

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
“КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ”

РЕМОНТНЕ ЗВАРЮВАННЯ

Курс лекцій для студентів для студентів напряму підготовки 6.050504
«Зварювання»

Затверджено вченою радою ЗФ НТУУ «КПІ»

Київ 2012

Ремонтне зварювання. Конспект лекцій для студентів напряму підготовки 6.050504 «Зварювання» / Укладачі: С. М. Гетманець, Д. В. Степанов – К.: НТУУ «КПІ», 2012. -60 с.

*Гриф надано Вченою радою ЗФ НТУУ «КПІ»
(Протокол № 2 від 22.10.2012р.)*

Навчальне видання

РЕМОНТНЕ ЗВАРЮВАННЯ

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

для студентів напряму підготовки 6.050504 «Зварювання»

Укладачі: *Сергій Михайлович Гетманець, к.т.н., доцент*
Денис Володимирович Степанов, асистент

Відповідальний

редактор

Рецензент

В.Д. Кузнецов, д.т.н., професор

Л.А. Жданов, к.т.н., доцент

ЗМІСТ

Вступ.....	4
Особливості технології ремонтного зварювання	5
Основні етапи технологічного процесу ремонту зварюванням	7
Дефекти деталей і конструкцій та причини їх виникнення	8
Визначення складу і властивостей основного металу	9
Підготовка дефектів і пошкоджень до ремонту зварюванням	10
Технологічні особливості зварювання тріщин	13
Підсилення ушкоджених місць	16
Зміст технологічного процесу ремонту зварюванням	20
Вимоги до якості ремонтних зварних з'єднань.....	21
Технологічні особливості ремонту зварюванням балок і рам.....	22
Ремонтне зварювання деталей і конструкцій з чавуну.....	25
Заходи підвищення якості зварних з'єднань чавуну.....	25
Гаряче зварювання чавуну.....	28
Зварювання з отриманням в шві сірого чавуну.....	34
Зварювання з отриманням в шві низьковуглецевої сталі.....	36
Зварювання з отриманням в шві кольорових сплавів.....	43
Газове зварювання чавуну.....	48
Низькотемпературне паяння - зварювання чавуну.....	51
Ремонт зварюванням корпусних деталей і конструкцій.....	52

Вступ

Дисципліна “Ремонтне зварювання” є однією з фундаментальних дисциплін підготовки фахівців напряму 6.050504 “Зварювання” і спрямована на вивчення сучасних технологічних процесів ремонту деталей і конструкцій за допомогою зварювання.

Дисципліна відноситься до професійно-орієнтованих і ґрунтується на попередньому вивченні таких курсів, як основи обробки металів, деталі машин та основи конструювання, матеріалознавство та термічна обробка зварних з’єднань, теоретичні основи зварювання, технологія і обладнання зварювання плавленням, технологія газополуменевої обробки металів, зварювальні матеріали, обладнання і джерела живлення для дугового зварювання та інше.

Метою вивчення дисципліни “Ремонтне зварювання” є формування сучасних уявлень і знань про технологічні процеси ремонту деталей машин і конструкцій зварюванням, основні види дефектів і пошкоджень, зварювальні матеріали та обладнання, вплив технологічних факторів на властивості ремонтного з’єднання, механічне допоміжне обладнання і оснащення, загальні принципи проектування технології і типові технологічні процеси ремонтного зварювання.

Завданням вивчення дисципліни є знання засобів забезпечення якості ремонтних з’єднань з різних матеріалів, точності та форми відремонтованих деталей і конструкцій, характеристик та рекомендацій по визначенню технологічних операцій ремонту зварюванням, основ проектування і обґрунтованого призначення технології ремонтного зварювання та вибору зварювальних матеріалів, обладнання і оснащення. особливостей технології ремонту зварюванням типових деталей та конструкцій.

Після вивчення дисципліни “Ремонтне зварювання” студент повинен практично вміти визначати показники якості ремонту зварюванням деталей і конструкцій, призначати технологію, матеріали і устаткування для ремонтного зварювання з урахуванням експлуатаційних вимог та проектувати технологічні процеси ремонту зварюванням конкретних деталей і конструкцій.

Викладання наукових основ технології ремонтного зварювання у даному учбовому курсі не має на меті надати вичерпну інформацію та пояснення з проблеми, що вивчається. Вони можуть розглядатися лише як введення в дану область технології ремонтного виробництва – ремонтне зварювання.

Комплексність технологічних процесів ремонтного зварювання, розвиток та створення наукових основ технології ремонту деталей і конструкцій зварюванням закладені в багатьох роботах вітчизняних вчених, інженерів та виробників. Разом з потребами практичної діяльності інженерів – технологів це обумовлює доцільність та правомірність викладання даного учбового курсу.

Особливості технології ремонтного зварювання

Технічний прогрес обумовлює постійне зростання вимог до машин та конструкцій і, в першу чергу, до підвищення їх надійності та довговічності. Промисловість більшості індустріально розвинених країн потерпає значних втрат внаслідок недостатньої надійності і довговічності машин і конструкцій.

Складний економічний стан України та інших країн СНД і пов'язане з цим зниження обсягів випуску та впровадження нової техніки надає проблемі ремонту і відновлення машин і конструкцій одне з пріоритетних значень. Ремонтне виробництво має багато загальних рис з машинобудуванням і водночас суттєво відрізняється, у ремонті часто застосовуються специфічні технологічні процеси.

Технологія ремонту представляє собою сукупність різноманітних процесів – мийки, очищення, зварювання, наплавлення, нанесення покриття, багаточисельних методів механічної, термічної, хіміко - термічної та інших видів обробки. В ремонтному виробництві широко застосовуються методи зміцнення поверхні шляхом нанесення покриття і плівок, модифікування поверхневих шарів деталей і конструкцій або їх різні комбінації.

Зварювання широко застосовується в багатьох технологічних процесах ремонту різноманітних деталей машин і конструкцій. Обсяги ремонтних робіт з застосуванням зварювання в промисловості, будівництві, сільському господарстві та інших галузях економіки, продуктивність і ефективність ремонтного зварювання постійно зростають і ця тенденція чітко спостерігається в усіх розвинених країнах.

Ремонт деталей і конструкцій зварюванням застосовують або під час їх виготовлення, або в результаті тих або інших пошкоджень при експлуатації. Більшість технологічних процесів виготовлення деталей і конструкцій, в тому числі зварюванням, включає контроль и іспити найважливіших вузлів, після яких проводиться виправлення ремонтном усіх виявлених несправностей.

Ремонт зварюванням на етапі виготовлення виробів потребує, як правило, значних витрат, які можуть на порядок перевищувати вартість первісних операцій виготовлення. Окрім того, така форма ремонту нерідко порушує встановлену послідовність виготовлення виробу, його проведення викликає великі труднощі внаслідок конструктивних та інших обмежень по зварюванню, необхідності ретельної оцінки ступеня важливості дефектів і економічного обґрунтування необхідності ремонту.

Нерідко, в умовах крупносерійного виготовлення деякі недорогі деталі і вузли дешевше пустити на металобрухт, ніж намагатися їх ремонтувати зварюванням. Для великих, складних, дорогих конструкцій їх висока сукупна вартість і тривалий цикл виготовлення роблять ремонт більш рентабельним.

Висока продуктивність і ефективність ремонтного зварювання забезпечуються при наявності відповідної системи керування якістю, достатнього рівня

професійної підготовки інженерів-технологів і зварників, обґрунтованого призначення технологічного процесу і зварювального устаткування, справного і налагодженого обладнання та оснащення, оперативного контролю якості.

У випадку ремонту зварюванням деталей і конструкцій, пошкодження або втрата працездатності яких виникли під час експлуатації, продуктивність і ефективність ремонтного зварювання визначаються часом проведення та витратами на ремонт, а також якістю зварного з'єднання і відновлення в цілому.

В ідеальному випадку ремонт зварюванням повинен бути завершеним з першої спроби і забезпечувати значне продовження терміну експлуатації відремонтованого виробу. Невдалий внаслідок недостатньої технологічної підготовки ремонт може вимагати декілька спроб зварювання і в найгіршому випадку призведе до зниження терміну роботи деталі або конструкції чи навіть може викликати катастрофічний відказ.

Результатом тиску, який створюється необхідністю негайного відновлення виробництва або забезпечення безперервної роботи обладнання, може стати бажання негайно приступити до ремонту. Однак, найважливіше в такій ситуації організувати і провести ретельну та обґрунтовану технологічну підготовку ремонтного зварювання з тим, щоб забезпечити його ефективність і звести до мінімуму матеріальні і грошові витрати на ремонт та можливі в майбутньому відкази відремонтованих деталей і конструкцій.

Раціональна технологічна підготовка ремонтного зварювання повинна включати наступні етапи:

- аналіз і встановлення причини або причин виходу з ладу чи пошкодження виробу, який необхідно відремонтувати;
- вибір основного металу і зварювальних матеріалів, що забезпечать отримання необхідних властивостей ремонтного з'єднання;
- призначення параметрів режиму зварювання, попереднього і супутнього підігріву, техніки виконання і термічної обробки ремонтного з'єднання, тощо;
- розробка і призначення технологічного процесу ремонту зварюванням деталі або конструкції, вибір основного технологічного і допоміжного обладнання та оснащення, пристроїв, інструменту;
- призначення заходів і обладнання та оснащення для проведення вхідного, поточного і вихідного контролю процесу ремонту зварюванням.

Технологічна підготовка ремонтного зварювання має ряд характерних особливостей, відмінних від технологічної підготовки виготовлення деталей і конструкцій зварюванням. Технологія ремонту зварюванням конкретного виробу носить, як правило, не типовий, а одиничний характер. Це обмежує можливості використання вже розроблених технологічних процесів ремонтного зварювання деталей і конструкцій.

В багатьох випадках ремонт зварюванням необхідно виконувати не в умовах виробництва – в ремонтному цеху, ділянці та ін., а по місцю, тобто без де-

монтажу пошкодженої деталі або конструкції, безпосередньо на місці їх розташування. Це, в свою чергу, виключає можливість кантування виробу і зміни положення зварних з'єднань на зручне для виконання ремонтного зварювання.

Широке застосування для виготовлення деталей і конструкцій сучасних матеріалів – високолегованих сталей і сплавів, легованого чавуну, кольорових металів і сплавів, матеріалів з функціональним покриттям, тощо, вимагає подолання при ремонті зварювання серйозних труднощів, пов'язаних з обмеженою, як правило, здатністю до зварювання таких матеріалів.

При ремонтному зварюванні в багатьох випадках існують обмеження або неможливість застосування ряду технологічних операцій таких, як попередній і супутній підігрів, термообробка зварних з'єднань, механічна обробка крайок на верстатах, хімічна обробка крайок алюмінію та його сплавів, попереднє деформування для зниження залишкових деформацій зварних з'єднань, тощо.

Наведені обмеження або неможливість застосування пояснюються не тільки малогабаритними показниками деталей і конструкцій, а і необхідністю збереження при ремонті їх форми та розмірів, що можуть суттєво змінитися внаслідок застосування технологічних операцій пов'язаних з загальним або місцевим нагріванням та охолодженням деталей і конструкцій.

Економічна доцільність ремонту зварюванням в більшості випадків визначається не прямими витратами на технологічний процес ремонтного зварювання деталей і конструкцій, а збитками від зупинки і простою виробництва або перервами в роботі виробничого обладнання, що вийшло з ладу. Збитки від зупинки виробництва, як правило, значно перевищують витрати на зварювальні матеріали і ремонт.

Економічна доцільність ремонту зварюванням визначається також терміном подальшої експлуатації відремонтованих деталей і конструкцій та ступенем відновлення функціональних показників, яким вони повинен відповідати. Рекомендується, щоб термін роботи деталей і конструкцій та ступінь відновлення їх функціональних показників після ремонту зварюванням складали не менше 80% від аналогічних значень нових деталей і конструкцій.

Основні етапи технологічного процесу ремонту зварюванням

Технологічний процес ремонту зварюванням деталей і конструкцій, що розробляється, повинен передбачати виконання наступних етапів з метою:

- визначення місць розташування, розмірів і форми дефектів та пошкоджень, можливих причин їх утворення;
- визначення складу і властивостей основного металу в т.ч. з наявних відомостей в конструкторській і технологічній документації;
- вибору і призначення необхідних підготовчих операцій по розробці дефектів і пошкоджень під ремонтне зварювання;

- призначення послідовності і техніки виконання безпосередньо зварювальних операцій і утворення ремонтного зварного з'єднання;
- вибору і призначення необхідних фінішних операцій термічної, механічної та інших видів обробки ремонтного з'єднання після зварювання;
- вибору і призначення необхідних операцій вхідного, поточного і вихідного контролю підготовки і здійснення ремонтного зварювання.

Дефекти деталей і конструкцій та причини їх виникнення

Основними дефектами та пошкодженнями деталей і конструкцій, які можна усунути за допомогою ремонтного зварювання є:

- окремі тріщини та розтріскування (утворення сітки тріщин);
- відколи литих деталей та дефекти лиття;
- дефекти зварних швів: пори, свищі, неповари, підрізи, тощо;
- корозійне руйнування точкового, лінійного та площинного характеру.

Ремонт зварюванням буде малоефективним або зовсім невдалим у випадку, коли не визначені спочатку причину виникнення дефектів та пошкоджень конкретної деталі або конструкцій. Причини, які обумовлюють виникнення наведених дефектів і пошкоджень можна умовно поділити на наступні групи.

- помилки проектування технології виготовлення і порушення технологічного процесу виробництва деталей і конструкцій;
- аварії, порушення правил експлуатації або неочікуване перевантаження деталей і конструкцій;
- відмови в результаті зношення, повзучості або втомленості металу при тривалій експлуатації виробів, термін якої наближається до граничного;
- невдала конструкція виробу або неадекватна, тобто недостатня для даних умов експлуатації, міцність деталі та елементів конструкції.

При виробництві виробів дефекти зварювання, наприклад, водневе розтріскування в сталях і утворення гарячих тріщин або пористість в алюмінієвих сплавах виникають, як правило, внаслідок недостатнього контролю за процесом виготовлення. Тому перед тим, як спробувати виправити такі дефекти, дуже важливо визначити технологічні помилки, які могли їх викликати. Одна лише ліквідація дефекту і повторне зварювання навряд чи принесуть успіх.

При виникненні відмови деталі або конструкції в результаті зношення, повзучості чи втомленості металу важливо знати, яке конкретно із цих явищ явилось причиною відмови. В разі зношення визначають його тип: абразивний, під дією ударних навантажень, фрикційний, ерозійний, корозійний, тощо.

Внаслідок схожості неправильної експлуатації з випадковим пошкодженням або неочікуваним перевантаженням нерідко буває важко визначити справжню причину пошкодження (несправності) деталі і конструкції, та і обставини, що призвели до пошкодження, також можуть бути схожими. Однак, у будь-якому випадку треба зібрати максимальну кількість інформації, що буде сприяти призначенню раціональної технології ремонту зварюванням.

При ліквідації дефектів і пошкоджень, що виникли з наведених вище причин, необхідно за допомогою ремонтного зварювання відновити початкову міцність виробу та одночасно зберегти його розміри і форму.

У випадку, коли причиною пошкодження є невдала конструкція виробу, то ремонт зварюванням з метою відновлення первісної конструкції буде неефективним. Внаслідок термічного впливу процесу зварювання характеристики відремонтованої конструкції можуть навіть погіршитися в порівнянні з первісною.

Руйнування в результаті недостатньої для даних умов експлуатації міцності деталей і елементів конструкцій відбувається, як правило, на першій стадії роботи виробу. Відновлення первісної міцності конструкції не є достатнім тому, що може забезпечити лише такий самий незначний термін роботи виробу, як і до ремонту.

Пошкодження, що викликані недостатньою міцністю конструкції потребують її підсилення, удосконалення або навіть переробки. В цьому випадку технологія ремонту зварюванням повинна бути обґрунтована розрахунками і кресленнями, що розробляються підприємством - виробником виробу або проектно-конструкторським і технологічним бюро підприємства чи ремонтного підрозділу підприємства.

Визначення складу і властивостей основного металу

Знання хімічного складу і властивостей основного металу є одним з основних для розробки технології ремонтного зварювання, оскільки помилкове визначення складу і властивостей матеріалу може призвести до вибору зовсім неправильної технології проведення зварювання.

Наприклад, високолеговані феритні, а також аустенітні марганцеві сталі широко використовують для виготовлення гірничого і кар'єрного обладнання. Зовні ці сталі досить схожі, але їх зварювання повинна проводитися зовсім по-різному. Високолеговані феритні сталі часто потребують попереднього підігріву і термообробки при високих температурах після зварювання, тоді як аустенітну марганцеву сталь для запобігання розтріскування необхідно термічно обробляти за низьких температур.

Технологія ремонту зварюванням деталей і конструкцій, що виготовлені холоднодеформованого металу (холоднокатаного, штампованого, тощо), відрізняється від ремонтного зварювання гарячекатаного металу – листового і профільного. При зварюванні холоднодеформованого металу необхідно приймати всі необхідні заходи для мінімізації тепловкладення в основний метал з метою максимально можливого зменшення рівня залишкових деформацій металу.

У випадку ремонту зварюванням дефектів та пошкоджень деталей і конструкцій, що виникли на етапі їх виготовлення, хімічний склад і властивості основного металу можна визначити (ідентифікувати матеріал) по наявних оригінальних кресленнях виробу і технологічній документації на виготовлення. При

цьому треба приймати до уваги, що в сертифікаті відповідності на метал виробника або постачальника часто вказують не дійсний хімічний склад металу, а лише межі вмісту легуючих елементів відповідно до вимог стандартів.

По хімічному складу основного металу розраховують вуглецевий еквівалент, на підставі числового значення якого визначають здатність до зварювання основного металу. Відповідно до вуглецевого еквіваленту металу призначають відповідні технологічні і конструктивні заходи, що необхідні для забезпечення виконання якісного ремонтного зварного з'єднання.

При ремонті зварюванням дефектів та пошкоджень деталей і конструкцій, що виникли на етапі їх експлуатації, для ідентифікації матеріалу за відсутності конструкторської і технологічної документації може стати необхідним проведення спектроскопічного або хімічного аналізу матеріалу. Для невідповідального ремонту зварюванням первісні відомості про склад металу можуть дати контроль твердості, перевірка на іскру, використання магніту для визначення, чи не є матеріал феромагнітним, тощо.

При неможливості визначення хімічного складу основного металу бажано спочатку виконати зварювання відповідно до обраної технології зразків - свідків, виготовлених з того ж металу, що і виріб, який необхідно ремонтувати. По результатах зварювання зразків – свідків корегують обрану технологію зварювання. При неможливості виконання зразків – свідків з основного металу деталі чи конструкції рекомендується спочатку виконати зварювання по обраній технології найменш складних, відповідальних, легкодоступних дефектів і пошкоджень або їх ділянок. Після цього вносять корегування в обрану технологію зварювання і виконують ремонтне зварне з'єднання повністю.

Підготовка дефектів і пошкоджень до ремонту зварюванням

Ремонтне зварювання деталей і конструкцій представляє собою по суті відновлення первісних розмірів, форми, міцності або підсилення її по відношенню до первісної при максимально можливому збереженні функціональних показників виробів, що ремонтують.

Одним з основних чинників, що визначають ефективність ремонту, є раціональна підготовка дефектів і пошкоджень деталей та конструкцій до зварювання. Технологічний процес підготовки, в свою чергу, залежить від виду дефекту або пошкодження, місця розташування, форми і розмірів, доступності для розробки кромки, тощо.

Найбільший обсяг робіт з ремонтного зварювання припадає відновлення деталей і конструкцій, які пошкоджені внаслідок утворення тріщин або розтріскування. Припустима для зварювання довжина тріщини в кожному окремому випадку встановлюється залежно від місця її розташування, напруженого стану деталі і конструкції та можливості якісного виконання зварювальних робіт.

Місця очікуваної появи тріщин піддають очищенню (при необхідності), візуальному зовнішньому огляду або ультразвуковій дефектоскопії для встановлення границь розповсюдження тріщини, її глибини і траєкторії. Для найкращого виявлення тріщини рекомендується очікуване місце її розташування прогріти газовим пальником або різакон до 100 – 150°C.

Застосування для очищення и виявлення тріщини зачистки поверхні абразивними кругами погіршує видимість тріщин, особливо, тонких «волосяних» тріщин, розтріскування, а також може ініціювати їх розповсюдження, і тому не рекомендується.

Тріщини, що утворилися в деталі або конструкції дуже імовірно будуть поширюватися внаслідок теплового впливу, який звичайно має місце в процесі зварювання. Оскільки операції шліфування і поверхневої різки також можуть бути причиною поширення тріщин, то необхідно застосовувати заходи для його запобігання – використовувати так звані обмежувачі тріщин, тобто отвори, що просвердлені по на кінцях траєкторії тріщини для зменшення інтенсивності напружень в цих місцях.

Кінці тріщини засвердлюють свердлом діаметром 8 – 12мм при товщині металу 10 – 12 мм. При товщині металу менше 10мм діаметр отвору зменшують, при товщині більше 12мм – використовують свердло більшого діаметру. Мінімальний діаметр отвору вибирають за умови гарантованого забезпечення повного (наскрізного) провару, а максимальний – обмежують величиною, що виключає утворення прожогу або протікання металу зварювальної ванни, при заварюванні отвору.

При ремонтному зварюванні тріщин металу товщиною більше 10мм для покращення умов отримання повного провару бажано виконувати зенкування отворів на кінцях тріщин на глибину, що складає 0,3 – 0,5 товщини металу.

У випадку ремонту зварюванням тріщини, яка не є наскрізною, отвори – обмежувачі тріщини засвердлюють на глибину, що перевищує глибину тріщини на 1 – 1,5мм. При цьому відстань від дна отвору до протилежної поверхні металу деталі або елементу конструкції повинна перевищувати глибину провару для обраного способу і параметрів режиму зварювання. В іншому випадку можливе виникнення дефекту формування шва – прожогу.

В деяких випадках, при ремонті важко навантажених деталей і конструкцій з металу товщиною більше 10мм обмежувачі тріщини виконують наступним чином. На кінцях тріщини засвердлюють отвори діаметром 20 – 30мм, в які встановлюють циліндричні пробки, виготовлені по діаметру отвору з такого ж металу, що і основний метал. Встановлені пробки зафіксують прихватками.

Після прихватки пробок зварюють тріщину, розпочинаючи та закінчуючи шов на пробках. Закінчують ремонтне зварювання виконанням кільцевих швів, що з'єднують пробки з основним металом. Кільцеві шви залежно від товщини металу можуть виконуватися як з розробкою кромки шва, так і без неї.

При зварюванні тріщини розробка її кромки необхідна у випадках, коли глибина тріщини перевищує провар, який можливий для обраного способу і параметрів режиму ремонтного зварювання.

Метод розробки кромки тріщини обирають від глибини, довжини і конфігурації тріщини, вимог до підготовки кромки для обраного способу зварювання, технічних можливостей методу розробки стосовно його застосування для конкретного дефекту або пошкодження.

Розробку тріщин необхідно виконувати таким чином, щоб забезпечити наскрізний провар всього перерізу. При розробці дуже ретельно контролювати напрямок тріщини і вести розробку так, щоб тріщина була видалена повністю. Однак, завжди потрібно мінімізувати об'єм металу, що видаляється, а відповідно, і об'єм присадки або електродного металу, який необхідно буде використати при послідовному зварюванні тріщини.

В ряді випадків ремонту зварюванням тріщин деталей і конструкцій, коли об'єм видалення металу в місці дефекту значний, доцільно замість розробки і зварювання тріщини видалити дефектну ділянку металу повністю і на його місце вварити вставку з металу, склад якого такий самий як у основного металу або близький до нього.

Розробку можна виконувати механічними способами – фрезеруванням, струганням, рубкою пневматичним або ручним зубилом, проточкою на верстатах і вогневими способами – різанням кисневим різачками, повітрянодуговим способом, різанням плазмою, дуговим струганням.

Практика показує, що вогнева розробка найбільш зручна і має наступні переваги в порівнянні з механічними способами, а саме:

- швидкість процесу, що в десятки разів вище, ніж у механічних способів;
- можливість отримання форми розробки мінімального перерізу;
- хороша видимість напрямку тріщини при розробці;
- можливість маневрування при зломі і тріщині криволінійної траєкторії;
- гарантія повного видалення всього металу дефектної ділянки.

Якщо тріщина не є наскрізною і не доходить до внутрішньої поверхні пошкодженого елемента на 2 – 3мм і більше (що краще визначати ультразвуковою дефектоскопією), то кромки тріщини слід розробляти під зварювання сварку з використанням графітового або вугільного електродів, спеціальних електродів для електродугового стругання або за допомогою газокисневого різачка.

Отримана в результаті такої технології розробка U - подібної форми (рис.1, а) відрізняється хорошою доступністю до вершини розробки тріщини та достатньою чистотою розробленої поверхні. Розробка не потребує послідовної спеціальної механічної зачистки, при цьому достатньо лише видалити шлак для забезпечення повного провару всього перерізу.

Наскрізним тріщинам також можна надати U - подібну форму розробки. Однак, більш простою для таких тріщин є розробка V - подібної форми. (рис. 1, б). Розробку такої форми доцільно виконувати механічним способом – ручним і

пневматичним зубилом або розсвердлюванням тріщини с послідуною розробкою зубилом. При цьому розробка тріщини по довжині здійснюється відповідно з схемою, приведеною на рис. 1, в.

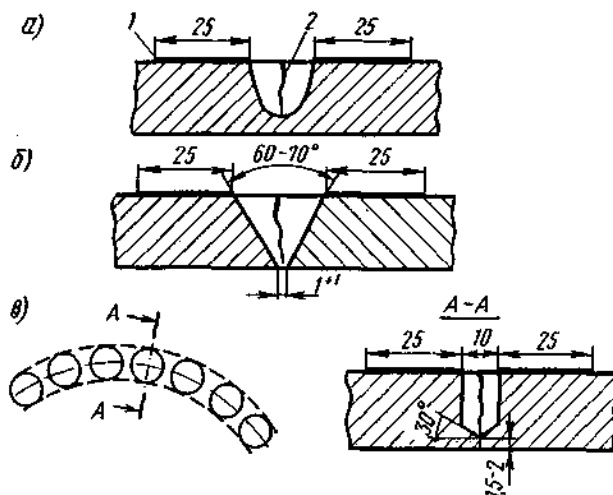


Рис. 1. Форми та способи розробки тріщин під зварювання

*а) U - подібна розробка, стругання газокисневим різакром; б) V – подібна розробка, обробка механічним способом; в) Розробка свердлуванням.
 1 – зона зачистки поверхні кромки; 2 – тріщина*

В останньому випадку рекомендується залишати форму розробки по контуру свердла, щоб забезпечити кращі умови для повного провару у вершини шва. Перед зварюванням виконують зачистку до металевому блиску прилегло до тріщини металу на ширину 25 мм з кожної сторони. Підготовлені до зварювання місця повинні бути перевірені ВТК.

Технологічні особливості зварювання тріщин

Більшість деталей і конструкцій виготовляють з низько- і середньовуглецевих та низьколегованих сталей, а найбільш поширеним способом ремонту зварюванням є ручне дугове зварювання покритим електродом.

Для зварювання тріщин, як правило, застосовують штучні електроди типу Э42А-Ф або Э50А-Ф (ГОСТ 9467—60), які перед зварюванням обов'язково прокалюють в сушильній шафі при температурі 350°С на протязі 1г. Такі електроди забезпечують високі механічні властивості металу шва, що обумовлено значно більшим опором утворенню кристалізаційних (гарячих) тріщин, а також втомі та крихкому руйнуванню.

Основною вимогою до ремонтного зварювання тріщини є забезпечення гарантованого наскрізного провару тріщини. Непровар тріщини, що залишився після її зварювання, є сильним концентратором напружень, який обов'язково спровокує повторне утворення тріщин, особливо, при експлуатації деталі чи конструкції в умовах динамічних навантажень.

Для зниження рівня залишкових і реактивних напружень в з'єднанні тріщину заварюють в напрямку від технологічних отворів на її кінцях до середини тріщини почергово з кожної сторони ділянками довжиною до 100мм. Тріщини, що вийшли на кромку металу деталі або конструкції, зварюють в напрямку від кінця тріщини до кромки. Тріщини довжиною більше 250 - 300мм зварюють зворотно – ступінчатим методом ділянками довжиною до 150мм.

Місцеве чи загальне перевищення однієї кромки тріщини над другою не повинно становити більше 10% від товщини основного металу. В іншому випадку виконують рихтування або гаряче правлення металу кромки тріщини. Після цього, при необхідності, фіксують положення кромки за допомогою складально - зварювальних пристосувань або прихваток. Переріз прихваток не повинен перевищувати 1/3 перерізу шва для забезпечення переварювання прихваток при виконанні зварного шва.

Для гарантованого наскрізного провару тріщини після зварювання рекомендується, при технічній можливості, виконати підрубку кореня шва з зворотної сторони до повного видалення не проварів та шлакових включень, тобто до чистого металу. Після цього виконують підварочний шов.

При заварюванні тріщини різниця по висоті і ширині шва в різних перерізах не повинна перевищувати 2мм для металу середньої товщини. У випадку заварювання технологічних отворів на кінцях тріщини, а також зварювання всього ремонтного шва припустиме збільшення ширини на 4мм порівняно з шириною стандартного шва на металі такої ж товщини. Обов'язковою умовою виконання ремонтного шва є плавний перехід від одного перерізу шва до другого, відсутність ступінчатих змін геометричних характеристик шва.

Зварювання тріщин в деталях і конструкціях з товщиною металу більше 8мм, як правило, виконують в декілька шарів. При цьому перед виконанням наступного шару поверхня попереднього шару повинна бути ретельно очищена від шлакової корки.

Для зниження залишкових і реактивних напружень бажано перший шар виконувати після попереднього підігріву до 200—250°C, якщо нема вказівок про застосування більш високих температур, розробки тріщини і прилеглого до неї металу шириною не менше 50мм з кожної сторони тріщини. Нагрів тільки поверхні кромки не дає помітного ефекту. Якщо інші шари виконують безпосередньо за першим і безперервно до повного зварювання тріщини, то зварювання кожного наступного шару здійснюється в умовах достатнього підігріву його теплом от попереднього.

При перерві між накладанням окремих шарів достатнім для їх охолодження нижче 200°C, необхідно перед продовженням зварювання знову виконати підігрів до 200—250°C.

Якщо тріщину розробляють газовим пальником для поверхневого кисневого різання і після цього виконують зварювання тріщини, то при довжині тріщи-

ни не більше 150 - 180мм попередній підігрів перед виконанням першого шару не потрібен. Температуру нагрітої поверхні контролюють термоолівцями, термопарами контактної дії та іншими засобами.

Попередній підігрів до 200 - 250°C в декілька разів знижує реактивні напруження, що обумовлює підвищення опору втомі і, особливо, опору крихкому руйнування. У випадку зварювання тріщин в сталях з підвищеним вмістом вуглецю попередній підігрів дозволяє різко знизити твердість в навколошовній зоні. Наприклад, для сталі з вмістом вуглецю 0,25% твердість навколошовної зони після зварювання тріщини без попереднього підігріву складає *HV450*, а з попереднім підігрівом - *HV250*.

Для забезпечення повного провару наскрізної тріщини необхідно там, де це можливо, здійснювати двостороннє зварювання або зварювання на підкладці, що залишається.

Зварювання тріщин можливо виконувати в нижньому і вертикальному положенні. В нижньому положенні отримують шов з більш рівною поверхнею і плавним її переходом на границі з основним металом, крім того, імовірність утворення підрізів мала. Однак, зварювання тріщин в вертикальному положенні дає можливість отримати більше проплавлення кромки, особливо у вершині розробки.

Тому в тих випадках, коли при односторонньому зварюванні наскрізної тріщини намагаються звести непровар до мінімуму, доцільно зварювання виконувати у вертикальному положенні. Отримання мінімального непровару важливіше, ніж утворення при зварюванні тріщини плавної, без підрізів поверхні шва. Непровар є найбільш різким концентратором напружень, який більше всього знижує опір втомі зварного з'єднання, а підвищена опуклість шва і піддрізи можуть бути ліквідовані механічною обробкою та іншими способами.

Шви, що зварюють у горизонтальному положенні на вертикальній площині і в стельовому положенні, відрізняються значно гіршою якістю. Тому зварювання тріщин в цих положеннях шва, як правило, не допускається. Як виключення, коли зварювання в нижньому і вертикальному положеннях неможливе, може бути дозволено застосування зварювання в горизонтальному і стельовому положеннях при умові виконання її найбільш кваліфікованим зварником з числа допущених до виконання відповідальних зварювальних робіт.

Для отримання найкращого провару по перерізу наскрізної тріщини слідє перший шар – корінь шва і зворотний валик при двосторонньому зварюванні виконувати електродом діаметром 3мм, що забезпечує найкраще розплавлення кромки; інші шари можливо зварювати електродами діаметром 4 и 5мм.

Ненаскрізні тріщини с U-подібною розробкою можливо зварювати у всіх шарах електродами діаметром 4 и 5мм, тому що така форма розробки забезпечує достатньо хороший провар кореня шва.

У випадку, коли шов завареної тріщини в подальшому перекривають накладкою, підсилення шва зачищають до рівня основного металу для забезпечення щільного прилягання накладки. Виявлені при цьому дефекти усувають термічними методами або вирубкою, після чого ці місця заварюють знову та зачищають. Повністю підготовлений шов завареної тріщини до перекриття накладкою підсилення повинен бути перевірений ультразвуковою дефектоскопією. Знайдені при цьому неприпустимі дефекти повинні бути усунені.

Підсилення ушкоджених місць

При заварюванні тріщин з отриманням гарантованого повного провару і форми шва, що відповідає вимогам стандартів або креслень виробника, в місці пошкодження по суті відновлюється конструктивна міцність. Тому ремонтне зварювання тріщини в такий спосіб є достатнім для відновлення деталі або конструкції і подальшої нормальної експлуатації відповідно до технічних умов виробника.

При ремонті зварюванням пошкоджень, які виникли внаслідок недостатньої первісної міцності деталі або конструкції, для забезпечення подальшої експлуатації виробу без повторних пошкоджень дефектне місце після зварювання тріщини обов'язково необхідно підсилювати.

Обов'язковому підсиленню також підлягають заварені тріщини у випадку відсутності гарантії повного провару в з'єднанні. Винятком є тільки такі дефектні місця, в яких підсиленню зашкоджують конструктивні особливості в місці пошкодження. В цьому випадку зварювання тріщини повинно виконуватися найбільш кваліфікованим зварником з особливою ретельністю.

Підсилення ушкоджених місць можна умовно розділити на технологічне і конструктивне. До технологічного підсилення з'єднання відносять аргонодугове оплавлення підсилення шва для утворення плавного переходу шва до поверхні основного металу, поверхнєве пластичне деформування шва проковкою та інші методи, які забезпечують підвищення опору крихкому руйнуванню і втомі.

До конструктивного підсилення з'єднання відносять підсилення пошкоджених місць за рахунок зміни конструкції і розмірів, що здійснюють за допомогою підсилюючих накладок, ребер жорсткості, косинок, інших конструктивних елементів різноманітної форми і різної товщини.

Конструктивне підсилення може бути простим, з однієї деталі, і складним, що складається з декількох деталей, як показано на рис. 2. Підсилюються, як правило, пошкоджені місця з завареними тріщинами. Однак, в деяких випадках конструктивне підсилення деталі або конструкції виконують в якості профілактичного заходу для місць імовірного утворення в них тріщин, які визначені на підставі накопиченого досвіду експлуатації виробів.

Найбільш поширене конструктивне підсилення – встановлення накладки, яка перекриває заварену тріщину і приварюється до пошкодженого місця деталі або несучого елемента конструкції. Лобові, розташовані поперечно дії основного силового потоку, і косі кутові шви, якими приварюється підсилююча накладка, а також ділянки металу безпосередньо прилеглі до шву, піддають проковці для підвищення опору втомі.

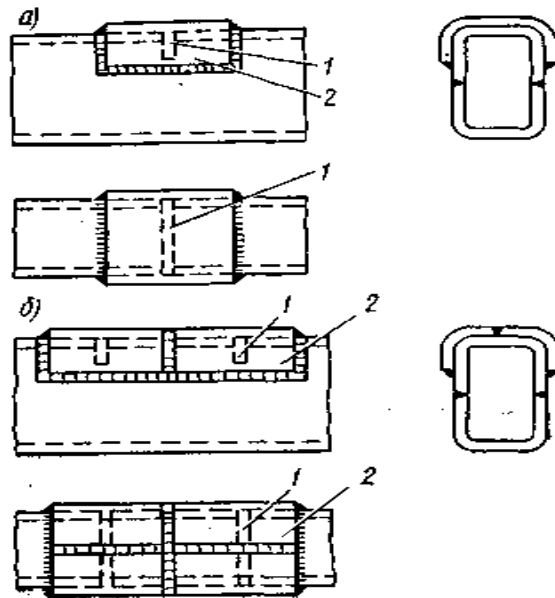


Рис. 2. Схеми конструктивних підсилень після зварювання тріщини
1- заварена тріщина; 2 - накладка

Конструктивне підсилення повинно мати таку форму і розміри, щоб при зварюванні його з місцем, яке підсилюється, в ньому не виникало зосередження декілька швів на обмеженій площі. При цьому проміжок L основного металу (рис. 3) між зварними кутовими швами, розташованими нормально до силовому потоку, або косими кутовими швами повинен бути не менше 50 мм.

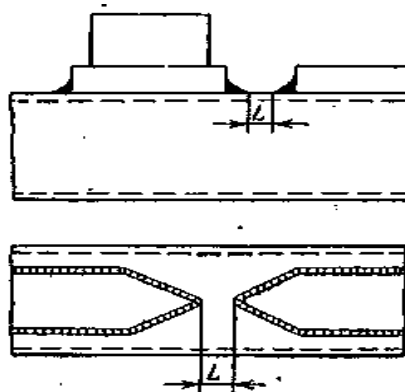


Рис.3. Розташування двох кутових швів при приварюванні накладки

Вимога дотримання певної відстані між двома кутовим швами пояснюється тим, що при меншому значенні L спостерігається зниження опору втомі подібного зварного з'єднання. При $L = 50$ мм і більше вплив близького розташування шва на опір втомі з'єднання незначний. При неможливості виконання цієї вимоги зварні шви та проміжок основного металу між ними повинні бути оброблені поверхневим деформуванням – наклепом.

Конструктивне підсилення, що приварюється кутовими швами, рекомендується приварювати по всьому контуру підсилення (див. рис. 2). Виконання в цьому випадку тільки флангових (повздожжніх) швів неприпустимо тому, що це визиває зниження опору втомі зварного з'єднання.

Для підвищення міцності на втому ремонтного зварного з'єднання лобові та косі кутові шви, що приєднують підсилення, повинні мати ввігнуту форму поверхні з плавним переходом до основному металу. Лобові і косі кутові шви рекомендують виконувати з відношенням більшого катета до меншого від 1,5 до 2. При цьому більший катет повинен бути направлений вздовж зусилля, яке сприймається цими швами.

Надання кутовим швам ввігнутого профілю та плавного переходу до основному металу, а також виконання стикових швів без підсилення, якщо це передбачено кресленнями розробника, повинно, як правило, виконуватись підбором режимів зварювання і відповідним розташуванням зварного з'єднання. При необхідності застосовується обробка швів механічним або аргонодуговим способом.

Накладки підсилення повинні виготовлятися з тих же марок стали, що і деталі і елементи конструкцій, які підсилюють, або з заміників цих сталей, вказаних на кресленнях і інструктивних вказівках. Накладки повинні виготовлятися таким чином, щоб при встановленні їх на місце, яке підсилюють, напрямок прокатки в накладках співпадав з напрямком дії основного силового потоку.

Для отримання високих механічних властивостей деталей підсилення та виключення появи в них тріщин при виготовленні або експлуатації операції згинання, штамповки, кування при їх виготовленні повинні здійснюватися в гарячому стані після нагрівання до $900\text{—}1100^\circ\text{C}$ (від вишневого до помаранчевого кольору гартування) і зупинятися при температурі 750°C (червоний колір гартування).

Знайдені в деталях підсилення викривлення, що перевищують припустимі відхилення від заданих розмірів, виправляють холодним і гарячим правленням. Холодну правку можна здійснювати, якщо максимальні величини залишкових деформацій деталей підсилення не перевищують 1%. При деформаціях більше 1% допускається тільки гаряча правка з виконанням операцій нагріву, викладених вище.

Підготовка кромek деталей конструктивного підсилення під зварювання може виконуватися механічним способом і термічним різанням. Нерівності різа

(шорсткості) не повинні перевищувати 1 мм. Виправлення кромки після плазмового і газового різання шляхом підварювання кромки не допускається. Виправлення та зачистку кромки слід виконувати абразивним інструментом так, щоб риски при обробці були направлені вздовж кромки. Вільні кромки повинні піддаватися механічній обробці. У підсиленні, що працює на розтягування, вільні кромки, утворені різанням ножицями, повинні бути механічно оброблені – струганням, фрезеруванням т. п.

Деталі конструктивного підсилення перед встановленням під зварювання мають бути сухі, очищені від бруду, іржі, масла, консервантів. Зварювані кромки і прилеглі до них зони металу шириною не менше 25 мм перед встановленням повинні бути зачищені до металевих блиску.

Перед складанням під зварювання деталі підсилення повинні бути попередньо перевірені. Прилягання підсилюючої накладки до деталі або елемента конструкції, які підсилюють, повинно бути щільним. Допускаються лише місцеві зазори, величина яких не перевищує 1,5 мм. Постановка додаткових елементів в зазор більшої величини з метою його заварювання категорично заборонено більшістю нормативних документів з ремонтного зварювання.

Для забезпечення цих вимог слід застосовувати спеціальні складально-зварювальні пристосування. Складене в пристосуванні конструктивне підсилення з елементом конструкції, як правило, фіксують прихватками в місцях розташування основних швів. Розміри прихваток повинні бути мінімальними, не більше 1/3 перерізу шва і забезпечувати розплавлення їх при накладанні основних швів. Прихватки виконують тими ж зварювальними матеріалами, що і при зварюванні основних швів підсилення.

Необхідно, щоб очистка, складання елементів і зварювання здійснювались без суттєвих перерв. Після перевірки правильності їх складання з елементом, що підсилюється, і приймання майстром зварюють підсилення. Кутові шви підсилення з низьковуглецевих і низьколегованих сталей зварюють найчастіше ручним дуговим зварюванням електродами типу Э42А-Ф або Э50А-Ф, порошковими і суцільними електродними дротами в захисному газі чи без захисту (при використанні самозахистних дротів), що забезпечують отримання в шві металу потрібного хімічного складу і механічних властивостей.

Для запобігання високого рівня реактивних напружень рекомендується наступна послідовність виконання швів:

- зварювання у вільному стані стикових швів, розташованих перпендикулярно силовому потоку;
- зварювання інших стикових швів;
- зварювання кутових швів – спочатку поперечних, потім косих і повздовжніх кутових швів.

Техніку виконання кожного окремого шва – безперервне зварювання зразу всього шва, зварювання гіркою, зворотно – поступове зварювання та ін., обирають з метою мінімізації рівня напружень і залишкових деформацій.

Накладання швів поверх прихваток дозволяється виконувати тільки після ретельного очищення останніх від шлаку. При цьому забороняється запалювати дугу на основному металі за межами границь шва і виводити кратер на основний метал. Режимми приварювання підсилення повинні забезпечувати отримання швів з розмірами, передбаченими в кресленнях підсилення, і мінімальними деформаціями деталей та вузлів, що підсилюються.

Зміст технологічного процесу ремонту зварюванням

Послідовність технологічних операцій ремонтного зварювання дефектного місця деталі або конструкції тобто зміст (схему) техпроцесу ремонту зварюванням відображають в технологічній документації. Дотримання визначеної послідовності операцій, зварювальних матеріалів, способів зварювання і параметрів режиму є обов'язковим.

В картах технологічного процесу ремонтного зварювання вказують:

- способи розробки кромки тріщини, форму і геометричні параметри та допуски розробки її кромки;
- форму і розміри елементів підсилення з урахуванням припусків на усадку при виконанні зварювання;
- способи різання, згинання, штампування та інші операції, що застосовуються при виготовленні деталей підсилення;
- форму, розміри і допуски та способи розробки кромки елементів підсилення, що приварюють до дефектного місця;
- обладнання, пристосування та інструмент, необхідні для виконання заготовельних робіт по підготовці тріщини і підсилення;
- складально – зварювальні пристосування для забезпечення конструктивного підсилення, що відповідає формі і розмірам згідно кресленню;
- послідовність складально – зварювальних робіт при встановленні елементів підсилення;
- місця, розміри, послідовність і спосіб постановки прихваток на тріщину та при фіксуванні положення конструктивного підсилення;
- тип, марки і діаметри покритих електродів або електродного дроту, вид захисного газу, марки флюсів;
- способи зварювання і параметри режимів, кількість, послідовність та техніка виконання окремих швів;
- необхідність застосування та температури попереднього і супутнього підігріву ремонтних зварних з'єднань;
- способи механічної і термічної післязварювальної обробки зварних з'єднань для підвищення їх опору втомі і крихкому руйнуванню;

– способи контролю якості зварного з'єднання, послідовність виконання операцій контролю, вимірювальний інструмент і пристрої.

Дотримання призначеного технологічного процесу повинно постійно контролюватися на всіх етапах його здійснення. В протилежному випадку забезпечити гарантовану якість ремонту зварюванням неможливо.

Вимоги до якості ремонтних зварних з'єднань

Відремонтвані зварюванням деталі і конструкції повинні мати міцність і надійність на весь послідовний термін їх експлуатації. Тому до якості ремонту зварюванням повинні пред'являтися такі ж вимоги, як і до зварних з'єднань при виготовленні виробів.

В зв'язку з цим зварні шви заварених тріщин і підсилень повинні задовольняти наступним вимогам: мати форму і розміри, що відповідають відповідним вказівкам робочих креслень, нормалей і стандартів; не мати пороків у виді тріщин, напливів, прожогів, незаварених кратерів, а також пор, шлакових включень і подрізів, що виходять за межі допусків, вказаних нижче.

В стикових і кутових швах, що працюють на розтягування або відрив, а також в усіх швах заварених тріщин, за винятком вакуумнощільних і корозійностійких швів, допускаються одиничні дефекти діаметром не більше 1 мм для металу товщиною до 20 мм і не більше 5% товщини для металу товщиною вище 20 мм в кількості до двох дефектів на ділянці шва довжиною 200 мм при відстані між дефектами не менше 45 мм.

В стикових і кутових швах, що працюють на стиснення, допускаються одиничні дефекти діаметром не більше 2 мм в кількості до 6 дефектів на ділянці шва довжиною 400 мм при відстані між дефектами не менше 10 мм.

Допускаються без виправлення поверхневі пори і шлакові включення, які зосереджені на довжині не більше 10 мм, при відстані між дефектними ділянками не менше 500 мм. Залишаються подрізи, розташовані вздовж напрямку дії силового навантаження, глибиною не більше 0,5 мм, шириною не менше 2 мм при плавному перерізі самого подрізу.

Подрізи більшої глибини або неплавного перерізу видаляють зачисткою, заварюванням або аргонодуговою обробкою. Виправлення зачисткою дозволяється для подрізів глибиною не більше 1,5 мм на металі товщиною до 20 мм і глибиною не більше 8% товщини на металі товщиною більше 20 мм. В протилежному випадку, а також на металі товщиною менше 8 мм, виправлення подрізів допускається аргонодуговою обробкою або заварюванням з послідовним зачищенням шва.

Подрізи, розташовані поперек напрямку дії силового навантаження, не допускаються і повинні виправлятися аргонодуговою обробкою або заварюванням з послідовним зачищенням шва.

Непровари в стикових з'єднаннях з поперечними (або косими) по відношенню до напрямку дії силового навантаження швами не допускаються. Опіки від замикання електродів на поверхні основного металу деталей не допускаються, їх видаляють механічним способом. Для металу товщиною більше 5 мм видалення опіків повинно здійснюватися на глибину не менше 0,3 мм.

Технологічні особливості ремонту зварюванням балок і рам

Для балочних та рамних конструкцій з низьковуглецевих та низьколегованих сталей найбільш характерні наступні види ушкоджень:

- тріщини, суцільний розрив, переломи та надриви листового і профільного металу елементів конструкції;
- корозійне руйнування елементів конструкцій точкового, лінійного або площинного характеру;
- локальне зменшення товщини металу внаслідок тертя при вібрації закріплених на конструкції деталей, вузлів і агрегатів.

Елементи балочних конструкцій з листового і профільного металу (тавр, двотавр, швелер, кутник, тощо) можуть мати повздовжні та поперечні тріщини, на стінці, тріщини і надриви на полках профілю, які виходять, як правило, на край перерізу.

Ремонтне зварювання тріщини виконують за стандартною технологією – кінці тріщини розсвердлюють, розробляють кромки тріщини і заварюють тріщину. До особливостей ремонту балок і рам відноситься заварювання тріщин, які проходять через заклепочні з'єднання. При ремонті зварюванням тріщин заклепочних з'єднань спочатку видаляють заклепки і заварюють утворені отвори. Після цього заварюють всю тріщину і знову розсвердлюють отвори під заклепки. На внутрішній поверхні отворів не повинно бути слідів непровару.

Різниця по ширині і висоті зварного шва в різних перерізах допускається не більше 2 мм при умові плавного переходу от одного перерізу до другого по довжині шва. У випадку заварювання дефектної ділянки шва допускається збільшення ширини на 4 мм відносно вирубаного шва. При заварюванні тріщини по зварному шву кінці її необхідно засвердлити, а раніш наплавлений метал повністю видалити. На вертикальній стінці шов накладають знизу вверху.

Тріщини довжиною більше 300 мм при однопрохідному зварюванні заварюють зворотньоступінчатим способом с довжиною ступені 150 - 200 мм. Тріщини, які виходять на кромку листа або полку профільного металу, заварюють в напрямку від їх кінця до кромки. При цьому, якщо тріщину заварюють зворотньоступінчатим способом, то кожен окрему ступень слідує зварювати в напрямку від кромки до кінця тріщини. Після повного заварювання тріщини підварюють корінь шва с зворотної сторони, попередньо підрубав вершину шва до повного видалення непроварів, шлаку і підтікань.

Після повного заварювання тріщини підварюють корінь шва з зворотної сторони, попередньо підрубав вершину шва до повного видалення непроварів, шлаку і підтікань. Шви зачищають до площини основного металу як зі сторони розробки, так і з зворотної сторони. Місцеві зовнішні виступи в швах, що виникли в місцях підварювання і перекриття окремих ділянок шва, повинні бути зглажені механічною зачисткою до утворення плавних переходів.

Заварювання тріщини, що розташована на одній з полок зварної балки коробчатого перерізу, виконують наступним чином (рис. 4). Розробляють кромки тріщини, засвердлюють отвори і, при необхідності, фіксують тріщину прихватками. Після цього з метою зменшення реактивних напружень в зварному шві при заварюванні тріщини вирубують прилеглих кінцям тріщини 2 ділянки куткових швів 1 довжиною 100 - 150 мм. Потім заварюють тріщину стиковим швом, а після цього – вирубані ділянки куткового шва.

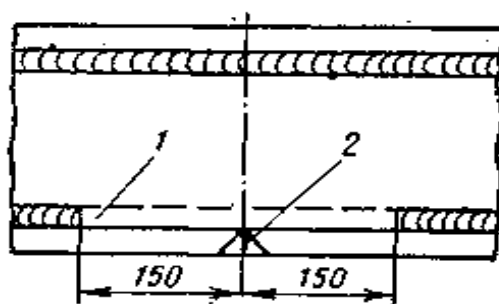


Рис. 4. Схема підготовки до заварювання тріщини в полці зварної балки коробчатого перерізу

Проведені випробування на одиночний удар заварених балок при температурі – мінус 40°C показали, що попередня вирубка прилеглих до тріщини ділянок куткових швів балки довжиною 150 мм дозволяє практично повністю виключити реактивні напруження в стиковому шві.

Заварювання тріщини чи перелому балки або приварку встик двох нових частин балки виконують з послідуєчим підсиленням з двох сторін вигнутою і плоскою накладками, що перекривають стик не менше ніж на 100 мм з кожної сторони (рис. 5, а), або кутниками і плоскою накладкою (рис. 5, б).

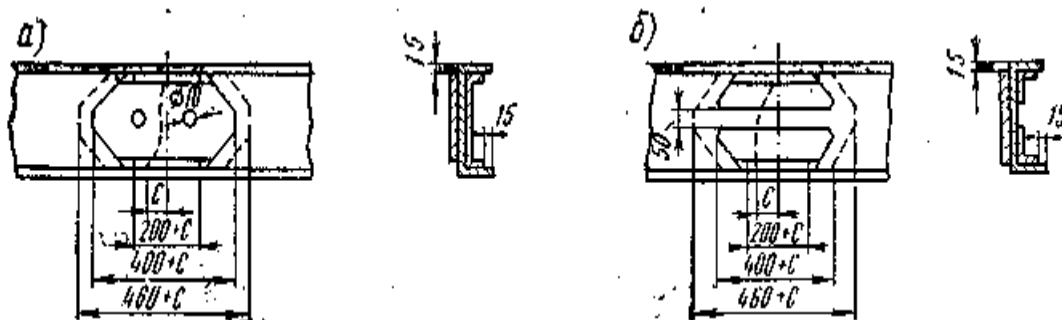


Рис. 5. Конструктивне підсилення при зварюванні переломів або зварного з'єднання швелерів встик

Заварювання тріщин, що утворилися в горизонтальній полиці балки, виконують з підсиленням дефектного місця накладкою з кутника (рис. 6).

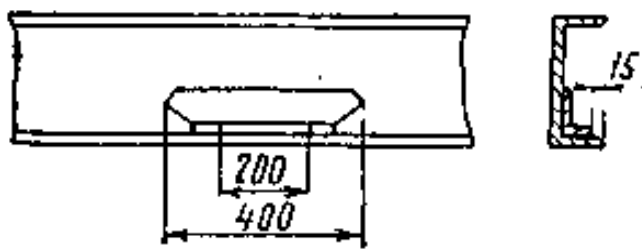


Рис. 6. Підсилення горизонтальної полки з завареною тріщиною

Повздовжні тріщини на вертикальних стінках балок зварюють з послідуєчим підсиленням пласкою накладкою (рис. 7), яка перекриває тріщину на 100 мм з кожної сторони, і обварюванням накладки по периметру зворотноступінчатим способом і постановкою електрозаклепок.

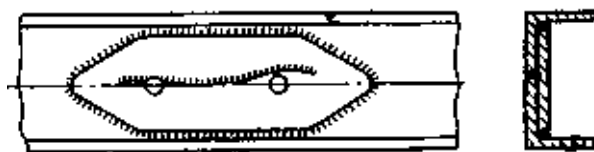


Рис. 7. Підсилення повздовжньої тріщини швелера

Поперечні тріщини, що переходять з горизонтальної полки на вертикальну стінку балки, заварюють з послідуєчим підсиленням вигнутою або двома кутковими накладками (рис. 8). Якщо накладка 1 (рис. 9) товщиною a має розміри більше 300×200 мм, то для щільного прилягання її до дефектного місця необхідно поставити електрозаклепки 2 на відстані 150 - 200 мм одна від одної.

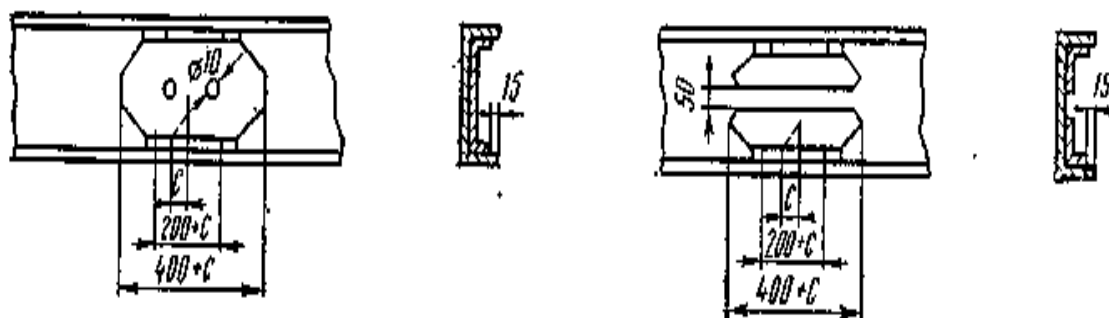


Рис. 8. Підсилення швелера після заварювання поперечних і похилих тріщин, що переходять з полки на вертикальну стінку

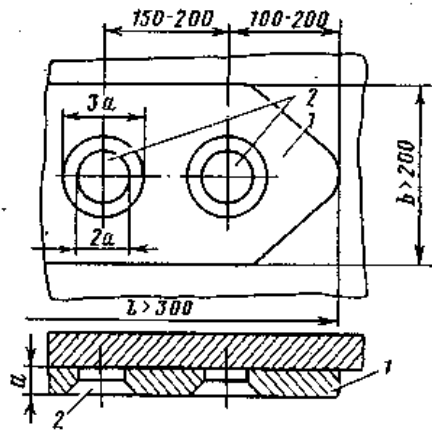


Рис. 9. Укріплення накладки електрозаклепками

Ремонтне зварювання деталей і конструкцій з чавуну

В сучасному машино- і верстатобудуванні, енергетиці, металургії, автомобілебудуванні та інших галузях промисловості чавун є одним з основних конструкційних матеріалів. Зварювання чавуну широко застосовується головним чином при ремонті чавунних деталей і конструкцій, для усунення дефектів лиття з чавуну і в меншій мірі при виготовленні зварно-литих конструкцій.

При ремонтному зварюванні чавуну до якості з'єднань пред'являють різні вимоги - від декоративного заварювання зовнішніх дефектів лиття до отримання зварних з'єднань, рівномірних з основним металом. Це обумовило створення великої кількості зварювальних матеріалів і способів зварювання чавуну.

Заходи підвищення якості зварних з'єднань чавуну

Нагрівання при зварюванні і послідує охолодження настільки змінюють структуру і властивості чавуну в зоні розплавлення та навколошовній зоні (НШЗ), що отримати зварні з'єднання без дефектів з необхідним рівнем властивостей достатньо складно. В зв'язку з цим чавун відноситься до матеріалів, які мають погану технологічну здатність до зварювання. Незважаючи на це, ремонтне зварювання чавуну має великий попит, а обсяги його застосування в Україні постійно зростають.

Якісно виконане ремонтне зварне з'єднання повинно мати необхідний рівень механічних властивостей, щільність (герметичність) та задовільну здатність до механічної обробки, мінімальну зону термічного впливу. Залежно від умов роботи зварного з'єднання до нього можуть пред'являтися і специфічні вимоги, наприклад, жаростійкість, однорідність наплавленого й основного металу деталі по хімічному складі і структурі, тощо.

Причини, які ускладнюють отримання якісних зварних з'єднань з чавуну, наступні:

1. Високі швидкості охолодження металу шва і зони термічного впливу, які відповідають термічному циклу зварювання, приводять до відбілення чавуну, тобто. появи ділянок з виділенням цементиту тої або іншої форми в різній кількості. Висока твердість відбілених ділянок практично лишає можливості обробляти чавуни ріжучим інструментом.

2. Внаслідок місцевого нерівномірного нагрівання металу виникають зварювальні напруження, які в зв'язку з дуже незначною пластичністю чавуна приводять до утворення тріщин в шві і НШЗ. Наявність відбілених ділянок, які мають більшу щільність ($7,4...7,7 \text{ г/см}^3$) ніж сірий чавун ($6,9...7,3 \text{ г/см}^3$), створює додаткові структурні напруження, що сприяють утворенню тріщин в металі.

3. Інтенсивне газовиділення з зварювальної ванни, яке продовжується і на стадії кристалізації, може приводити до утворення пор в металі шва.

4. Підвищена рідкотекучість чавуну ускладнює утримання розплавленого металу зварювальної ванни від витікання і формування шва.

5. Наявність кремнію, а іноді і інших елементів в металі зварювальної ванни сприяє утворенню на її поверхні тугоплавких окислів, які приводять до виникнення непроварів.

Вплив швидкості охолодження на структуру металу шва і навколошовної зони може характеризувати схема, представлена на рис. 10.

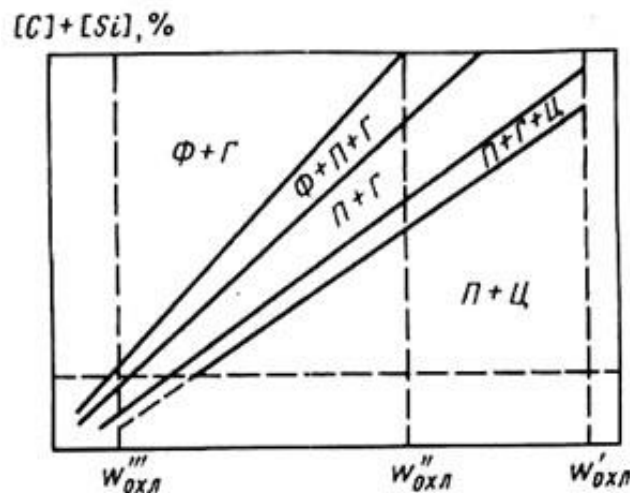


Рис. 10. Вплив швидкості охолодження на структуру металу шва і навколошовної зони

У випадку низьких швидкостей охолодження в чавунному шві і ділянці НШЗ може бути забезпечено зберігання структури сірого чавуну. Найбільше значення швидкості охолодження металу шва (рис. 10) і високотемпературна ділянка зони термічного впливу при евтектичній температурі $W'_{охл}$ має місце при зварюванні чавуну без попереднього підігріву. В цьому випадку практично при будь-якому складі чавуну в шві і високотемпературній ділянці НШЗ буде мати місце відбілювання.

Зварювання чавуну с попереднім підігрівом до 300...400°C зменшує швидкість охолодження ($W''_{\text{охл}}$, див. рис. 10). При такій швидкості охолодження в шві і на ділянці навколошовної зони, в залежності від кількості графітізаторів, може бути отриманий білий або сірий чавун.

При високій температурі підігріву до 600...650°C швидкість охолодження при евтектичній температурі знижується до $W'''_{\text{охл}}$, при якій відбілювання не відбувається. Уповільнення охолодження приводить до розпаду аустеніту з утворенням феритної або перлітно-феритної металевої основи.

Таким чином, найбільш ефективний захід попередження відбілювання металу шва і високотемпературної ділянки НШЗ, а також різкого загартування на ділянці навколошовної зони, що нагрівається вище температури A_{C3} , – високий попередній або супутній підігрів чавуну до температури 600...650°C. Зварювання з таким підігрівом називають гарячим зварюванням чавуну.

Високий підігрів і уповільнене охолодження сприяють також попередженню утворення тріщин і пористості за рахунок зростання часу існування рідкої ванни та кращій її дегазації, а також зменшенню температурного градієнта і термічних напружень.

Зварювання з підігрівом до температур 300...400°C називають напівгарячим, а без попереднього підігріву – холодним зварюванням чавуну. При напівгарячому і холодному зварюванні чавуну широко застосовують металургійні і технологічні заходи дії на метал шва з метою підвищення якості зварних з'єднань. До їх числа відносяться:

- легування наплавленого металу елементами - графітізаторами з тим, щоб при даній швидкості охолодження отримати в шві структуру сірого чавуну;
- легування наплавленого металу такими елементами, які дозволяють отримати в шві перлітно-феритну структуру, характерну для низьковуглецевої сталі, шляхом зв'язування надлишкового вуглецю у карбіди, більш міцні, ніж цементит, і рівномірно розподілені у металі;
- введення у склад зварювальних матеріалів кисневовміщуючих компонентів з метою максимального окислення вуглецю (випалювання його) та отримання в металі шва низьковуглецевої сталі;
- застосування зварювальних матеріалів, які забезпечують в наплавленому металі отримання різних сплавів кольорових металів – мідно-нікелевих, мідно-залізних, залізо-нікелевих та ін., що мають високу пластичність і температуру плавлення, яка наближається до температури плавлення чавуну.

Структура чавуну має великий вплив на його здатність до зварювання. Добре зварюються чавуни зі світлою дрібнозернистою перлітною структурою, що містять дрібнопластинчатий або глобулярний графіт, гірше – з перлітно-феритною структурою і вкрапленням графіту малих і середніх розмірів. Значно гірше зварюються феритні чавуни з великим виділенням графіту.

Товщина металу складних чавунних деталей, наприклад блоків картерів і голівок циліндрів двигунів внутрішнього згорання, задніх мостів і корпусів коробок перемикачів передач у різних частинах цих деталей неоднакова. Частини злитків з більшою поверхнею охолодження і малою товщиною стінки мають дрібнозернисту перлітну структуру, а великі частини деталі, розташовані в середині виробу, охолоджуються повільно і здобувають перлітно-феритну структуру з великим виділенням графіту.

Таким чином, під час нагрівання й охолодження чавуна при зварюванні в ньому відбуваються різні процеси і структурні перетворення, що мають важливе значення для його властивостей і впливають на вибір способу зварювання.

Гаряче зварювання чавуну

Попередній підігрів деталей і конструкцій з чавуну є, як показано вище, важливою технологічною операцією. Температура попереднього підігріву залежить від розмірів і жорсткості деталі, способів зварювання, об'єму наплавленого металу та інших факторів.

Розрізняють гаряче зварювання чавуну (з підігрівом до 600...650°C), напів-гаряче зварювання або зварювання з невеликим підігрівом, не вище 300...400°C, і холодне зварювання чавуну без попереднього підігріву.

Найбільш радикальним заходом боротьби з утворенням відбілених та загартованих ділянок шва і навколошовної зони, виникненням пор і тріщин є гаряче зварювання чавуну та повільне охолодження шва і НИЗ після зварювання. Технологічний процес гарячого зварювання складається з наступних етапів:

- підготовка дефектного місця виробу під зварювання;
- попередній підігрів до температури 600...650°C;
- безпосередньо зварювання дефекту, що виправляється;
- повільне послідує охолодження з'єднання.

Підготовка під гаряче зварювання залежить від виду дефекту деталі або конструкції – тріщини, відколу або недоливу металу. Однак, у всіх випадках підготовка дефектного місця полягає в ретельному очищенні від забруднень і в розробці кромки для утворення порожнини, яка забезпечує доступність для маніпулювання електродом і дії зварювальної дуги.

Для попередження витікання рідкотекучого металу зварювальної ванни, а в ряді випадків для надання наплавленому металу відповідної форми, місце зварювання формують. Формовку виконують в залежності від розмірів і місця розташування дефекту за допомогою графітових пластинок та формувальної маси, яка складається з кварцового піску, замішаного на рідкому склі, або інших формувальних матеріалів, що використовуються для лиття чавуну (рис. 11).

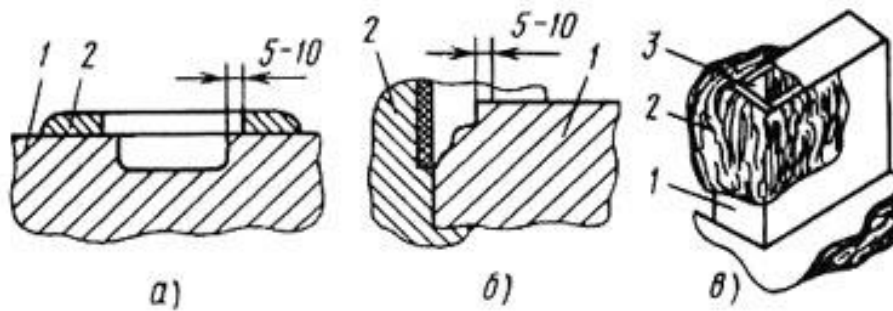


Рис. 2 Формовка дефектного місця для гарячого зварювання чавуну
а - ненаскрізна раковина; б - недолив кромки деталі, з облицюванням порожнини графітовими пластинами; в - загальний вид дефекту після формування;
1 - деталь; 2 - формовка; 3 - графітові пластини

Після формовки необхідно просушити форму шляхом поступового підйому температури від 60 до 120°C. Потім проводять подальший нагрів під зварювання з швидкістю не більше 120...150°C/г в печах, горнах або тимчасових нагрівальних пристроях. Уповільнене охолодження після зварювання досягається при накриванні виробів шаром теплоізолюючого матеріалу – листами азбесту, засипкою піском, шлаком, дерев'яним вугіллям, тощо або при охолодженні разом з піччю, горнами.

Під час зварювання температуру дефектного місця деталі підтримують не нижче 500°C, що затримує охолодження зварювальної ванни і тим самим сприяє утриманню великого обсягу металу у ванні в рідкому стані. Це забезпечує вирівнювання складу металу ванни і його повну графітизацію при застиганні.

Крім того, підігрів звільняє деталь або конструкції, що зварюються, від внутрішніх напружень ливарного й експлуатаційного характеру, попереджає появу зварювальних напружень і запобігає утворенню тріщин. У деяких випадках для деталей, що мають велику твердість і складну конфігурацію, наприклад, голівок блоків циліндрів дизельних двигунів, корпусів редукторів, тощо, при зварюванні обов'язкове загальне нагрівання.

Способи нагріву і нагрівальні пристрої застосовують в залежності від характеру виробництва – усунення дефектів лиття, ремонтне зварювання і т.п. Наприклад, при масовому виробництві в ливарних цехах доцільно застосовувати конвеєрні печі. Для ремонтних робіт зручно використовувати нагрів у муфельних печах або в горнах з відкритим кожухом. Для разових ремонтних робіт великогабаритних виробів виготовляють тимчасові нагрівальні пристрої з вогнетривкої цегли, в тому числі печі - ями в земляній підлозі цеху.

Гаряче зварювання чавуну виконують без перерв до повного заварювання дефекту. При великих об'ємах дефекту, що заварюється, зварювання виконують два зварника, які працюють почергово. Охолодження заварених чавунних виробів залежно від їх маси і форми продовжується від декількох годин до декількох діб.

Гаряче зварювання чавуну застосовують при ремонті дефектів деталей і конструкцій, до яких пред'являють вимогу однорідності наплавленого металу з основним або отримання в наплавленому металі чавуну з заданими властивостями – феритно-перлітного, перлітного, високоміцного чавуну з сфероподібним графітом. Зварювальні процеси стосовно чавунів різних класів суттєво не змінюються. Отримання чавуну з заданою структурою і властивостями досягається застосуванням відповідних зварювальних матеріалів.

Вибором відповідних зварювальних і присадкових матеріалів, а також способів зварювання можливо отримати наплавлений метал в вигляді не тільки чавуну з заданими властивостями, а і вуглецевої та високолегованої сталі, сплавів з високим вмістом міді, нікелю та ін., що в найбільшій мірі відповідають характеру дефекту, який заварюється і експлуатаційному призначенню виробу.

Зварювальні матеріали класифікують з урахуванням якісних характеристик наплавленого металу, технологічних ознак застосування, показників технологічності при виправленні певних груп дефектів та економічних показників. Для зручності оцінки зварювальні матеріали розділяють на дві великі групи:

- матеріали, що забезпечують отримання в наплавленому металі чавуну;
- матеріали, що забезпечують отримання в наплавленому металі сталі або сплавів з високим вмістом кольорових металів (міді, нікелю та ін).

Для гарячого зварювання чавуну дуговим і газовим методами застосовують зварювальні і присадкові матеріали першої групи – чавунні литі прутки, чавунні електроди і порошкові дроти, які мають свої раціональні області застосування при ремонті деталей і конструкцій зварюванням:

- прутки присадкові чавунні $\varnothing 10 - 12$ мм - для газового зварювання при виправленні дефектів невеликих і середніх розмірів;
- прутки присадкові чавунні $\varnothing 6 - 8$ мм - для газового низькотемпературного паяння-зварювання при виправленні дефектів невеликих розмірів;
- прутки чавунні $\varnothing 8 - 12$ мм, в деяких випадках до 16 мм, - для виготовлення покритих електродів для дугового зварювання при виправленні дефектів великих і дуже великих розмірів;
- порошкові дроти $\varnothing 3 - 5,5$ мм - для дугового механізованого зварювання при виправленні дефектів великих і дуже великих розмірів.

Для виготовлення присадкових прутків і стрижней покритих електродів поширено використовують чавун марок А або Б (табл. 1).

Табл. 1. Склад чавунних присадкових прутків і електродних стрижней, %

Марка	<i>C</i>	<i>Si</i>	<i>Mn</i>	<i>Cr</i>	<i>Ni</i>	<i>P</i>	<i>S</i>	Призначення
А	3.0 – 3.5	3.0 – 3.4	0.5 – 0.8	До 0.05	До 0.3	0.2 – 0.4	До 0.08	Для гарячого зварювання
Б		3.5 – 4.0				0.3 – 0.5		Для гарячого і напівгарячого зварювання

Стрижні отримують відливкою в кокіль та іншими способами. У склад покриття, що наноситься на литі стрижні, входять стабілізуючі і легуючі матеріали. В якості останніх використовують графіт, карборунд, ферросиліцій, силікокальцій, силікомагній та інші елементи – графітізатори.

Умовам отримання феритної і феритно-перлітної структури наплавленого металу відповідають зварювальні матеріали, що мають високий вміст графітізаторів вуглецю, кремнію, кальцію, які вводять у вигляді феросплавів, карбіду кремнію та ін. До них відносять прутки чавунні (ГОСТ 2671-70) для газового зварювання і стрижні для виготовлення електродів; прутки чавунні ПЧ1 (завод «Станколіт»), а також порошкові дроти ПП-АНЧ-2, ПП-АНЧ-3 (ИЕЗ ім. Є. О. Патона), ППЧ-3 («Станколіт»), ППСВ-7 (ВНДІ «Компресор»), ППСЧ-19 и ППСЧ-6Ф (ВПТІ «Стройбудмаш») та ін.

При дуговому гарячому зварюванні кількість феритної фази складає 40 - 60%. Вуглець кристалізується з утворенням графіту в кількості, яка перевищує необхідну. Твердість і здатність до механічної обробки наплавленого металу, як правило, задовільні. Показники ж міцності менше межі міцності чавунів типу СЧ 18-21. При газовому заварюванні невеликих дефектів твердість наплавленого металу не має стабільних показників (*НВ 220-260*). Чавун з високим вмістом фериту, отримання якого можуть забезпечити наведені матеріали, непридатний для поверхонь, які піддаються в подальшому поверхневому загартуванню, а також для відливок з високомарочних чавунів, де необхідні максимальне наближення фізико-механічних властивостей наплавленого і основного металу.

Умовам отримання перлітної структури в наплавленому металі відповідають зварювальні матеріали, в яких при підвищеному вмісті вуглецю та пониженому вмісту кремнію введена невелика кількість рідкоземельних металів. До них відносяться прутки чавунні ПЧ-2 (ВНДІ «Літмаш»); прутки чавунні з самофлюсуванням («Станколіт»); електроди чавунні ЭЧ-2 (ВНДІ «Літмаш»); порошковий дріт ППЧ-3М (ВНДІ «Літмаш» і «Станколіт»). При гарячому дуговому і газовому заварюванні кількість фериту складає 5 - 10%, залишок – перліт дрібнопластинчатий і сорбітоподібний. Показники твердості і здатності до механічної обробки - стабільні.

Умовам отримання високоміцного чавуну при гарячому дуговому і газовому зварюванні відповідають прутки чавунні ПВЧ-1, електроди чавунні ЭВЧ-1, порошковий дріт ППВЧ-1 (ВНДІ «Літмаш») і ПП-АНЧ-5 (ИЕЗ ім. Є. О. Патона). Введення у склад зварювальних матеріалів рідкоземельних металів забезпечує зберігання сфероподібної форми графіту в умовах тривалого існування рідкої ванни в процесі зварювання.

Умовам отримання наплавленого металу у вигляді чавуну, що має стабільні показники по структурі, твердості, здатності до обробки і т. п., зварюванням та наплавленням без попереднього (супутнього) підігріву чавуну не відповідає жодна марка чавунних присадкових прутків, електродів і порошкових дротів, яку можна було б рекомендувати в якості базової.

Умовам отримання в наплавленому металі чавуну при низькотемпературному паянні-зварюванні, тобто без розплавлення основного металу, відповідають прутки НЧ-1 і НЧ-2 (ГОСТ 2671-70), а також їх модифікація УНЧ-1 (ВНДІ «Автогенмаш») та прутки ПЧ-2 і ПЧ-3 (ВНДІ «Літмаш» і «Станколіт»).

При виборі зварювальних матеріалів, які входять в першу групу, необхідно враховувати, що централізовано чавунні прутки і чавунні електроди в Україні не виготовляються. Потреба в них задовольняється відомчими ливарними підприємствами. Порошковий дріт виготовляється окремими виробниками невеликими партіями на замовлення.

Електроди з чавунним стрижнем застосовують головним чином для зварювання дефектів лиття. Орієнтовний режим зварювання електродами типу СТЧ-5а, СТЧ-5б, СТФЧ-9, УНЧ-2, ПЧС-1 з чавунним стрижнем діаметром 8 мм складає – сила зварювального струму $I_{зв} = 500 - 700\text{А}$; напруга на дузі $U_d = 35 - 45\text{В}$, струм змінний або постійний зворотної полярності.

Порошкові дроти використовують для зварювання великих дефектів лиття. Орієнтовний режим зварювання сварки проволоками типа ППЧ діаметром 3 мм складає – сила струму $I_{зв} = 350 - 550\text{А}$; напруга $U_d = 25 - 35\text{В}$; швидкість подачі дроту $V_{др} = 100 - 180\text{ м/г}$, струм постійний прямої полярності.

Порошкові дроти ПП-АНЧ-1, ПП-АНЧ-2, ПП-АНЧ-3 застосовують відповідно для холодного зварювання, напівгарячого і гарячого зварювання. При використанні дроту ППСВ-7 зварювання деталей товщиною 6 - 8 мм виконують без підігріву, товщиною 8 - 12 мм з підігрівом до 300 - 400°C, більше 12 мм – до 500 - 600°C. Дріт ПП-АНЧ-5 використовують для зварювання високоміцного чавуну.

Покриті електроди з чавунними стрижнями і порошкові дроти мають порівняно невисоку вартість. В поєднанні з високою продуктивністю це забезпечує відносно низьку вартість наплавленого металу.

Для гарячого зварювання чавуну можна застосовувати дугове зварювання вугільним електродом. По можливості зміни теплової дії на метал зварювання вугільним електродом займає проміжне положення між газовим зварюванням і зварюванням плавким електродом.

Зварювання вугільними електродами діаметром 8 - 20мм виконують на постійному струмі прямої полярності. Діаметр електроду і силу зварювального струму обирають в залежності від товщини металу дефектного місця (табл. 2).

Табл. 2. Режими зварювання вугільним електродом

Товщина металу, мм	Діаметр електроду, мм	Сила струму, А
6 - 10	8 - 10	280 - 350
10 - 20	10 - 12	300 - 400

20 - 30	12 - 16	350 - 500
30 і більше	16 - 20	350 - 600

В якості присадки використовують прутки марок А і Б. Для захисту і розкислення металу зварювальної ванни, переведення тугоплавких окислів в легкоплавкі з'єднання застосовують флюси на борній основі, частіше всього технічну безводну буру, прокалену при температурі 400°C. Під час зварювання слід безперервно підтримувати значний об'єм розплавленого металу в зварювальній ванні та ретельно перемішувати метал кінцем електроду або присадковим стрижнем. Для уповільнення охолодження заварені деталі засипають мілким дерев'яним вугіллям чи сухим піском.

Головними недоліками гарячого зварювання чавуну являються велика трудомісткість процесу і важкі умови праці зварників, особливо при зварюванні масивних виробів покритими і вугільним електродами.

Механізоване зварювання чавуну порошковим дротом є прогресивний спосіб, який значно полегшує працю зварника і збільшує продуктивність, а введені у склад шихти компоненти дозволяють отримувати в шві чавун. Приклад складу порошкового дроту марки ППЧ-3 для гарячого зварювання чавуну і складу наплавленого металу приведений в табл. 3.

Табл. 3 Склад порошкового дроту ППЧ-3 і наплавленого металу, %

Матеріал	C	Si	Al	Ti
ППЧ-3	4,5 – 5,0	3,3 – 4,0	0,1 – 0,3	0,1 – 0,3
Наплавлений метал*	3,0 – 3,8	3,0 – 3,8	До 0,1	До 0,1

*Інше Fe

Гаряче зварювання чавуну дозволяє отримати зварні з'єднання, які рівноцінні основному металу по механічним властивостям, щільності, здатності до механічної обробки, тощо. Водночас гаряче зварювання чавуну це трудомісткий та дорогий процес.

Разом з тим у ряді випадків до зварних з'єднань з чавуну не пред'являють таких вимог. Часто, наприклад, достатньо забезпечити тільки рівномірність або задовільну здатність до механічної обробки чи щільність зварних швів. За допомогою різних металургійних і технологічних заходів можна отримати зварні з'єднання з чавуну з тими чи іншими властивостями при зварюванні з невеликим підігрівом або взагалі без попереднього підігріву, тобто за допомогою напівгарячого або холодного зварювання.

Напівгаряче і холодне зварювання чавуну

Зварювання з отриманням в шві сірого чавуну

Холодне зварювання чавуну електродами позитивного результату не забезпечує тому, що при великих швидкостях охолодження утворюється структура білого чавуну в шві і високотемпературній області навколошовної зони, а також відбувається різке загартування металу ділянок зони термічного впливу, що нагріваються в процесі зварювання вище температури A_{C3} . Деформації, які при цьому виникають, перевищують деформаційну здатність металу шва і НШЗ, в результаті чого утворюються тріщини.

Для попередження відбілювання необхідно забезпечити такий склад металу шва, для якого в цих умовах буде отримана структура сірого чавуну з найбільш сприятливою формою графітних включень. Це може бути досягнуто шляхом введення в наплавлений метал достатньо великої кількості графітізаторів і легування чавуну елементами, що сприяють сфероїдизації карбідів, наприклад, магнієм.

Прикладом таких електродів можуть служити електроди марки ЭМЧ, стрижень яких представляє собою чавун з підвищеним (до 5,2 %) вмістом кремнію, а покриття має два шари: перший шар - легуючий, другий - забезпечує газовий і шлаковий захист. При зварюванні такими електродами чавунних деталей з товщиною стінки до 12 мм без попереднього підігріву вдається отримати шви і навколошовну зону без відбілювання і загартування. Певному уповільненню швидкості охолодження при евтектичній температурі сприяє реакція між залізною окалиною та алюмінієвим порошком, що протікає з виділенням теплоти.

При зварюванні такими електродами масивних деталей, для отримання бездефектних зварних з'єднань, приходиться їх підігрівати до температури 400°C. Для покращення здатності до механічної обробки і деякого підвищення пластичності металу шва застосовують електроди з нікелевих чавунів, наприклад, нірезиста або нікросілалю, склад яких наведений в табл. 4.

Табл. 4. Склад електродних стрижней з нікелевих чавунів, %*

Чавун	C	Ni	Si	Cu	Mn
Нірезист	2,0	29	1,3	7,6	0,4
Нікросілалю	2,0 – 2,3	19 - 22	5,2 – 6,4	- -	0,5

*Інше Fe

Електроди з нікелевих чавунів забезпечують отримання швів, що мають хорошу здатність до механічної обробки. Тонке покриття (М), що наноситься на стрижні з нікелевих чавунів, рекомендується наступного складу: карборунд 55%, вуглекислий барій 23,7%, рідке скло 21,3%. Зварювання виконують в декілька шарів при зворотно-поступовому переміщенні електроду. Основний

недолік електродів з нікелевих чавунів - підвищена схильність до утворення гарячих тріщин.

Отримати в наплавленому металі сірий чавун можна, застосовуючи спеціальні зварювальні матеріали, що забезпечують легування через електродне покриття. Прикладом таких матеріалів можуть служити електроди, стрижень яких виготовлений з низьковуглецевого дроту Св-08 чи Св-08А (ГОСТ 2246-70), а в легуючим покритті міститься достатня кількість елементів - графітаторів – вуглецю і кремнію.

Найбільш характерні електроди марки ЭМЧС, стрижень яких – низьковуглецевий електродний дріт, а покриття має три шари: 1-й шар є легуючим, 2-й – шлако- і газоутворюючим, 3-й – газозахистним. Графіт і силикомагній, що входять у склад 1-го шару, служать графітаторами. Магній в деякій мірі сприяє сфероїдизації графіту; гематит і алюміній, при взаємодії, сприяють певному зниженню швидкості охолодження при евтектичній температурі і тим самим отриманню у шві структури сірого чавуну.

Застосування таких електродів при зварюванні чавунних виробів з відносно невеликою товщиною металу (до 8 - 10 мм) дозволяє отримати якісні зварні з'єднання без попереднього підігріву виробу; при більшій товщині необхідно застосовувати напівгаряче зварювання.

Для холодного і напівгарячого механізованого зварювання чавуну використовують спеціальні порошкові дроти, що забезпечують отримання у шві сірого чавуну. Для холодного зварювання з відносно невеликою товщиною металу дефектного місця рекомендується дріт марки ГШЧ-1, для напівгарячого зварювання – дріт ППЧ-2 (табл. 5), а також дроти ППНЧ-7, МН-25 та ін.

Табл. 5 Склад порошкових дротів і наплавленого металу для холодного і напівгарячого зварювання чавуну, %

Матеріал	С	Si	Mn	Ti	Al	Призначення
Порошковий дріт ППЧ-1	6,5 - 7,0	3,8 - 4,2	0,4 - 0,6	0,4 - 0,6	0,7 - 1,0	Холодне зварювання
Наплавлений метал	4,5 - 5,5	3,5 - 4,2	0,5 - 0,9	0,3 - 0,5	0,5 - 0,8	
Порошковий дріт ППЧ-2	5,7 - 6,5	3,3 - 4,0	0,4 - 0,6	0,4 - 0,6	0,6 - 0,9	Напівгаряче зварювання
Наплавлений метал	3,5 - 4,5	3,0 - 3,8	0,5 - 0,9	0,2 - 0,5	0,3 - 0,6	

Механізоване зварювання порошковим дротом дозволяє отримати наплавлений метал близький по складу і структурі до чавуну, що зварюють.

При зварюванні дефектів в великих чавунних відливках, для виправлення яких необхідно наплавити великий об'єм металу, а також при виготовленні великогабаритних масивних виробів з високоміцного чавуну з сфероподібним графітом, можна використовувати електрошлакове зварювання пластинчастими електродами. Такі електроди представляють собою литі чавуні пластини з вмістом елементів-графітізаторів (вуглецю і кремнію), рівним вмісту останніх в електродних стрижнях марок А и Б, та магнію 0,04 ... 0,08 %.

Крім загального підігріву, який виконують при напівгарячому зварюванні різними способами, у ряді випадків (в залежності від конструкції) можливо обмежитися місцевим підігрівом до потрібної температури. Під час зварювання необхідно звертати увагу на те, щоб метал виробу в районі зварювання не охолоджувався нижче заданої температури підігріву.

Зварювання з отриманням в шві низьковуглецевої сталі

Спосіб зварювання з отриманням низьковуглецевої сталі в шві ремонтного з'єднання застосовують в тих випадках, коли не передбачається послідуєча механічна обробка і відсутні вимоги до міцності зварного з'єднання.

При виконанні зварювання чавуну електродами, які призначені для зварювання вуглецевих або низьколегованих конструкційних сталей, то в першому шарі металу шва навіть при відносно невеликій долі участі основного металу утворюється високовуглецева сталь.

При швидкостях охолодження, що мають місце в умовах зварювання без попереднього підігріву виробу, високовуглецева сталь піддається різкому загартуванню. Тому метал першого шару буде мати високу твердість та низьку деформаційну здатність, наслідком чого буде висока схильність до утворення холодних тріщин, а також пористості.

Наведене пояснює застосування сталевих електродів тільки для декоративного зварювання невеликих за розмірами дефектів, коли до зварного з'єднання не пред'являють вимог забезпечення міцності, щільності та здатності до обробки ріжучим інструментом.

Тріщини виникають внаслідок того, що довжина жорстко з'єданого з основним металом валика при усадці під час охолодження скорочується, а основний метал розтягує валик. При великій довжині валика і недостатній пластичності металу валика це приводить до утворення поперечних тріщин.

В другому шарі, відповідно, доля участі чавуну зменшиться, однак вміст вуглецю в ньому буде знаходитися ще на високому рівні, що також приведе до загартування і можливого утворення тріщин. В послідуєчих шарах металу шва доля участі чавуну стає незначною і метал шва буде мати певний рівень пластичності.

Для запобігання утворення тріщин необхідно забезпечити достатню пластичність наплавленого шва застосовують наступні заходи:

- вибір відповідного присадкового матеріалу, обмазки і параметрів режиму зварювання;
- проковку швів зварного з'єднання під час кристалізації;
- рівномірне нагрівання і, особливо, охолодження як швів, так і всього виробу в цілому;
- виконання зварювання на постійному струмі зворотної полярності і малої сили – 25...30 А на 1 мм діаметра електрода;
- наплавлення валики короткими ділянками довжиною 30...40 мм;
- застосування зварювання з'єднання з відпалюючими валиками і багатошаровим швом.

При зварюванні чавуна електродом з низьковуглицевої сталі метал шва відрізняється високими крихкістю і твердістю. Кількість вуглецю в металі шва залежить від геометрії шва, зокрема, відношення h_1/h_2 , де h_1 – глибина проплавлення; h_2 – підсилення шва (рис. 3). Чим менше це відношення, тим менше в метал шва надходить розплавленого чавуна деталі, тим нижче зміст у шві вуглецю. Якщо у чавуні близько 3% вуглецю, тоді в металі шва в залежності від h_1 вуглецю буде 1,5—2,0 % (у нижній частині більше, ніж у верхній). Верхня частина шва являє собою доэвтектичну сталь (вуглецю до 0,8 %) із сорбітоподібним перлітом.

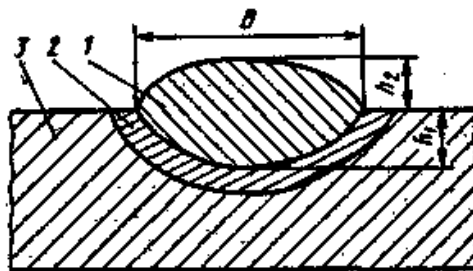


Рис. 3. Валик звареного шва
 1 – наплавлений метал; 2 – зона термічного впливу;
 3 – основний метал; B – ширина валика

Знизити кількість вуглецю в наплавленому шарі можна за рахунок зменшення сили зварювального струму, тобто глибини проплавлення чавуна h_1 , підбора компонентів покриття електрода, збільшення кількості шарів шва. Вплив сили зварювального струму на глибину проплавлення показано на діаграмі розподілу твердості (Рис. 4).

Підбираючи компоненти покриття сталевих електродів для зварювання чавуна, необхідно звернути увагу на окислювання вуглецю з метою зменшення його кількості у зварному шві. Застосування багатошарового зварного шва дуже впливає на його структуру і середню кількість вуглецю по перетину зварного шва і термічний вплив (відпал і відпуск) на попередні шари при наплавленні наступних.

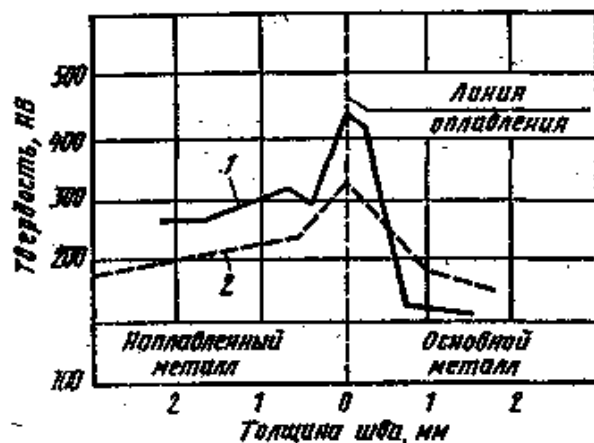


Рис. 4. Діаграма розподілу твердості швів
Зварювання електродом ЦЧ-4 (зворотна полярність).
1 і 2 – сила струму відповідно 250 і 135 А

При наплавленні сталевим електродом (Св-08) багатошарового валика на чавунну деталь одержують такий вміст вуглецю в шарах (табл. 6).

Табл. 6. Вміст вуглецю залежно від шару наплавленого металу

Номер шару	1	2	3
Вміст вуглецю, % (масова частка)	1,5...2,0	0,5...0,7	0,1...0,15

Такий шов має велику пластичність, тому для усунення тріщин при зварюванні чавуна необхідно проводити багатошарове зварювання з малою глибиною проплавлення основного металу.

Для отримання зварного шва з м'якої низьковуглецевої сталі необхідно застосовувати електроди з низьковуглецевого дроту Св-08 або Св-08А; електроди з дроту Св-08ГС з покриттям із крейди (30 %), залізної окалини (25%), ферросіліція (25%), азотнокислого натрію (20 %), відносна маса покриття 40 % ; електроди з карбідоутворюючими елементами в покритті типу ЦЧ-4;

Змінюючи склад і товщину обмазки зварювального дроту, швидкість зварювання і силу струму, можна одержати сталевий шов з різним вмістом вуглецю і різної твердості – від загартованої високовуглецевої сталі до м'якої відпущеної низьковуглецевої.

З метою зменшення долі участі основного металу в шві, а також розмірів зони термічного впливу, в тому числі і ділянок відбілювання та загартування застосовують електроди невеликих діаметрів – Ø3 мм для виконання 1-го шару, Ø3...4мм для 2-го і послідуєчих шарів. Для запобігання перегріву основного металу зварювання здійснюють на мінімальному режимі, окремими ділянками, з перервами для охолодження основного металу. Для підвищення міцності зва-

рного з'єднання використовують зварювання с "відпалюючими" валиками, які наплавляють на поверхню шва з'єднання без виходу на основний метал.

Зварювання багат шарового зварного з'єднання чавуну при середній і великій товщини металу здійснюють наступним чином. Спочатку виконують облицювання поверхні кромок 1-м шаром. Зварювання виконують з мінімальним проплавленням короткими ділянками по 45...50 мм, валиками невеликого перерізу, з перервами для охолодження до температури 50...60 °С. Послідовність виконання валиків з'єднання обирають, виходячи з вимоги зведення до мінімуму перегріву шва і навколошовної зони. Після 2 - 3-го шарів можна застосувати режими з декілька більшою погонною енергією, але також з перервами, щоб зона розігріву чавуну біла невеликою. Для зменшення напружень корисно застосовувати проковку наплавлених шарів металу.

З метою мінімізації тепловкладення в основний метал і покращення структури і властивостей металу шва і навколошовної зони зварювання покритим електродом виконують на постійному струмі оберненої полярності, обираючи силу зварювального струму із співвідношення 25 - 30А на 1 мм діаметру електроду з послідовним накладанням багат шарових відпалюючі валиків шва.

При зварюванні чавуну низьковуглецевими електродами загального призначення найбільш слабке місце зварного з'єднання – навколошовна зона у границі сплавлення. Крихкість цієї зони і наявність в ній тріщин нерідко приводять до відшаровування шва від основного металу.

Для підвищення міцності зварного з'єднання, коли до нього не пред'являють інших вимог (наприклад, при ремонті станин, рам, кронштейнів та інших несучих елементів товстостінних конструкцій), застосовують сталеві шпильки, які частково розвантажують найбільш слабку частину зварного з'єднання – лінію сплавлення.

Шпильки мають різьбу і їх закручують в тіло деталі або конструкції, що зварюють. Розміри шпильок зазвичай залежать від товщини металу дефектного місця, яке необхідно ремонтувати зварюванням. Практикою встановлені наступні рекомендації: діаметр шпильок 0,3...0,4 товщини металу, але не більше 12 мм. Глибина закручування шпильок приблизно 1,5 їх діаметра, але не більше половини товщини металу, що зварюється. Висота частини шпильки, що виступає над поверхнею основного металу повинна складати 0,75...1,2 їх діаметра.

Шпильки розташовують у шаховому порядку на скошених кромках металу пошкодженого місця в один – два ряди і в один ряд на поверхні деталі з кожної сторони стику (рис. 5). При цьому, відстань між ними повинна складати 4...6 діаметрів шпильки, а між рядами шпильок – 2...3 діаметри шпильок, як показано на рис.5.

Схема розробки кромок тріщини, встановлення шпильок та заварювання дефектного місця наведені на рис. 6. При товщині металу до 10 мм розробка кромок необов'язкова. При більшій товщині виконують розробку з кутом 90°.

При товщині металу дефектного місця виробу до 10 мм діаметр шпильок обирають 6 мм, при товщині до 20 мм - 10 мм, більше 20 мм. - 16 мм.

Зварювання розробки виконують у наступному порядку (рис. 5,6). Спочатку обварюють кожну шпильку і наплавляють на чавун стальне покриття, тобто виконують так зване облицювання кромки. Обварювання і облицювання виконують електродами діаметром 3 мм на мінімальних значеннях сили зварювального струму. Після цього на облицьовані кромки і шпильки наплавляють валики сталевими електродами і остаточно заповнюють розробку (рис. 6). Зварювання здійснюють з мінімальною глибиною проплавлення, ділянками 45-50 мм, з перервами для охолодження. По поверхні звареного дефекту наплавляють "відпалюючи" валики.

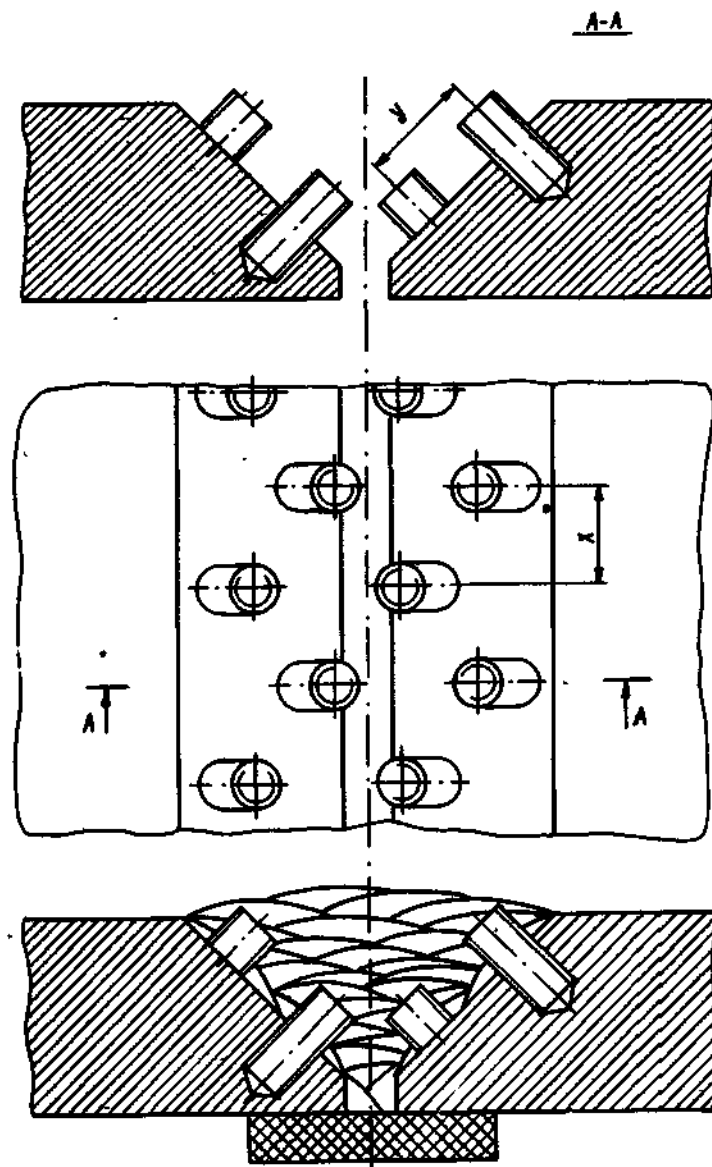


Рис. 5. Схема розташування шпильок і зварювання розробки;
 $x = (4...6)d$; $y = (2...3)d$; (d - діаметр шпильки, мм).

При зварюванні деталей з товстими стінками для зменшення кількості наплавленого металу рекомендується в шов вварювати зв'язки з круглої або стрічкової сталі (рис. б, в). Для утримання розплавленого металу шва рекомендується заформувати тріщину (рис. б, г).

Вуглець, який попадає у зварювальну ванну, у високотемпературній її частині активно окислюється і виводиться з неї у вигляді окису вуглецю, який не розчиняється у металі. В результаті концентрація вуглецю к моменту затвердження зварювальної ванни знижується. Твердість металу шва зменшується, деформаційна здатність зростає.

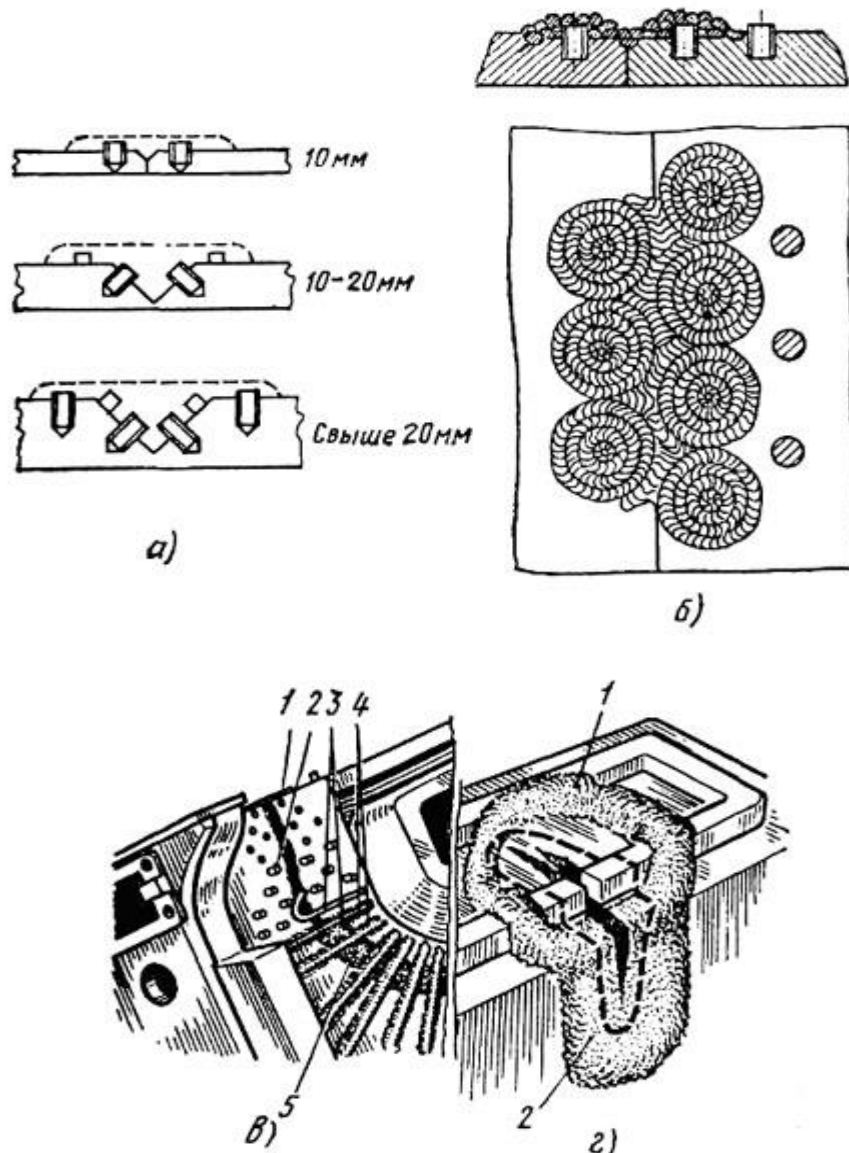


Рис. 6. Зварювання чавуну з застосуванням сталевих шпильок:
 а - установка шпильок при підготовці кромки; б - обварювання шпильок;
 в - вварювання сталевих зв'язків: 1 - отвори з різьбою; 2 - шпильки;
 3 - зв'язки; 4 - обварювання шпильок і зв'язків; 5 - заварювання тріщин;
 г - формовка при зварюванні чавуну: 1 - верхня; 2 - бокова

Однак, для більш повного ефекту випалювання вуглецю необхідно застосовувати режими зварювання, які характеризуються відносно великою погонною енергією. Це, однак, негативно впливає на навколошовну зону: в ній утворюються значні по розмірам ділянки відбілювання і загартування, які приводять до утворення тріщин.

При зварюванні чавуну з достатньо високим вмістом елементів - графітаторів при невеликій товщині металу дефектного місця можна отримати позитивні результати частковою релаксацією зварювальних напружень, що знижує імовірність утворення тріщин в зоні термічного впливу.

Ступінь графітизації (розпаду цементиту $Fe_3C \rightarrow 3Fe + C$) залежить від температури нагрівання і часу витримки чавуна, а також від його складу. У чавунах з підвищеним змістом вуглецю і кремнію графітизація відбувається інтенсивніше.

Зварювання сталевими електродами з карбідоутворюючими елементами в покритті застосовується головним чином для усунення мілких дефектів на поверхнях деталей, що піддаються у подальшому механічній обробці. Не рекомендується заварка дефектів в місцях, що підлягають свердлуванню.

При зварюванні чавуну такими електродами в метал шва вводять сильний карбідоутворюючий елемент – ванадій. В цьому випадку в шві, в основному, утворюються карбіди даного елемента, що не розчиняються в залізі і мають форму дрібнодисперсних нетвердих включень. Металічна основа при цьому має невеликий вміст вуглецю і достатньо пластичною. Прикладом можуть служити електроди марки ЦЧ-4 із стрижнем з низковуглецевого дроту марок Св-08 або Св-08А та покриттям наступного складу: мармур 12%, плавиковий шпат 16%, ферованадій 66%, феросиліцій 4%, поташ 2%, рідке скло 30% маси суміші.

Метал, наплавлений такими електродами, мають наступний склад: до 0,15% C; до 0,6% Si; 0,5% Mn; 8,5...0,5 % V; сірки і фосфору до 0,04% кожного. Електродами спочатку облицьовують кромки при малих значеннях сили струму. Зварювання виконують паралельними валиками з перекриттям кожного попереднього на половину його ширини. Після 2-го шару силу струму збільшують на 15...20%; остаточно розробку заповнюють електродами типу УОНИ-13/45.

Область застосування таких електродів – зварювання пошкоджених чавунних деталей і заварювання дефектів у відливках з сірого та високоміцного чавуну. У випадку необхідності можна також зварювати з'єднання сірого і високоміцного чавуну із сталлю. Зварні з'єднання, які виконані такими електродами, мають задовільну здатність до обробки, щільність і достатньо високу міцність.

Найбільше розповсюдження отримали електроди ЦЧ-4 з ферованадієм в покритті. Зварювання ведеться на мінімальній силі зварювального струму (23-30А на 1 мм діаметру електрода) електродами діаметром не більше 5 мм, струм постійний оберненої полярності. Рекомендується вести заварку дефекту з обли-

цюванням кромок електродами ЦЧ-4 не більш, ніж у два шари з послідуочим заповненням розробки сталевими електродами типа Э42, Э42А.

До методів, що забезпечують отримання у наплавленому металі низьковуглецевої сталі, можна також віднести механізоване зварювання плавким електродом в середовищі вуглекислого газу. Ремонтне зварювання невідповідальних деталей і конструкцій виконують короткими ділянками електродним дротом марок Св-08ГС або Св-08Г2С діаметром 0,8 - 1мм. Сила зварювального струму складає 50...75А, напруга на дузі 18...21В, швидкість зварювання 10...12 м/г.

Зварювання з отриманням в шві кольорових сплавів

Для холодного зварювання чавуну з отриманням швів, що мають достатньо високу пластичність, застосовують електроди, які забезпечують утворення у наплавленому металі сплавів на основі міді та нікелю.

Мідь і нікель не утворюють з'єднань з вуглецем, але їх наявність у сплаві зменшує розчинність вуглецю у залізі та сприяє графітизації. Тому, попадаючи у зону неповного розплавлення, що прилягає до шву, вони зменшують імовірність відбілювання. Крім того, підвищенню пластичності металу шва сприяє можливість проковки наплавленого металу в гарячому стані для зменшення рівня зварювальних напружень. Проковка металу шва обов'язкова, так як при цьому знижується небезпека утворення тріщин в навколошовної зони.

Величина і характер перехідних зон при зварюванні електродами з високим вмістом кольорових металів істотно відрізняються від величини і характеру зон, що утворюються при зварюванні сталевими електродами. Основне розходження складається у відсутності дифузії вуглецю з основного металу в шов.

Для холодного зварювання чавунних деталей і конструкцій використовують мідно - залізні, мідно - нікелеві і залізо - нікелеві покриті електроди для ручного дугового зварювання.

Мідно - залізні електроди використовують, головним чином для заварювання дефектів на відливках, литих корпусних деталей механізмів (конструкцій), яки несуть велике навантаження або працюють під тиском. Загальним недоліком мідно - залізних електродів є неоднорідна структура шва – м'яка мідна основа і дуже тверді включення залізної складової, які ускладнюють обробку і перешкоджають отриманню високої чистоти обробленої поверхні. Крім того, мідно-залізні електроди не рекомендуються для проведення великих об'ємів зварювальних робіт, тому що пари металу токсичні.

Мідно-залізні електроди, що складаються з 80 - 95% міді і 5 - 20% заліза, при зварюванні чавуну на режимах, які виключають надмірний розігрів дефектного місця, забезпечують добру оброблюваність металу шва і достатню міцність та пластичність зварного з'єднання. Оброблюваність зварного шва залежить від співвідношення міді і заліза в електроді. Зі збільшенням змісту заліза

зростає і кількість вуглецю, що дифундує з розплавленого чавуна, у результаті чого збільшується твердість металу шва.

Одними з найбільш поширених мідно - залізних електродів являються електроди марки ОЗЧ-1 і ОЗЧ-2, що представляють собою мідний стрижень діаметром 4 - 5 мм, на який нанесено покриття з сухої суміші покриття типу УОНИ-13 (50%) і залізного порошку (50%), замішаних на рідкому склі. Діаметри електродного стрижня дорівнюють 3, 4 і 5 мм.

Силу зварювального струму визначають з розрахунку 30 - 40А на 1 мм діаметру стрижня, що виключає сильний розігрів металу при зварюванні ушкодженого місця. Зварювання з урахуванням великої рідкотекучості розплавленого чавуну виконують в нижньому або похилому положенні на постійному струмі оберненої полярності короткими ділянками 30 - 50 мм, у кілька шарів з ретельною очисткою і проковкою кожного шару в гарячому стані та перервами для охолодження місця зварювання до 50 - 70°C.

Крім електродів – мідних стрижнів з обмазкою, що містить залізний порошок, застосовують наступні види мідно-залізних електродів: мідний стрижень оплетений стрічкою з жерсті і покритий тонкою стабілізуючою обмазкою; мідний стрижень у залізній трубці, покритий обмазкою; електрод з біметалічного мідно-залізного дроту.

В першому випадку, електрод представляє собою мідний стрижень оплетений жерстю товщиною 0,25...0,3 мм, яку в вигляді стрічки шириною 5...7 мм навивають на стрижень по гвинтовій лінії. Потім на електрод наносять іонізуюче товсте покриття. У якості електрода для зварювання чавуну використовують мідний стрижень опресований у залізну трубку або електрод із стрижнем, виготовленим з комбінованого дроту – сердечника з сталевого дроту, щільно запресованого у мідну трубку. Для виготовлення таких стрижней застосовують прокатні стани для виробництва порошкового дроту.

В усіх різновидах мідно-залізних електродів вміст заліза у наплавленому металі не повинен перевищувати 10...15%, так як у протилежному випадку у шві утворюються (у великій кількості) дуже тверді включення заліза з високим вмістом вуглецю, які погіршують здатність до механічної обробки та знижують пластичність шва.

В якості зварювального матеріалу можна застосовувати пучок електродів, який складається з одного або двох мідних стрижней та сталевого електроду з захисним покриттям будь-якої марки. Пучок зв'язують в чотирьох - п'яти місцях мідним дротом і на кінці, що вставляють в електродотримач, прихвачують для надійного контакту між всіма стрижнями.

Мідно-залізний сплав у шві отримують також при зварюванні мідними електродами по шару спеціального флюсу, який складається з пропаленої бури (50%), каустичної соди (20%), залізної окалини (15%) і залізного порошку (15%). Флюс насипають шаром товщиною приблизно 10 мм, розплавляють ду-

гою; далі по мірі перемішування дуга горить між мідним електродом і розплавленим флюсом.

Мідно-нікелеві електроди застосовують на виробництві, головним чином, для заварювання дефектів лиття, які виявляють в процесі механічної обробки чавунного лиття на робочих поверхнях, де місцеве підвищення твердості неприпустиме.

Позитивні властивості таких електродів полягають в тому, що нікель не розчиняє вуглець і не утворює структур, що мають високу твердість після нагріву та швидкого охолодження. Відбілювання зони часткового розплавлення при невеликих її розмірах практично відсутнє, так як мідь і нікель (елементи - графітізатори), проникаючи в цю ділянку, оказують позитивну дію. В той же час нікель і залізо мають необмежену розчинність, що сприяє надійному сплавленню.

Для виготовлення електродів застосовують мідно-нікелеві сплави – монель - метал, який містить 65...75% Ni, 27...30% Си, 2...3% Fe і 1,2...1,8% Mn (наприклад, НМЖМц 28-2,5-1,5); константан, який містить приблизно 60% Ni і 40% Си (наприклад, МНМц 40-1,5); ніхром (Х20Н80).

Основні недоліки цих сплавів - їх висока вартість і дефіцитність, а також велика усадка, яка приводить до утворення гарячих тріщин. Гарячі тріщини іноді мають вид суцільної сітки, що знижує міцність зварного з'єднання. В зв'язку з цим дані сплави не рекомендується застосовувати для заварки тріщин в виробках, які несуть силове навантаження. Заварювання окремих мілких раковин дозволяє отримати хороші результати тому, що забезпечує можливість послідуєчої механічної обробки.

Знаходять застосування в промисловості електроди марок МНЧ-1 із стрижнем з монель - металу і МНЧ-2 із стрижнем з константану. Обі марки мають електродні покриття типу Б. Сварку виконують електродами діаметром 3...4 мм, нитковим швом, короткими ділянками при зворотно - поступовому русі електроду, не припускаючи перегріву деталі, для чого рекомендуються перерви для охолодження. Наплавлені валики в гарячому стані слід ретельно проковувати ударами легкого молотка.

Метал, наплавлений з використанням електродів МНЧ-1 і МНЧ-2, має низьку твердість, дуже добре обробляється тому, що дані електроди не утворюють структур, які мають велику твердість після нагріву і послідуєчого швидкого охолодження.

Мідно - нікелевий сплав монель має температуру плавлення 1260 - 1340°C, що відповідає температурі плавлення чавуну, і завдяки нікелю добре сплавляється з чавуном. Однак цей сплав дає значну усадку, що приводить до появи високих внутрішніх напружень, що сприяють утворенню тріщин. Тому монель наплавають короткими валиками довжиною 40 - 50 мм і відразу ж після цього

проковують шов молотком. Міцність звареного з'єднання в цьому випадку не перевищує 100 МПа.

Зварювання проводять на оберненій полярності струму, величину якого встановлюють з розрахунку 40 - 50А на 1 мм діаметру електроду, а при зварюванні тонкостінних деталей товщиною 4 - 7 мм – 35А на 1 мм діаметру електроду. Висока вартість монеля і низька міцність та щільність звареного шва обмежують його застосування при відновленні деталей зварюванням.

Для заварювання окремих невеликих дефектів на поверхнях відливок відповідального призначення з сірого і високоміцного чавуну, дефектів, виявлених на механічно оброблених поверхнях виробів і при ремонті обладнання з чавунного лиття, використовують також залізо - нікелеві електроди із стрижнем з сплаву, який містить 40...60% Ni і 60...40% Fe.

При зварюванні такими електродами забезпечується достатньо висока міцність і певна в'язкість металу шва. Залізо - нікелеві електроди мають певні переваги, до числа яких крім високої міцності можна віднести меншу, ніж у мідно - нікелевих сплавів, ливарну усадку, однаковий колір наплавленого металу з сірим чавуном. Прикладом залізо - нікелевих електродів можуть служити електроди марки ЦЧ-3А з стрижнем з дроту Св-08Н50 і покриттям з доломіту (35%), плавикового шпату (25%), графіту чорного (10%) і ферросиліцію (30%), змішаних на рідкому склі.

Чавун також можна зварювати в середовищі аргону дротом на основі міді марки МНЖКТ 5-1-0,2-0,2, що вміщує нікель, залізо, кремній, титан.

Стрижнем електроду типу АНЧ-1 є аустенітний хромонікелевий дріт Св-07Х18Н9ТЮ (нержавіючий дріт), що вкривають обмазкою товщиною до 0,75 мм. Обмазка містить (масова частка): марганцю 40%, плавикового шпату 30%, кварцового піску 17%, ферромарганцю 5%, ферросиліцію 8%. Товщина покриття електроду діаметром 3,5 мм складає 0,3 - 0,4 мм. Зварювання проводять постійним струмом оберненої полярності ділянками довжиною 30 - 40 мм з ретельним проковуванням шва. Ці електроди рекомендуються для зварювання товстостінних деталей машин.

Механізоване зварювання дротом на основі нікелю застосовують для ремонту тонкостінних (4 - 20 мм) деталей автотракторного обладнання, заварювання мілких дефектів лиття та виготовлення зварнолитих конструкцій. Розроблений в ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАН України самозахисний дріт ПАНЧ-11 малого діаметру (1,2 мм) дозволяє отримувати герметичні, легко обробляемі і рівномірні основному металу з'єднання при зварюванні без підігріву.

При виборі форми і розмірів розробки кромки тріщин слід враховувати глибину проплавлення дроту ПАНЧ-11, яка складає 1,5 - 2,0 мм. Рекомендовані форма розробки для тонко- і товстостінних деталей показана на рис. 7, 8.

Зварювання ведуть на постійному струмі прямої полярності при наступних параметрах режиму зварювання:

– для дроту діаметром 1,2 мм: сила зварювального струму $I_{ЗВ} = 100 - 120\text{А}$, напруга на дузі $U_{Д} = 14 - 18\text{В}$, швидкість подачі дроту $V_{П.Др.} = 1,8 - 2,0\text{ м/хв.}$, швидкість зварювання $V_{ЗВ} = 0,1 - 0,15\text{ м/хв.}$, виліт електроду – 15 - 20 мм.

– для дроту діаметром 1 мм: сила зварювального струму $I_{ЗВ} = 80 - 100\text{А}$; напруга на дузі $U_{Д} = 16 - 18\text{В}$; швидкість подачі дроту $V_{П.Др.} = 1,8 - 2,0\text{ м/хв.}$, швидкість зварювання $V_{ЗВ} = 10 - 15\text{ см/хв.}$, виліт електроду – 15 - 20 мм.

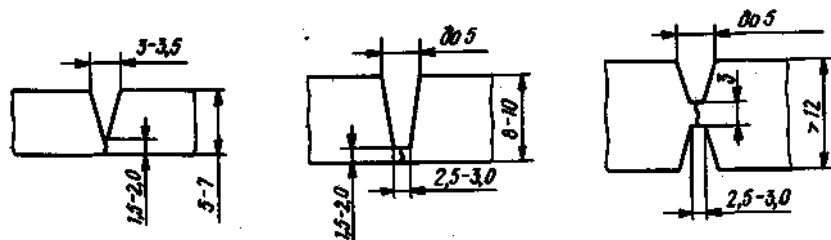


Рис. 7. Схеми розробки тріщини при зварюванні тонкостінних деталей дротом ПАНЧ-11.

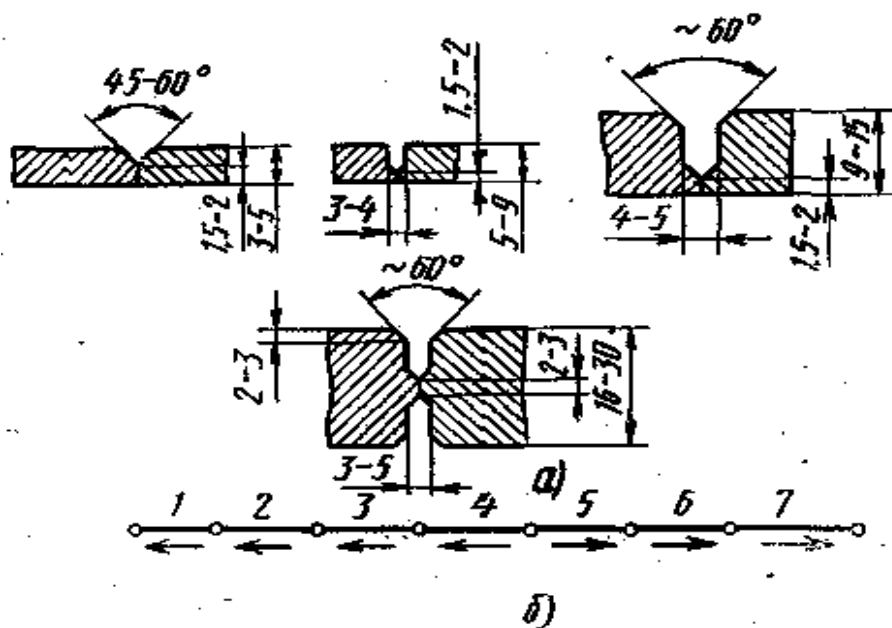


Рис. 8. Схема розробки тріщин (а) у залежності від товщини стінки деталі при зварюванні дротом ПАНЧ-11 і Св-15ГСТЮЦА і послідовність зварювання (б)

Зварювання виконують невеликими ділянками довжиною 40 - 60 мм, з проковкою шва і охолодженням до 50 - 70°C. Порядок накладання ділянок швів від країв тріщини до її середини почергово з двох сторін. Можна ремонтувати і товстостінні деталі, використовуючи дріт ПАНЧ-11 тільки для одно- і двошарового облицювання кромки та зварювання кореня розробки перед послідовним зварюванням всієї розробки дефекту за допомогою електродних матеріалів і методів зварювання хромонікелевих сталей.

Самозахисний дріт суцільного перерізу ПАНЧ-11 є високоефективним зварювальним матеріалом для механізованого зварювання чавуну без підігріву. У порівнянні з електродами для ручного зварювання дріт має такі значні переваги: зменшення в 2 - 5 разів об'єму металу шва, підвищення в 4 - 5 разів продуктивності зварювання, можливість механізації і автоматизації процесу зварювання, відсутністю шлаку і хорошим обзором місця зварювання.

Головним недоліком застосування дроту ПАНЧ-11 є відносно велика вартість виготовлення дроту. Крім того, необхідно враховувати, що всі електродні матеріали, які вміщують нікель, дефіцитні. Тому їх застосовують при зварюванні чавуну обмежено у економічно і технічно обґрунтованих випадках, наприклад, для заварки невеликих раковин, що виявлені на останніх операціях механічної обробки, в деталях великих розмірів і великої жорсткості.

Механізоване зварювання чавуна суцільним дротом МНЖКТ-54-01-02 та Св-15ГСТЮЦА на залізній основі діаметром 1 - 1,2 мм здійснюють у потоці інертних газів і під шаром флюсу з використанням постійного струму силою 80 - 100А оберненої полярності при напрузі на дузі 20 - 25В.

Газове зварювання чавуну

Газове зварювання чавуну являється одним з найбільш надійних способів, які дозволяють отримувати наплавлений метал з властивостями, близькими до властивостей основного металу. Це обумовлено тим, що при газовому зварюванні відбувається більш тривалий і рівномірний нагрів та охолодження деталі у порівнянні з дуговим зварюванням, а тому забезпечуються кращі умови для графітизації вуглецю в наплавленому металі і менш імовірна поява у сусідніх з швом ділянках зон відбілювання чавуну. Зменшуються внутрішні напруження і можливість утворення тріщин.

Газове зварювання сірого чавуну краще вести з застосуванням попереднього підігріву. Розробку кромки виконують V - подібною, з кутом розкриття 90°. Кромки ретельно очищують від мастила, іржі і бруду щіткою або піско-струменевою обробкою та прогривають полум'ям пальника.

В якості присадкових прутків для зварювання використовують чавунні стрижні діаметром 6; 8; 10; 12; 14 и 16 мм, довжиною 400...700 мм марок А и Б, а також прутки: НЧ-1 – для низькотемпературного газового зварювання тонкостінних відливок; НЧ-2 – для низькотемпературного газового зварювання товстостінних відливок. Присадкові прутки діаметром 6 мм мають довжину 350 мм, прутки діаметром 8 -16 мм – довжину 450 мм. Хімічний склад присадкових прутків наведений в табл. 7. Діаметр присадкового прутка обирають рівним приблизно половині товщини основного металу.

При газовому зварюванні чавуну необхідне застосування флюсу, який:

1. Розчиняє тугоплавкі окисли заліза, кремнію і марганцю, переводячи їх в легкоплавкі шлаки.

2. Окислює і частково розчиняє графітні включення чавуну, створює мікрозаглиблення, які покращують сплавлення.

3. Захищає зварювальну ванну від окислення, збільшує рідкотекучість шлаків і метала ванни.

Табл. 7. Склад присадкових прутків для газового зварювання чавуну

Марка прутка	Хімічний склад, %							Твердість HRC
	C	Si	Mn	S	P	Ti	Cr	
НЧ-1	3...3,5	3...3,4	0,5...0,8	<0,05	0,2...0,4	0,03...0,06	-	-
НЧ-2	3...3,5	3,5...4	0,5...0,8	<0,05	0,2...0,4	0,03...0,06	1,2...2,0	44...46

В якості флюсу використовують проколену буру або суміш наступного складу: 56% бури, 22% вуглекислого натрію (сода) і 22% вуглекислого калію (поташу). Застосовують також флюс, який складається з вуглекислого і двовуглекислого натрію (по 50%). Хорошу здатність до розкислення має флюс ФСЧ-1, що складається з 23% бури проколеної, 27% вуглекислого натрію, 50% азотнокислого натрію.

Флюс ФСЧ-1 призначений головним чином для зварювання великих дефектів прутками НЧ-1, а флюс ФСЧ-2, який відрізняється від ФСЧ-1 добавкою вуглекислого літію, застосовують для зварювання невеликих дефектів деталей прутками НЧ-2. Флюс ФСЧ-2, складається з 18% бури, 25% вуглекислого натрію, 56,5% азотнокислого натрію, 0,5% вуглекислого літію.

Низькотемпературне газове зварювання застосовують для усунення дефектів лиття чавунних деталей. Даний спосіб полягає в зварюванні дефектів лиття без розплавлення основного металу. Присадковий пруток при зварюванні слід частіше погрузати у флюс, а флюс підсипати у зварювальну ванну. Наконечник пальника повинен забезпечувати подачу 100...120 дм³/г ацетилену на 1мм товщини металу. Кромки скошують тільки при товщині металу дефектного місця більше 4мм.

Зварювальне полум'я повинно бути нормальним або науглероджуючим тому, що окислювальне полум'я визиває сильне місцеве випалювання кремнію і в металі шва утворюється білий чавун. Метал добре прогривають, зварювання виконують в нижньому положенні швидко, а для масивних деталей бажано двома пальниками одночасно. Кінцем прутка слід весь час перемішувати метал зварювальної ванни для полегшення виходу з нього розчинених газів, для отримання швів без пористості.

При зварюванні прутки погружають в зварювальну ванну тільки після нагріву його кінця до температури світло-червоного коління тому, що ненагрітий пруток може викликати місцеве відбілювання чавуну. Пруток виймають з ванни по можливості рідко і тільки для того, щоб вкрити його флюсом.

Ядро полум'я можливо періодично віддаляти від поверхні ванни, яка, однак, весь час повинна бути закритою відновлювальною частиною полум'я. Надмірна затримка полум'я на одному місці приводить до випалювання вуглецю і кремнію, що може викликати місцеве відбілювання чавуну.

Деталі складної форми, що мають неоднаковий переріз в різних частинах, отвори, перемички і т.п., для виключення появи в них тріщин і внутрішніх напружень від нерівномірного нагріву необхідно зварювати тільки з загальним попереднім підігрівом. Після зварювання виріб закривають азбестом і воно повинно повільно холонуть.

Флюси - пасти, що застосовують для низькотемпературного газового зварювання, вміщують 5% двоокису титану, 10% азотнокислого калію, 12% фтористого натрію, 40% бури плавленої, 11% феротитану, 15% вуглекислого літію, 7% залізного порошку, замішаних на 7 вагових частинах керосину на 50 частин сухої суміші.

Місце зварювання при застосуванні флюсів – паст зачищають до металевого блиску. При товщині металу до 10мм кромкам надають V- подібну форму з кутом розкриття 70...90°, при товщині металу більше 10мм - X- подібну. Дефекти лиття (пори, шлакові включення) вирубують і кромки розробляють з кутом розкриття шва 45...90°. Перед зварюванням деталь піддають місцевому нагріву пальником до 300...400°C, деталі більш складної форми – загальному нагріву в печі до такої ж температури.

На нагріту поверхню наносять шар флюсу - пасти і місце зварювання нагрівають пальником до 820...860°C. Полум'я повинно бути нормальним. При такій температурі флюс - паста починає плавиться, вкриваючи місце зварювання тонкою плівкою. В цей момент в полум'я вводять вкритий флюсом пруток, який розплавляється, поступово розтікаючись по поверхні металу. Кінцем прутка перемішують зварювальну ванну, заповнюючи її металом доверху з невеликою опуклістю. Зварювання ведуть справа наліво, полум'я пальника переміщують попереду шва. Після зварювання виріб повільно охолоджують у піску або під шаром азбесту.

Такий спосіб зварювання забезпечує відсутність зони відбілення чавуну тому, що основний метал не доводиться до стану плавлення, метал шва отримують щільним і м'яким, який добре обробляється різцем. Виріб, що ремонтується зварюванням, має незначний рівень внутрішніх напружень і тріщини не утворюються.

Для низькотемпературного зварювання чавуну застосовують пропан - бутан - кисневе полум'я з підігрівом мундштука (2700°C) і пальники ГЗУ-1-62 та ГЗМ-1-62. Для зварювання використовують прутки НЧ-1 і НЧ-2 вказаного вище складу. Потужність полум'я повинна складати 60...70 дм³/г пропан - бутану на 1мм товщини металу, полум'я нормальне. При зварюванні металу товщиною 6...12 мм застосовують V- подібну підготовку кромки без притуплення із збіль-

шеним зазором (до 3мм) і кутом розробки кромки 55°. Пруток тримають під кутом 30...35°, а мундштук пальника під кутом 45° до поверхні металу. Зварювання ведуть без перерв. При товщині металу до 6мм виконують один прохід, при товщині 9...12мм – два проходи. Застосовують наступні режими зварювання, які наведені в табл. 8.

Табл. 8. Режими газового зварювання чавуну

Товщина металу, мм	6	9	12
Номер накієчника	5	6	7
Швидкість зварювання, м/г	1,7	1,8	0,48
Продуктивність наплавлення, кг/г	0,73	0,86	1,13

Наплавлений метал має структуру з рівномірно розподіленим дрібнопластинчастим графітом, твердість металу шва і перехідної зони 220...245НВ при твердості основного металу 140...160НВ.

Низькотемпературне паяння - зварювання чавуну

Процес низькотемпературного паяння – зварювання чавуну латунними припоями здійснюють при температурі 700...750°C, при якій в чавуні не відбувається структурних перетворень. Це виключає небезпеку відбілювання чавуну і зменшує можливість утворення тріщин.

Паяння - зварювання доцільно застосувати при виправленні дефектів на вже оброблених поверхнях, де важливо зберегти первісну форму виробу, неможливо застосовувати попередній підігрів, а також в тонких перерізах, коли необхідно знизити небезпеку виникнення деформації. Цей спосіб також дозволяє отримувати з'єднання чавуну з сталлю та іншими металами.

В якості припою застосовують кремністу латунь ЛОК-59-1-0,3, яка вміщує до 0,4% кремнію. Тимчасовий опір металу шва на розрив дорівнює 230МПа, а твердість 100 НВ.

Для паяння - зварювання виробу, до механічних властивостей і зовнішньому виду яких пред'являють підвищені вимоги, використовують припій ЛОМНА-54-1-10-4-02, що містить мідь, олово, марганець, нікель і до 0,6% алюмінію. При паянні - зварюванні цим припоєм метал паянозварного шва має колір чавуну, твердість 180...200 НВ і тимчасовий опір розриву 280...340МПа.

Застосовується поверхнево - активний флюс марки ФПСН-2, що вміщує 50% борної кислоти (H₃BO₃), 25% вуглекислого літію (LiCO₃), 25% вуглекислого натрію (Na₂CO₃) та добавку, що вміщує галоїд, для видалення в'язкого окису алюмінію, який утворюється в процесі паяння - зварювання.

Флюс плавиться при 650°C і служить індикатором початку процесу. Паяння - зварювання виконують звичайною зварювальним пальником, що працює на ацетилені або газах - заміниках. Полум'я повинно бути нормальним. Кромки

підготовлюють механічною обробкою. На поверхні кромок та прилеглого до дефектного місця чавуну не допускається окалина, забруднення, тощо. Сліди жирів видаляють протиркою розчинниками – уайт-спиритом, ацетоном, бензином та ін.

Флюс наносять на основний метал після попереднього підігріву кромок до температури 300...400°C. Паяння - зварювання розпочинають в момент плавлення флюсу, направляючи полум'я на прилеглі до розробки кромок ділянки основного металу для запобігання видування флюсу. Розплавлений флюс прутком припою рівномірно розподіляють по всій поверхні місця, що зварюється. Потім полум'я направляють на кінець прутка, оплавляють його і по спіралі знизу вгору заповнюють розробку металом припою. Зразу ж після затвердження металу шва його проковують мідним молотком.

Ремонт зварюванням корпусних деталей і конструкцій

Значний обсяг ремонту зварюванням припадає на відновлення цілісності і працездатності корпусних деталей і конструкцій, виготовлених з литого металу з підвищеним вмістом вуглецю (більше 0,25%). В багатьох випадках такі деталі і конструкції є унікальними, а вага деяких з них перевищує 100т. Характерними прикладами можуть бути станини гідравлічних і механічних пресів, більшість вузлів гірничо –збагачувального, видобувного, металопрокатного устаткування, тощо.

В процесі тривалої експлуатації корпусних деталей і конструкцій в них виникають ушкодження. Руйнування виникає в результаті дії на метал статичних і динамічних навантажень, які з часом викликають зміни складу і властивостей литого металу. При цьому в металі з'являються крихкі ділянки з низькими показниками твердості і міцності. Наявність у литому металі характерних для нього мікро - і макродефектів прискорюють цей процес і ведуть до виникнення ушкоджень від втоми, приклади яких наведені на рис. 9.

Руйнування металу виникає в результаті злиття мікро - і макропустот під дією багатократного статичного або динамічного навантаження. Якщо процес розвитку тріщин своєчасно не зупинити, то він обов'язково приведе до руйнування не тільки даного вузла конструкції, а і деталей, що спрягаються з ним. Тому виникнення видимих тріщин, особливо, якщо вони мають великі розміри, викликає необхідність або заміни дефектного вузла, або виконання відновлювальних робіт.

Найбільш простим, але водночас і складним способом відновлення є зварювання. Її простота полягає в тому, що зварювання можна виконувати без посередньо на місці роботи конструкції в короткі терміни тому, що в більшості випадків вона не потребує виконання робіт по демонтажу і монтажу обладнання, і при відносно невеликих матеріальних затратах. Складність таких робіт полягає в тому, що при ремонті приходиться зварювати метал, який в процесі екс-

плуатації змінив свої властивості і накопичив крім видимих макро - ще і мікропошкодження, які важко визначаються.

В зв'язку з цим загальні рекомендації, розроблені для зварювання того чи іншого металу стосовно ремонтного зварювання необхідно уточнювати та доробляти, виходячи з вищенаведених особливостей її виконання.

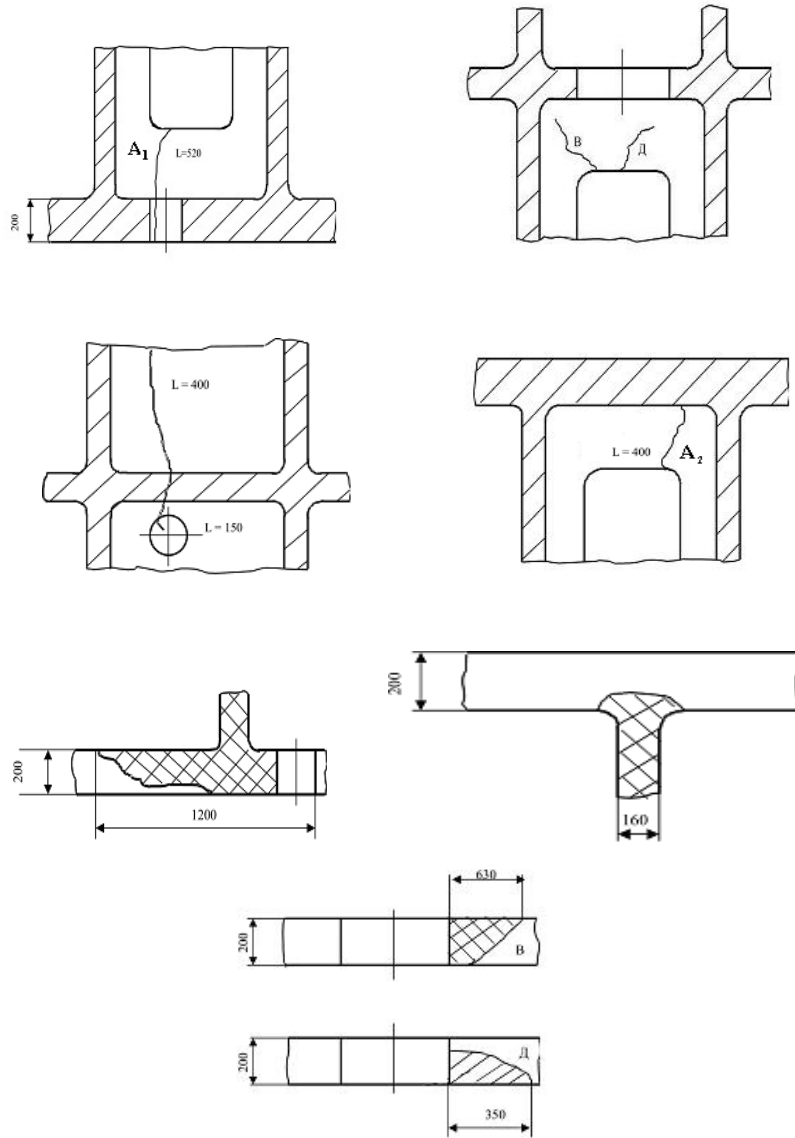


Рис. 7. Схеми розташування найбільш характерних тріщин станини

а - тріщина A_1 на нижній кромці вертикального ребра жорсткості; б - тріщина A_2 на верхній кромці вертикального ребра жорсткості; в - тріщини B и D в верхньому поясі

В зв'язку з цим загальні рекомендації, розроблені для зварювання того чи іншого металу стосовно ремонтного зварювання необхідно уточнювати та доробляти, виходячи з вищенаведених особливостей її виконання.

Підвищений вміст вуглецю в товстолистових сталях 25Л і 35Л (більше 0,25%) передбачає значні складності при їх зварюванні. По-перше, пони-

жена стійкість металу шва проти утворення кристалізаційних тріщин, по-друге, можливість утворення гартувальних структур при значних швидкостях охолодження, що в свою чергу може привести до утворення холодних тріщин в металі НШЗ.

Для усунення впливу цих негативних чинників необхідно знижувати вміст вуглецю, а також зменшувати долю основного металу у шві. Для зниження долі основного металу в зварних з'єднаннях середньовуглецевих сталей необхідно забезпечити проплавлення при максимальному значенні коефіцієнту форми шва.

Ефективним заходом підвищення тріщиностійкості являється попередній підігрів з'єднань до температур 200...300°C. Однак, із-за складної конфігурації конструкції великої товщини (більше 160мм) та неможливості доступу до окремих місць сварки, виконання цієї операції проблематично.

Зварні з'єднання з сталей з підвищеним вмістом вуглецю відрізняються високою схильністю до уповільненого руйнування. Тому при ремонтному зварюванні необхідне застосовувати технологічні прийоми, що знижують ризик утворення холодних тріщин в з'єднаннях, в т.ч. способів підготовки кромки під зварювання металу з розробленою тріщиною.

Відомо, що кисневе різання суттєво впливає на стан поверхні металу. Як правило, в середній частині різа найбільш часто відбувається науглецювання металу і може утворюватися вузька крихка зона з твердістю до *HV 700*. Опір уповільненому руйнуванню зварних з'єднань, виконаних по кромкам після газового різання, може суттєво знижуватися у порівнянні з з'єднаннями, кромки яких оброблялись механічним способом.

Розробка кромки тріщини, враховуючи велику товщину металу корпусних конструкцій, пов'язана із значною трудомісткістю процесу, а в багатьох випадках неможлива. При необхідності застосуванні газотермічних методів технологічний процес розробки кромки тріщини здійснюють в наступній послідовності – газове різання, послідовно зачистка шліфувальною машинкою і наплавлення перехідного (лицювального) шару електродами типу Э50.

Вибір електродів для проведення ремонтно-зварювальних робіт здійснюється, виходячи з наступних вимог: забезпечення механічних властивостей металу шва рівноцінних основному металу; мінімальний вміст дифузійного водню в наплавленому металі; зниження температури попереднього підігріву.

Серед представлених на ринку покритих електродів для зварювання конструкцій з сталі 25Л, 35Л в найбільшій мірі підходять електроди з основним покриттям типу Э-50, зокрема, марок УОНИ 13/55, FOX EV 50 діаметром 3,0 мм і 4,0 мм, склад і властивості металу шва яких наведений в табл. 9. Електроди FOX EV 50 у порівнянні з електродами УОНИ 13/55

мають більш високі зварювально-технологічні властивості, пластичність металу шва, менший вміст дифузійного водню.

При ремонті зварюванням корпусних деталей і конструкцій високий рівень залишкових напружень в зварних з'єднаннях є, як показує практика, одним з основних причин їх передчасного руйнування як в процесі зварювальних робіт, так і безпосередньо після їх завершення. При проведенні ремонтно-зварювальних робіт зниження загального рівня напружень доцільно здійснювати комплексним шляхом:

а) за рахунок вибору оптимальних режимів зварювання і технологічних прийомів;

б) шляхом додаткової обробки з'єднань, як в процесі їх виконання, так і після завершення зварювальних робіт.

Табл. 9. Хімічний склад і механічні властивості металу шва

Марка електродів	Хімічний склад, %					Механічні властивості, (не менше)		
	C	Mn	Si	S	P	σ_b , МПа	δ_5 , %	Ударна в'язкість при +20°C, Дж/см ²
УОНИ- 13/55	0,08-0,11	0,8- 1,2	0,2-0,5	≤0,030	≤0,035	490	20	KCU = 127
FOX EV 50	0,07	1,1	0,5			540	30	KCV = 220

Досвід зварювання конструкційних сталей свідчить, що залежно від складу і товщини металу, температури попереднього підігріву і форми розробки кромки при дуговому зварюванні погонна енергія може змінюватися в достатньо широких межах $Q_{зв} \approx 6...20$ кДж/см. Основними критеріями правильності обраних режимів зварювання є тривалість перебування металу ЗТВ вище точки A_{C3} , а також її охолодження в інтервалі температур структурних перетворень.

Підвищення тепловкладення при зварюванні покритими електродами може приводити до суттєвого зростання розтягуючих залишкових напружень як вздовж, так і поперек осі шва. Тому, при ремонтному зварюванні корпусних деталей і конструкцій з сталі 25Л, 35Л необхідно обмежувати тепловкладення на рівні $Q_{зв} \approx 9...12$ кДж/см.

Ударна обробка зварних з'єднань є, як відомо, ефективним заходом зниження залишкових напружень в з'єднаннях вуглецевих і низьколегованих сталей. Однак, досвід використання цього процесу свідчить, що його ефективність застосування визначається технікою виконання: температурою металу, діаметром бійки, частотою його ударів, тощо.

Ударне деформування металу представляє собою послідовну осадку металу. Швидкості деформування металу по діапазону їх застосування розділяють на три діапазони: а) малі швидкості деформування – 1-7 м/с; б) середні швидкості деформування – 6-100 м/с; в) високі швидкості дефор-

мування – вище 100 м/с. Найбільш ефективною є обробка металу шва в середньому і високому діапазоні швидкостей.

Для ударного деформування використовують спеціальні ударні пристрої, оскільки звичайні пневмомолотки при оптимальному режимі роботи забезпечують швидкість удару не більше 10 м/с. Тому для проведення обробки ремонтних зварних з'єднань необхідно використовувати спеціальні пристрої, що забезпечують швидкість удару в діапазоні 80-120 м/с.

При ударній обробці на 25-30% знизити загальний рівень поперечних і на 50 % - кутових деформацій з'єднання. Загальний рівень залишкових напружень також знижується на 20...22%, в металі шва зниження напружень може досягати 40%, а в металі ЗТВ - 25...27%.

Позитивний ефект в підвищенні опору ремонтних зварних з'єднань корпусних деталей і конструкцій повторному утворенню тріщин втомі досягається, в основному, за рахунок деформаційного зміцнення поверхневого шару металу ударною обробкою, особливо високочастотною (ультразвуковою), і утворення в ньому залишкових напружень стиснення.

Технологічний процес заварювання тріщин в корпусних деталях і конструкціях передбачає наступні етапи робіт:

- візуально-оптичний і неруйнівний контроль дефектних місць з тріщинами і ділянок, в яких виникнення тріщин потенційно можливе;
- розробку тріщини під заварювання електродуговим струганням спеціальними електродами, газокисневим різанням;
- зачистку розробки кромки до металевого блиску механічною обробкою шліфувальною машинкою;
- перевірку кромки з використанням кольорової дефектоскопії або магнітопорошковим методом контролю;
- облицювання кромки розробленої тріщини і заварювання з'єднання;
- ударну обробку кожного шару зварного з'єднання;
- зачистку підсилення зварного з'єднання до рівня поверхні основного металу (механічна обробка);
- візуально-оптичний і неруйнівний контроль якості зварного з'єднання.

Видалення тріщин на корпусних деталях і конструкціях з сталей 25Л, 35Л починають з висвердлювання отворів $\text{Ø}12,0\text{...}14,0$ мм в місцях, де зафіксована зупинка розповсюдження тріщини. При неможливості виконання такої операції допускається пропалювання отворів газокисневим різанням. В цьому випадку отвори повинні розташовуватися в основному металі на відстані 40...50 мм від вершини тріщини по траєкторії можливого її розповсюдження. Різання здійснюють при тиску ріжучого кисню 9,0-11,0 кгс/см² і використання мундштуків № 2 і 4 – відповідно зовнішнього і внутрішнього.

Видалення тріщин здійснюють методами поверхневого різання. Попередньо тріщину вибирають дуговим струганням спеціальними електродами типу

АНР-2 діаметром 4,0 мм на постійному струмі 340...350А оберненої полярності. Потім газокисневим струганням розробляють кромки до потрібних розмірів і конфігурації. Режими різання (кути нахилу струменя ріжучого кисню 20...40°, номери мундштука № 1,2 і відповідні витрати газів) обирають такими, щоб розміри канавки стругання орієнтовно складала 20...30мм по ширині і 10...15мм по глибині.

Кількість зрізів і порядок їх виконання обирають таким чином, щоб в результаті розробки дефектних місць елементів корпусних деталей і конструкцій досягнути повного видалення тріщини по всій довжині і товщині металу та сформувати розробку кромки Х- або V-подібної форми залежно від потреби.

Ділянки з вибраними дефектами необхідно обробити шліфувальними машинами до повного видалення грата, окалини та ін. Зачистку до металевго блиску здійснюють як на поверхні кромки розробки тріщин, так і на поверхні основного металу ремонтних з'єднань на ширину 20 мм з кожної сторони. Ділянки з підготовленими дефектами підлягають обов'язковій операції "облицювання", перед якою виконують попередній підігрів до 60...80°C. Відповідно з просторовим положенням зварювання встановлюють такі параметри режимів, які забезпечують мінімальну глибину проплавлення основного металу.

Лицювальні валики виконують відповідно із схемою, наведеною на рис. 8. Кількість шарів повинна бути не менше двох з тим, щоб загальна їх товщина була не менше 5...6 мм. Ширина валиків при виконанні лицювальних шарів не повинна перевищувати 2,5 діаметрів електрода. Облицювальні ділянки перед проведенням ремонтного зварювання (незалежно від просторового положення зварювання) обробляють шліфувальними машинками для отримання, по можливості, Х – або V - подібної розробки з зазором 3...4 мм.

Зварювання ремонтного з'єднання виконують електродами діаметром 3,0 і 4,0 мм на режимах, наведених в табл. 10. для виключення утворення в металі шва шлакових включень необхідно добре проварювати кромки, для чого слід затримувати електрод у кромки розробки або відводити його трохи назад.

В процесі зварювання необхідно забезпечити повний провар кореня шва і заварку кратера. Після виконання кореневого шва електродами діаметром 3.0 мм його слід зачистити з зворотної сторони і підварити з метою отримання повного провару зварного з'єднання. Після наплавлення кожного валика повністю видаляють шлакову корку (після її охолодження).

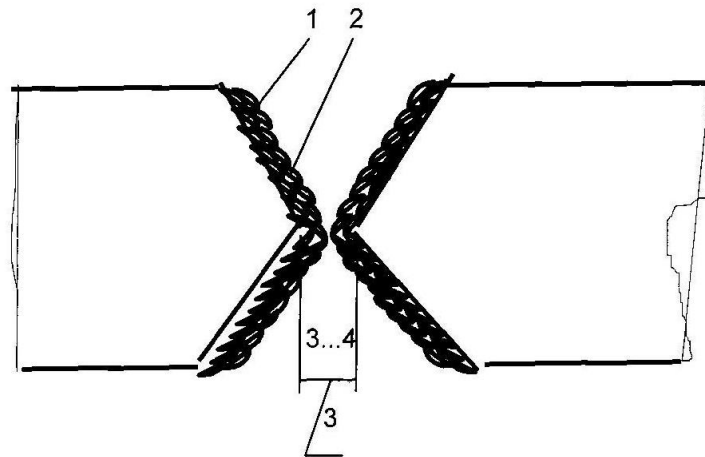


Рис. 8. Схема виконання облицювальних швів
 1,2 – облицювальні шари; 3 – мінімальний зазор кромки в з'єднанні

Табл. 10. Режими зварювання залежно від просторового положення шва

Положення шва в просторі	Сила зварювального струму для електроду, А	
	Ø 3.0 мм	Ø 4,0 мм
Нижнє	110 – 130	150 - 170
Вертикальне знизу ввєрх	90 – 110	130 - 140
Стельове	90 – 110	130 - 140

Після видалення шлакової корки шов зачищають до металевого блиску і перевіряють якість наплавленого металу. При появі на поверхні шва дефектів (тріщин, сильної пористості і т.п.) дефектне місце видаляють механічним способом до “здорового” металу і зварюють знову.

С метою зменшення рівня зварювальних розтягуючих напружень здійснюють пошарову проковку шва. При цьому обробку розпочинають не раніше, ніж буде виконаний третій шар шва. Проковка кореневого валика недопустима тому, може привести до утворення в ньому тріщин. Проковку металу здійснюють після його охолодження до температури 100°С механізованим інструментом, наприклад, пневматичним зубилом або електроперфоратором з швидкістю руху бійки діаметром (на кінці 3...4 мм) до 60...100 м/с.

Зварені шви не повинні мати різких переходів від основного до наплавленого металу, грубої луски, напливів, пор, підрізів, раковин, тріщин всіх видів і напрямків, непроварів.

Зварювання з'єднань з Х – подібною розробкою кромки необхідно виконувати з одночасним заповненням розробки з обох сторін – зварювання здійснюють два зварника.

Заповнення розробки кромки, особливо, великої довжини (більше 350 мм) слід виконувати короткими ділянками. Для цього зварне з'єднання умовно розбивають на ділянки і блоки (рис. 9), довжина яких, не повинна перевищувати

200мм. Зварювання окремих ділянок необхідно виконувати в шаховому порядку для того, щоб зварники одночасно не варили одну і ту ж ділянку зварного з'єднання. Всередині блоку зварювання слід здійснювати каскадом (рис. 10). Зварювання з'єднань у вертикальному положенні необхідно виконувати способом знизу - вверху.

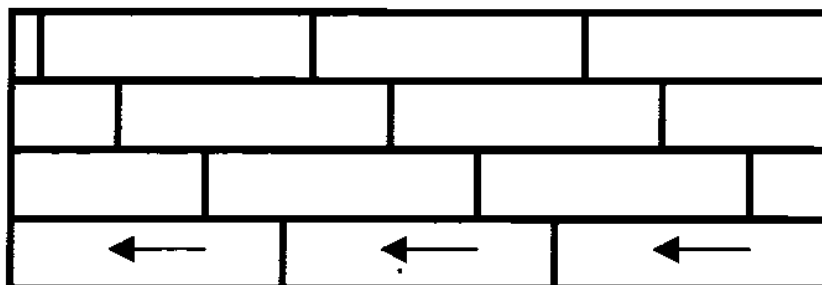


Рис. 9. Схема зварювання тріщин блоками

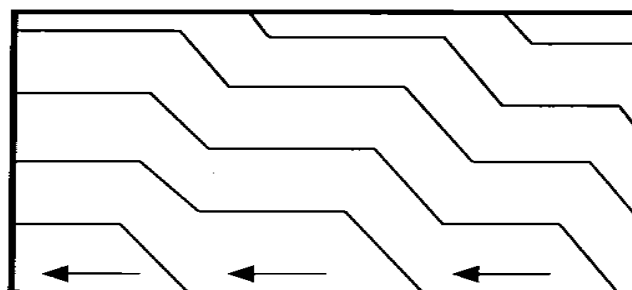


Рис. 10. Схема способу зварювання каскадом

Кожне зварне з'єднання після повного заповнення розробки кромки необхідно на протязі 3...4 годин прогрівати полум'ям газового пальника на відстані 300...450мм по обидві сторони від шва. Після повного завершення зварювально-ремонтних робіт всі шви піддають ультразвуковій ударній обробці і перевірці методами неруйнівного контролю.

Перед проведенням неруйнівного контролю заварені місця корпусних деталей і конструкцій повинні бути ретельно очищені, обезжирені, поверхні захищені з використанням механічної обробки, промиті і просушені.

В ремонтних зварних з'єднаннях і навколошовній зоні не допускаються наступні дефекти:

- тріщин всіх видів і напрямків;
- непровари в корені шва глибиною більше 15% товщини металу, але не більше 3 мм;
- свищи, незаварені кратери, подрізи глибиною більше 1 мм;
- окремі шлакові включення діаметром більше 3мм; шлакові включення або пори, які розташовані на ділянці вздовж осі шва при сумарній їх довжині, що перевищує 200мм на 1 м шва;
- скупчення пор і шлакових включень в окремих ділянках шва в кількості більше 5 шт. на 1 см² площі шва при діаметрі одного дефекту більше 1,5мм;

- впадини між валиками і луска на поверхні шва глибиною більше 1 мм;
- шлакові включення або пори, що утворюють лінію вздовж шва.

Розроблені технологічні заходи по ремонтному зварюванню корпусних деталей і конструкцій з литих вуглецевих сталей 25Л, 35Л дозволяють суттєво знизити температуру попереднього підігріву та зменшити негативний вплив розтягуючих напружень. Разом з тим, накопичений досвід ремонту таких виробів свідчить про достатню складність технологічного процесу ремонтного зварювання.

Для здійснення ремонту зварюванням корпусних деталей і конструкцій необхідно формувати робочі бригади для безперервного виробничого циклу, до складу яких включають інженерно-технічних робітників, кваліфікованих зварників та інших робочих, що мають відповідні знання і досвід виконання ремонтного зварювання і неруйнівного контролю таких виробів.

Перед проведенням неруйнівного контролю заварені місця корпусних деталей і конструкцій повинні бути ретельно очищені, обезжирені, поверхні захищені з використанням механічної обробки, промиті і просушені.

В ремонтних зварних з'єднаннях і навколошовній зоні не допускаються наступні дефекти:

- тріщин всіх видів і напрямків;
- непровари в корені шва глибиною більше 15% товщини металу, але не більше 3 мм;
- свищи, незаварені кратери, подрізи глибиною більше 1 мм;
- окремі шлакові включення діаметром більше 3мм; шлакові включення або пори, які розташовані на ділянці вздовж осі шва при сумарній їх довжині, що перевищує 200мм на 1 м шва;
- скупчення пор і шлакових включень в окремих ділянках шва в кількості більше 5 шт. на 1 см² площі шва при діаметрі одного дефекту більше 1,5мм;
- впадини між валиками і луска на поверхні шва глибиною більше 1 мм;
- шлакові включення або пори, що утворюють лінію вздовж шва.