. Сытник, П.М. Несвит, В.Н. Радзиевский // Литейное пр-во. - 1971.- №2.- С.38-39.
18. Грецкий, Ю.Я. Механизированная сварка и наплавка порошковой проволокой чугуна с шаровидным графитом / Ю.Я. Грецкий, В.А. Метлицкий // Авт. Сварка. - 1971.-№ 10.-С.36-38.
19. Стеренбоген Ю.А. К вопросу электрошлаковой сварки чугуна / Ю.А. Стеренбоген, Ю.Н. Зайцев // Авт. сварка. - 1959.- № 2.- С. 92-93.
20. Стеренбоген, Ю.А. Сварка и наплавка чугуна / Ю.А. Стеренбоген, В.Ф. Хорунов, Ю.Я. Грецкий. - Киев: Наук, думка, 1966.- 216 с.
21. Грецкий, Ю.Я. Механизм образования трещин в зоне сплавления при сварке чугуна сталью и железой и келевыми сплавами / Ю.Я. Грецкий // Свароч. пр-во. - 1981.-№4.-С. 19-22.
22. Метлицкий, В.А. Технологические основы сварки чугуна в производстве литосварных конструкций: автореферат дис. ... д-ра техн. Наук / В.А. Метлицкий. - С.-Петербург, 2001. -32 с.
23. Метлицкий, В.А. Особенности электронно-лучевой сварки чугуна с присадкой никеля в шов / В.А. Метлицкий, С.Н. Ковбасенко, Л.Ю. Сорокина // Авт. сварка. - 1986. - № 3. -С.50-52.
24. Технология электрической сварки плавлением / Под. ред. Б.Е. Патона. - М.: Машиностроение, 1974.- 768 с.
25. Сайчук О.В. Теоретичні та технологічні основи керування структурою і властивостями чавунів різного функціонального призначення: дис. док. техн.



наук: Харків, 2018. - 259 с.

26. Спосіб підвищення якості відновлення тонкостінних виробів з сірого чавуну: пат. 114950 Україна, МПК В23К 9/04 (2006.01), В23К 35/22 (2006.01) № u201610481; заявл. 17.10.2016; опубл. 27.03.2017, Бюл. №6.

## АНОТАЦІЯ

### студентської наукової роботи під шифром «Реновація»

Наукова робота присвячена пошуку закономірностей отримання якісних зварних з'єднань з чавуну контактним стиковим зварюванням

**Актуальність роботи.** Чавун – один з основних конструкційних матеріалів для виготовлення корпусних деталей. Забезпечення стабільної якості зварювання чавуну відкриває широкі можливості ресурсозбереження за рахунок з'єднання і відновлення корпусних деталей машин, створення зварювально-литих металоконструкцій у машинобудуванні. Тут існує проблема зварювання чавуну зі сталлю. Стикове зварювання може стати основним засобом комбінування сталевих і чавунних частин зварного виробу, при якому з найбільшою повнотою будуть використані всі позитивні технологічні і експлуатаційні властивості цих різномірних металів при виготовленні корпусів насосів, блоків і головок циліндрів для дизельних і карбюраторних двигунів, гільз циліндрів, розподільних валів, гальмових дисків, барабанів і т.інш.

**Мета роботи:** полягає у вивченні закономірностей отримання якісних зварних з'єднань з чавуну і чавуну зі сталлю контактним стиковим зварюванням, а також у підвищенні міцності і тріщиностійкості даних зварних з'єднань.

**Завдання дослідження:** дати коротку характеристика чавунів, провести оцінку зварюваності чавунів, виконати аналіз існуючих способів зварювання чавунів, зробити порівняльний аналіз контактного стикового зварювання чавуну і зварювання плавленням.

Порівняльна характеристика способів зварювання чавуну може бути зведена до наступних основних положень:

1. Холодне електродугове зварювання при всіх варіантах його використання не забезпечує рівномірності, сполучене із сильним світловипромінюванням, порівняно трудомістке, вимагає спеціальної підготовки, висококваліфікованого ручного виконання та особливого розташування робочого місця.

2. Холодне (або з місцевим підігрівом) газове зварювання – пайка може дати більш високоякісне з'єднання. Вимоги до кваліфікації, трудомісткість,

витрати на матеріали і загальна вартість тут ще більш високі, ніж для холодного зварювання. Світловипромінювання помірне, але встаткування (генератор, кисневі балони) належать до небезпечних.

3. Низькотемпературне зварювання проводиться без розплавлювання тіла виробу і забезпечує відсутність структур відбілу, але у використанні досить складне, малопродуктивне та дороге. Місцеве послідовне нагрівання виробу в зоні зварювання пов'язане з появою тривісного поля напружень і підвищує небезпеку холодних тріщин.

4. ЕЛЗ і лазерне зварювання широко не застосовується та використовуються тільки вузьконаправлено, у спеціальних зразках техніки.

5. Гаряче дугове та газове зварювання при належних технологічних режимах може дати досить високу якість. Визначальними недоліками цих видів зварювання є дуже велика тривалість усього циклу підігріву, зварювання та охолодження, необхідність у громіздкому термічному устаткуванні, висока вартість. Гаряче зварювання характеризується підвищеною тривалістю та значною трудомісткістю.

6. Контактне стикове зварювання не має універсальності, яка є в газовому та дуговому зварюванні. Застосування контактного стикового зварювання також обмежене конфігурацією перетину стику, розміром і вагою заготовки і т.ін. Зважаючи на те, що процес зварювання здійснюється відразу по всій площі з'єднання, споживана електрична та механічна потужність устаткування порівняно високі.

Виконана робота містить 31 сторінки в якій представлено 10 рисунків та 26 посилань на літературні джерела, складається зі вступу, 4 розділів та висновків.

**Ключові слова:** Зварювання, графітизація, мікроструктура, чавун, наплавлення, дріт, електрод.

### **Публікації**

«Реновація» Підвищення міжремонтного ресурсу чавунних колін-частих валів / «Реновація» // Матеріали міжнародної науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «ЕКСПЛУА-ТАЦІЙНА ТА СЕРВІСНА ІНЖЕНЕРІЯ» 28-29 травня 2020. – С. 65

ЗАТВЕРДЖУЮ

Директор «Реновація»

\_\_\_\_\_ «Реновація»

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2021р.

### АКТ

впровадження в навчальний процес матеріалів науково дослідної роботи  
«Отримання якісних зварних з'єднань з чавуну контактним стиковим  
зварюванням»

Цей акт складений комісією в складі: голови комісії - завідувача кафедри «Реновація» в тому, що матеріали науково дослідної роботи «Отримання якісних зварних з'єднань з чавуну контактним стиковим зварюванням» використовувалися при написанні конспекту лекцій з дисципліни «Технологічні системи ремонтного виробництва» (Лекція № 7) яка викладається магістрам що навчаються за спеціальністю 133 «Галузеве машинобудування».

Голова комісії:

Завідувач кафедри «Реновація»

Члени комісії:

«Реновація»