

МІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Носов Д.Г.

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

з дисципліни

«Газотермічна обробка матеріалів»

для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня

зі спеціальності 131 «Прикладна механіка»

за освітньо-професійною програмою «Прикладна механіка»

усіх форм навчання

Затверджено
редакційно-видавничою секцією
науково-методичної ради ДДТУ

«___» _____ 2019 р., протокол № ___

Кам'янське
2019

Розповсюдження і тиражування без офіційного дозволу Дніпровського державного технічного університету заборонено.

Конспект лекцій з дисципліни «Газотермічна обробка матеріалів» для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня зі спеціальності 131 «Прикладна механіка» за освітньо-професійною програмою «Прикладна механіка» усіх форм навчання / Укл. Д.Г.Носов – Кам'янське, ДДТУ, 2019. - 52 с.

Укладач:

Д.Г. Носов, к.т.н., доцент

Відповідний за випуск:

Д.Г. Носов, к.т.н., доцент, завідувач кафедри ТУЗ

Рецензент:

Самохвал В.М., к.т.н., доцент кафедри ОМТ

Затверджено на засіданні кафедри
(протокол № ___ від «___» _____ 2019 р.)

Коротка анотація видання. До конспекту лекцій увійшли всі розділи дисципліни, передбачені чинними навчальною та робочою програмами. Крім теоретичних відомостей, наведені питання для самоконтролю засвоєння навчального матеріалу, а також перелік рекомендованої літератури.

ЗМІСТ

	Стор.
Тема 1. Кисень, пальні гази їх властивості та контроль якості	4
Тема 2. Апаратура для отримання, зберігання та транспортування газів	10
Тема 3. Полум'я сумішей пальних газів з киснем	12
Тема 4. Газове зварювання	20
Тема 5. Паяння, наплавлення та поверхневий гарт газовим полум'ям	39
Тема 6. Кисневе різання металів	40
Тема 7. Газотермічне правлення	49
Рекомендована література	50

ТЕМА 1. КИСЕНЬ, ПАЛЬНІ ГАЗИ ЇХ ВЛАСТИВОСТІ ТА КОНТРОЛЬ ЯКОСТІ

Кисень

Газоподібний технічний кисень отримують з повітря шляхом низькотемпературної ректифікації, а також шляхом електролізу воду.

Для газополуменевої обробки металів використовують технічний кисень трьох сортів з об'ємною часткою кисню не менше ніж:

1-й сорт – 99,7%

2-й сорт – 99,5%

3-й сорт – 99,2%

Газоподібний кисень - безбарвний газ, без запаху та смаку, добре підтримує горіння. При температурі 182,9°C і тиску 0,101МПа газоподібний кисень переходить у рідкий стан. Кисень є сильним окисником і різко збільшує здатність інших матеріалів до горіння.

При контакті кисню з мастилами, жирами або дрібнодисперсними пальними речовинами (вугільний, органічний пил, ворс тканин та ін.) може відбутись миттєве їх займання з виділенням великої кількості теплоти.

З метою уникнення можливих аварій та нещасних випадків необхідно ретельно знежирити апаратуру, що контактує з киснем.

Кисень, який використовується для газополуменевої обробки металів, може зберігатись та транспортуватись як у рідкому, так і в газоподібному стані.

Кисень зберігається і транспортується в сталевих балонах під тиском 15 МПа. В 40-літровому балоні масою 67 кг за нормальних умов знаходиться близько 8 кг кисню. З одного кілограму рідкого кисню виходить 0,75 м³ рідкого кисню виходить 860 дм³ газу.

Полум'я утворюючі гази

При газотермічній обробці матеріалів в якості полум'яутворюючих газів використовуються ацетилен та гази, що його замінюють: пропан, бутан, метилацетиленаленова фракція (МАФ), газ та ін.

Крім газів використовуються також горючі рідини: бензин, газ.

Ацетилен C_2H_2 – універсальний та найбільш розповсюджений полум'яутворюючий газ, який використовується в процесах газополуменевої обробки металів.

При згорянні у суміші з киснем він дає полум'я з найбільш високою температурою: $3150^{\circ}C$. Його нижня теплота згоряння у суміші з киснем за нормальних умов становить 53 МДж/м^3 .

Технічний ацетилен можна отримати трьома способами:

- розкладанням карбіду кальцію водою;
- з природного газу термоокислюючим піролізом;
- розкладанням рідкого палива (нафти, гасу) дією електродугового розряду (електропіроліз).

Ацетилен – вибухонебезпечний газ. Температура самозагаряння ацетилену в залежності від тиску знаходиться у межах від 240 до $630^{\circ}C$.

Ацетилен випускається і транспортується у двох видах: розчинному та газоподібному.

Газоподібний ацетилен – безбарвний газ із різким специфічним запахом. Газоподібний ацетилен отримують розкладанням карбіду кальцію водою в ацетиленових генераторах:



Це реакція екзотермічна.

Розчинений ацетилен – це розчинений у ацетоні газ. За стандартних умов в одному кілограмі ацетону розчиняється $27,9$ кг ацетилену, або в 1 дм^3

ацетону розчиняється 20 дм³ ацетилену. Розчинність ацетилену в ацетоні збільшується прямо пропорційно тиску.

Ацетилен транспортують в балонах. Балон заповнює

Пориста маса в якій рівномірно розподілений розчин ацетон-ацетилен. Пориста маса, що знаходиться в ацетиленовому балоні, запобігає вибуху ацетилену, а наявність ацетону збільшує кількість ацетилену в балоні.

Граничний робочий тиск ацетилену в балоні становить 1,9 МПа. У 40-літровому балоні масою 52 кг вміщується 5...5,8 кг ацетилену за масою, або 4,6...5,3 м³ за об'ємом.

При зберіганні й використанні ацетилену повинна бути забезпечена достатня вентиляція приміщень з урахуванням правил експлуатації електрообладнання. Використання відкритого полум'я і куріння в приміщеннях, де зберігається ацетилен, заборонено. Межі запалення ацетилену в повітрі при атмосферному тиску – від 2,5 до 83% за об'ємом.

Ацетилен має снотворну дію та при великих концентраціях викликає задуху. Ацетиленопроводи повинні бути сталевими. Деталі, виготовлені з срібла, міді та її сплавів, які вміщують більше 65% міді, не можна використовувати, враховуючи небезпеку утворення вибухових ацетилідів.

Карбід кальцію, що використовується для отримання ацетилену, випускається трьох сортів у грудках різної грануляції. Він активно вступає в хімічну реакцію з водою (1) і може розкладатись парою води, що насичує повітря.

За нормальних умов при розкладанні одного кілограму карбіду кальцію водою утворюється від 240 до 295 дм³ ацетилену в залежності від сорту та грануляції.

Враховуючи, що карбід кальцію взаємодіє з вологою, яка знаходиться у повітрі, для запобігання утворення вибухонебезпечної ацетиленової суміші карбід кальцію зберігається та транспортується у герметичних сталевих гофрованих барабанах місткістю 100 дм³ або у спеціалізованих герметичних контейнерах.

Гази-замінники ацетилену

Гази замінники ацетилену застосовуються у тих процесах газополуменевої обробки, для яких не має потреби в дуже високих температурах для нагрівання. До таких процесів належать зварювання легкоплавких матеріалів, зварювання тонколистової сталі, паяння твердими та м'якими припоями, газокисневе різання, поверхнєве гартування, нагрівання для очищення деталей, термічне правлення.

При використанні газів-замінників порівняно з ацетиленом температура полум'я нижче, а теплотворна здатність нижча не завжди. Щоб отримати однакою теплову потужність полум'я, як правило, необхідне збільшення витрат суміші та, як наслідок, збільшення діаметрів сопел і об'єму струменя газової суміші та розмірів полум'я. Це веде до зменшення тепломісткості полум'я та зниженню концентрованості нагрівання.

Площа нагрівання металу зростає у 2,5...4 рази, а розміри зварювальної ванни у 1,5...2 рази. Для отримання однакової з ацетилено-кисневим полум'ям продуктивності нагрівання металу при роботі з замінниками ацетилену користуються коефіцієнтом заміни ацетилену ψ , який визначається співвідношенням витрат газу-замінника ацетилену й витрат ацетилену, при рівній тепловій дії на матеріал, що нагрівається:

$$\psi = \frac{V_{\text{газ}}}{V_{\text{C}_2\text{H}_2}} \quad (2)$$

Полум'яутворюючі гази-замінники поділяють на дві групи: стиснені та зріджені.

Зрідженими газами називають вуглеводневі гази та їх суміші, які за стандартних умов знаходяться у газоподібному стані, а при відносно невеликому підвищенні тиску або зниженні температури переходять в рідкий стан.

До зріджених вуглеводних газів належать:

- пропан технічний;
- бутан технічний;
- пропан-бутанова суміш (за стандартом);
- газ МАФ – метил ацетилен-аленова фракція.

Пропан, бутан та їх суміш зберігаються та транспортуються у сталевих балонах місткістю 33 та 45 кг під тиском 1,6 МПа.

У балоні місткістю 50 дм³ при тиску 1,6 МПа зберігається 12 м газу. Маса балону без газу – 22 кг. Балон має червоний колір з написом назви газу.

При використанні технічного пропану відбір газу можливий при температурі до мінус 25°C.

При використанні пропан-бутанової суміші відбір газу можливий при температурі не нижче плюс 8°C.

Ці гази використовуються при зварюванні сталевих деталей товщиною до 6 мм, зварюванні та паянні чавуну, кольорових деталей та сплавів, поверхневому та роз'єднувальному різанні, при поверхневому гартуванні, нагріванні при температурному правленні.

Метилацетилен-аленова фракція (МАФ) за тепловими властивостями є проміжною між ацетиленом і пропан-бутановою сумішшю. МАФ зберігається і транспортується в стандартних балонах та цистернах для пропану.

У балоні місткістю 50 дм³ зберігається 21 кг газу, що може замінити 3...4 балона ацетилену або 160...200 кг карбїду кальцію.

Технологія виконання робіт, робочий інструмент такий, як і при використанні ацетилену.

Допоміжна апаратура: газові редуктори, запобіжні затвори і таке інше – ті самі, що і для зрідженого газу (пропану).

МАФ має більш «м'яке» полум'я, ніж ацетилен, що дає переваги при роботі з металами малих товщин, кольоровими металами та контурному різанні виробів.

Стисненими газами називають *гази, що при звичайних умовах зберігання та транспортування не переходять у рідкий стан ні при якому тиску.*

До газів, що стискаються, належать:

- водень;
- метан;
- природі газу;
- коксовий, нафтовий та інші.

Водень – газ без кольору, запаху і смаку, у 14,4 рази легше за повітря. Випускають водень трьох марок: А, Б, В. для зварювання використовують Н₂ марки А (99,9%) або Б (99,95%).

Технічний водень зберігають і транспортують у сталевих балонах місткістю 40 та 50 л під тиском 15 МПа. Балон темно-зеленого кольору з червоним написом «Водень». У балоні місткістю 40 дм³ масою 58,5 кг при тиску 15 МПа міститься 6 м³ газоподібного водню.

Враховуючи високу небезпеку при роботі з воднем, низьку теплотворну здатність, невисоку температуру полум'я, а також невисоку економічну ефективність, водень застосовують рідко, в основному для підводного різання на глибинах більше 10 м.

Водень можна застосовувати для зварювання сталевих деталей товщиною до 3 мм, зварюванні і паянні мідних сплавів, зокрема латуні.

Природні гази за складом визначаються газовим родовищем і вмістом граничних вуглеводневих з'єднань типу C_nH_{2n+2} з повною кількістю (близько 97,8%) металу.

Перевага використання природного газу в тому, що в основному він подається споживачу по трубопроводах.

Природні гази можна застосовувати для поверхневого роз'єднувального різання, зварювання легкоплавких металів, паяння, газополуменевого гартування.

Крім перелічених газів-замінників ацетилену можна використовувати коксовий газ, сланцевий газ тощо.

Або рідке пальне – газ (тільки освітлений) та бензин (використання етильованого бензину заборонено).

Контрольні запитання

1. Які властивості кисню, його значення при газотермічній обробці матеріалів?
2. Які властивості ацетилену, його значення при газотермічній обробці матеріалів?
3. Надайте визначення полімеризації та вибухового розпаду ацетилену.
4. Яким чином можна зменшити вибухонебезпечність ацетилену?
5. Яким чином отримують ацетилен для газотермічних робіт?
6. Які властивості кальцію та від чого залежить швидкість його розкладання в воді?
7. Які пальні гази використовують як гази-замінники ацетилену?
8. Як визначають коефіцієнт заміни ацетилену ϕ ?

ТЕМА 2. АПАРАТУРА ДЛЯ ОТРИМАННЯ, ЗБЕРІГАННЯ ТА ТРАНСПОРТУВАННЯ ГАЗІВ

Призначення та класифікація ацетиленових генераторів. Основні вимоги до ацетиленових генераторів. Конструктивні особливості деяких типів ацетиленових генераторів. Зворотний удар полум'я. Водяні запобіжні затвори, їх призначення та класифікація. Сухі затвори.

Балони, вентилі та редуктори для стиснутих газів. Класифікація, маркування, кольори умовного фарбування, випробування. Основні робочі характеристики редукторів. Основи безпечної експлуатації редукторів.

Трубопроводи і арматура для газових комунікацій. Розрахунки трубопроводів. Газорозбірні пости, шланги (рукава) для газів. Перепускні

рампи. Центральні запірні вентиля. Газові рубильники. Поплавкові витратоміри (ротаметри).

Профілактичний огляд та ремонт апаратури для газоживлення. Техніка безпеки при обслуговуванні апаратури для газоживлення.

Контрольні запитання

1. Назвіть основні типи ацетиленових генераторів та поясніть принцип їх роботи?
2. Що таке зворотний удар полум'я?
3. Назвіть причини його виникнення.
4. Поясніть залежність швидкості витікання пального із сопла, при якому виникає зворотній удар полум'я, від температури та складу суміші.
5. Що називають запобіжними затворами?
6. Основні вимоги, яким повинні відповідати запобіжні затвори.
7. Для чого потрібні хімічні очисники?
8. Які вимоги ставлять до газових балонів?
9. Розкрийте основні вимоги до кисневих, ацетиленових та пропан-бутанових вентилів?
10. Для чого служать редуктори та як вони класифікуються?
11. Розкрийте основні робочі характеристики редукторів.
12. Поясніть такі несправності, як:
 - вигоряння кисневих редукторів;
 - “замерзання” кисневих редукторів;
 - нещільність клапана редуктора.
13. Поясніть рівняння рівноваги механізму редуктора?
14. Поясніть принцип розрахунку трубопроводів низького, середнього та високого тиску?

ТЕМА 3. ПОЛУМ'Я СУМІШЕЙ ПАЛЬНИХ ГАЗІВ З КИСНЕМ

ПОЛУМ'Я СУМІШЕЙ ПАЛЬНИХ ГАЗІВ З КИСНЕМ

Процес горіння і будова полум'я

Горінням називається реакція що швидко протікає та супроводжується великим виділенням теплоти. При цьому гази, що утворюються, нагріваються до температури їх свічення.

Більшість реакцій горіння протікає внаслідок з'єднання різних речовин з киснем. Стосовно до металів такий процес горіння більш правильно називати інтенсивним окисленням.

Однак метали можуть горіти не тільки в кисні. Мідь і залізо можуть горіти в парах сірки, окисел натрію або барію у вуглекислому газі.

При газотермічній обробці матеріалів застосування знайшло полум'я, що утворюється при згорянні суміші горючого газу або пар горючої рідини з киснем.

Горіння газової суміші починається із запалення її при якійсь певній для даних умов температурі. Теорія горіння газів показує, що температура запалення горючої суміші не є фізичною константою.

За умов виділення достатньої кількості теплоти для підтримки горіння нових порцій горючої суміші, нагрів газу зовнішнім джерелом теплоти стає зайвим.

Однак стійкий процес горіння можливий тільки тоді, коли теплота, що виділяється при згоранні газової суміші, виявляється достатньою не тільки для нагріву об'ємів газу, що ще не запалали, але і для компенсації втрат теплоти в довкілля. У залежності від швидкості запалення горючої суміші (швидкості поширення полум'я) процеси горіння діляться на наступні види:

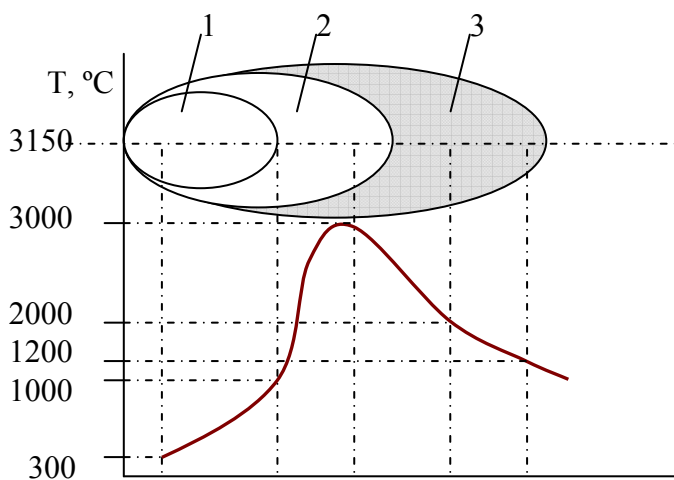
- спокійне горіння $U_{CC} \leq 15$ м/сек;
- вибухове горіння $U_{CC} < 1000$ м/сек;
- детонаційне горіння $U_{CC} > 1000$ м/сек.

Швидкість поширення полум'я залежить в основному від складу газової суміші, тиску, характеристик середовища, в якій відбувається горіння, і термомеханічних умов на її кордоні.

Від складу горючої суміші, тобто від співвідношення кисню і горючого газу, залежать також зовнішній вигляд, температура і вплив полум'я на розплавлений метал.

Всі горючі гази, що містять вуглеводи, утворюють полум'я, яке має три чітко помітні зони: ядро, середню - відновну і факел (див. мал.). Чим більше вуглеводородів в складі горючого газу, тим різкіше окреслено світлове ядро полум'я. Воднево-кисневе полум'я помітних зон не має, що утрудняє його регулювання за зовнішніх ознак.

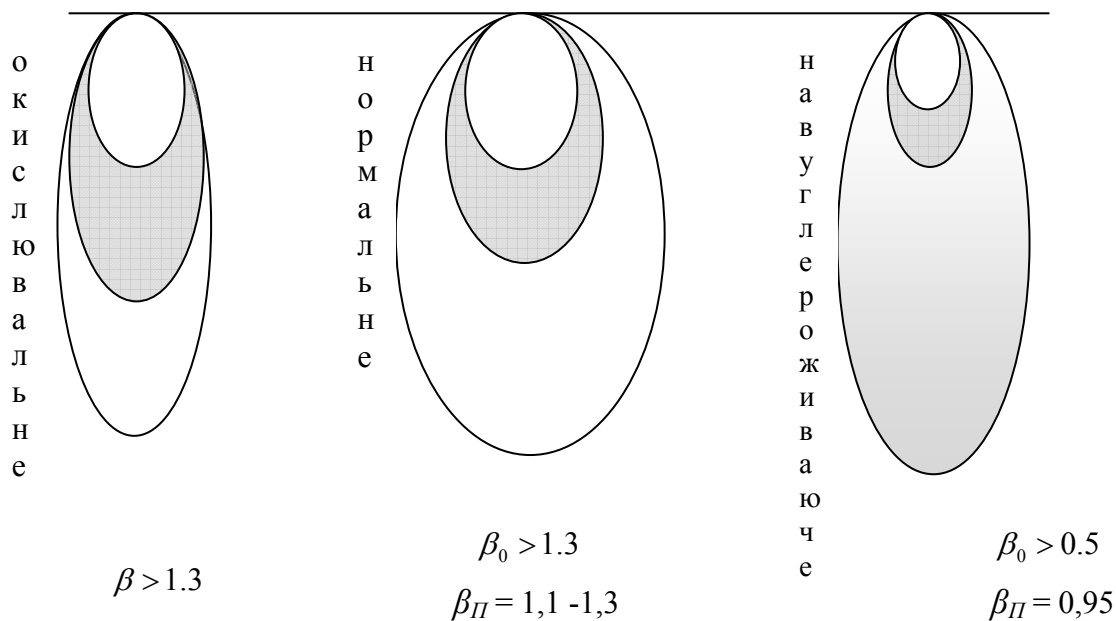
Для кожної суміші горючих газів з киснем існує максимальна швидкість запалення, відповідна певному співвідношенню суміші кисню з горючим газом β_0 .



Найбільше поширеним паливом при газотермічній обробці матеріалів є ацетилен, тому надалі основна увага буде приділена ацетилену-кисневому полум'ю.

По співвідношенню суміші газокислородне полум'я прийнято ділити на нормальне, окислювальне і науглецьовувальне.

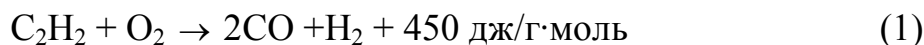
Нормальне полум'я характеризується відсутністю вільного кисню і вуглецю в його відновній зоні. Теоретично для отримання нормального полум'я на один об'єм кисню необхідний один об'єм ацетилену. Практично



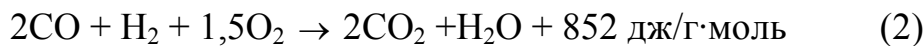
кисню в пальник подають трохи більше — від 1,1 до 1,3 від об'єму ацетилену.

У нормальному полум'ї яскраво виражені всі три зони. Реакції, що характеризують процес горіння нормального ацетиленкислородного полум'я в першому наближенні можуть бути представлені в наступному вигляді:

1) за рахунок кисню, що поступає з пальника



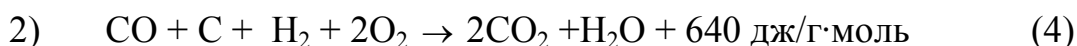
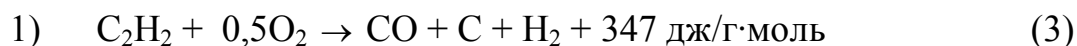
2) за рахунок кисню повітря



Ядро має різко окреслену форму, що плавно закругляється в кінці, з яскраво світловою оболонкою, яка складається з розжарених часток вуглецю. Вільний вуглець з'являється у вигляді найдрібніших часток сажі, та із збільшенням кількості ацетилену кількість вільного вуглецю різко зростає. Зона яскравого світіння, яка насичена розжареними частками сажі, розширяється. При подальшому підвищенні вмісту ацетилену в суміші

середня зона полум'я (область запалення), зникає повністю і полум'я стає сильно кіптовим.

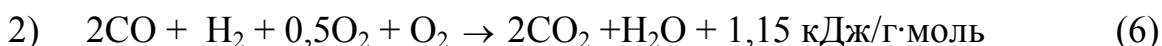
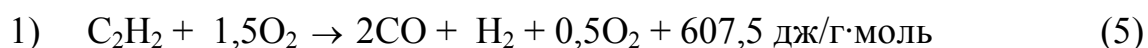
Таке полум'я називають науглецьовувальним. Оптимально для його отримання в пальник на один об'єм ацетилену подається 0,95 і менше за об'єм кисню. При відношенні $\beta_0 = 0,5$ реакції горіння може бути представлено в наступному вигляді:



Надмірний вуглець, що знаходиться в полум'ї легко поглинається розплавленим металом і погіршує якість металу шва. Злегка науглецьовувальне полум'я застосовують для зварювання чавуна і при наплавці.

Окислювальне полум'я виходить при надлишку кисню ($\beta > 1,3$). При цьому ядро полум'я набуває конусоподібну форми, значно скорочується по довжині. Конттури полум'я стають менш вираженими по зонах. За рахунок активного окислення скорочуються також по довжині середня зона і зона повного згорання (факел). Полум'я горить з шумом, рівень якого залежить від тиску кисню.

При співвідношенні $\beta_0 = 1,5$ реакції горіння може бути представлено в наступному вигляді:



Як видно, температура окислювального полум'я вище за температуру нормального, однак його застосування для отримання зварних з'єднань обмежене. Надлишок кисню приводить до окислення металевої зварної ванни, шов утворюється пористим і крихким. Окислювальне полум'я можна застосовувати при зварюванні латуні і пайці твердими припоями.

Сучасна теорія горіння ацетилен-кисневого полум'я розглядає наступні стадії або періоди:

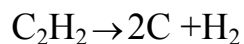
→ Стадія підготовки пального до згорання;

→ Стадія запалення;

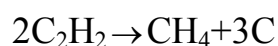
→ Стадія догорання.

Стадія підготовки пального до згорання (або період індукції) протікає в ядрі полум'я і характеризується наявністю пирогенного (теплого) розкладу ацетилену в рівновазі з киснем.

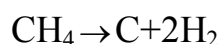
Простий пирогенний розклад (без участі O_2) полягає в розпаді пального при температурі 800-1250 °С на складові — вуглець і водень



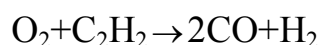
При цьому, як проміжний продукт можливе утворення метану CH_4



При температурі понад 1000 °С метан розпадається

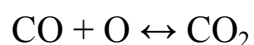


У присутності кисню температура початку розкладу ацетилену знижується, а швидкість процесу зростає. Внаслідок ланцюга реакцій послідовного окислення і розкладу, при збереженні термохімічного балансу, утворюються найбільш стійкі продукти — CO і H_2 .

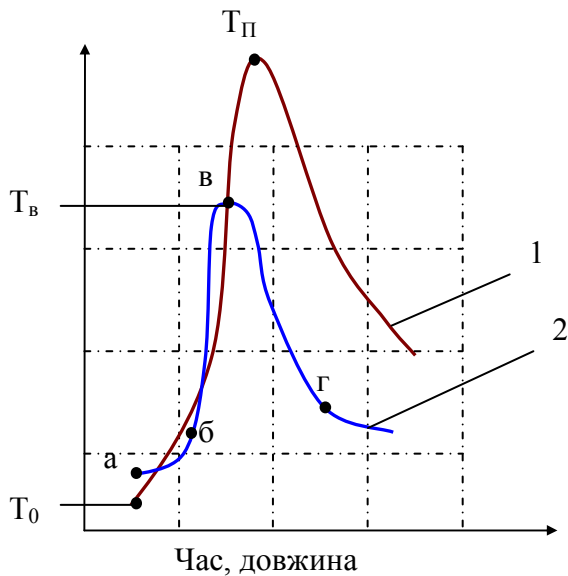


Однак насправді в процесі розкладу деяка частина C_2H_2 розкладається на елементи, внаслідок чого утворюється вільний вуглець у вигляді найдрібніших часток сажі. І як було сказано вище, чим більше в суміші ацетилену, тим більше сажі утвориться.

Стадія запалення (середня зона полум'я) характеризується прискоренням окислювальних процесів. У цей період CO і H_2 активно окислюються з утворенням CO_2 і H_2O (пар):



Стадія догорання (факел полум'я). На цій стадії протікає процес



окислення (догорання) продуктів пирогенного розкладу ацетилену з використанням в більшій мірі кисню повітря. Утворяться кінцеві продукти CO_2 і H_2O , при цьому спостерігається різке падіння швидкості процесу горіння.

Згідно з теорією академіка Н.Н.Семенова, графіки зміни швидкості процесу горіння (крива 1) і зміни температури горючої

суміші в процесі горіння (крива 2) можна представити у вигляді:

а-б--стадія підготовки (період індукції);

точка б--кінцевий момент індукції;

б-в--стадія запалення;

точка в--момент запалення;

в-г--стадія догорання;

T_0 - початкова температура;

T_v -- температура запалення;

$T_{п}$ -- максимальна температура полум'я.

Хімічні властивості ацетилен-кисневого полум'я

Хімічний склад полум'я в різних його частинах вельми неоднорідний. Він залежить від складу газової суміші і від умов підсосу повітря полум'ям. Для процесу зварювання найбільший інтерес представляє склад середньої зони.

Хімічний склад полум'я може бути визначений розрахунковим методом, хімічним і спектральним аналізом.

Хімічний аналіз складу полум'я не може претендувати на велику точність результатів, оскільки при відборі проб з різних зон полум'я можлива

зміна складу газу при охолодженні. Тому практично неможливо визначити склад нестійких проміжних продуктів пирогенного розкладу.

Найбільш точно хімічний склад полум'я визначають методом спектрального аналізу.

Розрахунковий метод базується на теорії термодинамічних процесів і більш придатний до ідеальних систем, але на основі розрахункових даних і з урахуванням даних безпосередніх аналізів складу полум'я можна зробити наступні висновки:

1. При співвідношенні кисню до ацетилену в суміші по об'єму $\beta_0 = 1,1 \dots 1,2$ зміст CO та H_2 в середній зоні полум'я досягає максимальних значень, складаючи для CO 60...66 %, для H_2 34...40%.
2. З збільшенням відношення кількість CO та H_2 в середній зоні полум'я зменшується, а кількість CO_2 та H_2O зростає.
3. Вміст в полум'ї атомарного водню більше, ніж молекулярного.
4. По мірі видалення від внутрішнього ядра полум'я як в подовжньому, так і в поперечному напрямках кількість CO та H_2 зменшується, а кількість CO_2 , H_2O та N_2 зростає.
5. Довжина середньої відновної зони полум'я вельми невелика і вона зменшується із збільшенням вмісту кисню в полум'ї.

Склад полум'я безпосередньо впливає на властивості матеріалу, який підлягає газотермічній обробці. Отже, ефективність і якість ГТО напряму залежать від того на скільки правильно вибрані склади сумішей горючих газів з киснем і режими термічної обробки.

Основи регулювання складу зварювального полум'я розроблені проф. Шашковим А.Н. Він пропонує відмовитися від терміну «нейтральне полум'я», оскільки по справжньому нейтральне полум'я при даному складі, температурі і тиску не окислює і не раскислює метал, знаходячись в рівновазі і з металом і з його оксидом.

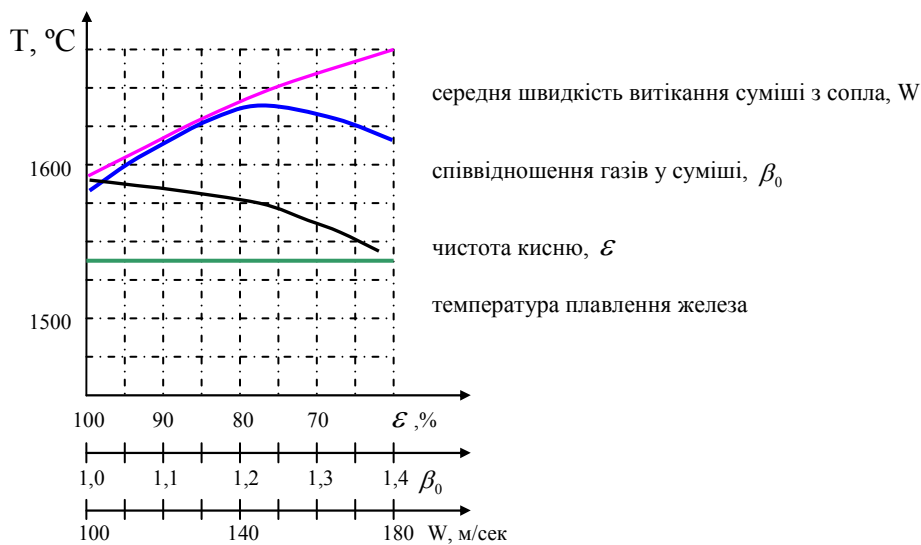
Однак, при грубому регулюванні полум'я імовірність отримання нейтрального полум'я вельми мала.

Практичний інтерес представляє визначення оптимального діапазону регулювання складу полум'я, який забезпечував би отримання необхідних властивостей матеріалу, що обробляється.

Нижня межа відношення β_0 визначається кількістю кисню, який необхідний для окислення всього вуглеводу в CO (формула 1).

Верхня межа змісту кисню встановлюється з умови гетерогенної рівноваги CO і H₂ із закисом (заліза) металу FeO (формула 6).

Узагальнені дані можна представити у вигляді графіка:



Контрольні запитання

1. Поясніть загальні принципи теорії горіння газоподібних паливних?
2. Поясніть загальні принципи визначення оптимального складу сумішей паливних газів з киснем при газовому зварюванні?
3. Структура та види газокисневого полум'я?
4. За яких ознак вибирають вид газового полум'я?
5. Як взаємодіє метал зварної ванни із зварювальним полум'ям?
6. Наведіть реакції які проходять в зварній ванні?
7. Які заходи проводять з метою покращення структури та механічних властивостей металу шва?

ТЕМА 4. ГАЗОВЕ ЗВАРЮВАННЯ

Пальники для газового зварювання

Зварювальним пальником називається пристрій, що служить для змішування горючої рідини з киснем і отримання зварювального полум'я. Зварювальний пальник є основним робочим інструментом для газового зварювання, паяння, наплавлення і нагріву.

Будова пальника, незалежно від її конструктивних особливостей, повинна забезпечувати:

- змішування газів в потрібній пропорції;
- подачу газів до місця утворення полум'я (мундштук);
- стійку підтримку полум'я і регулювання його складу, тобто співвідношення кисню і пального газу.

Зварювальні пальники згідно ГОСТ 1077-69 поділяються таким чином:

➤ за способом подачі горючого газу і кисню в змішувальну камеру:

- інжекторні;
- без інжекторні.

➤ по роду горючого газу, що застосовується:

- ацетиленові;
- для газів-замінників;
- для рідкого пального;
- водневі.

➤ за призначенням:

- універсальні (зварювання, різання, паяння, наплення);
- спеціалізовані (виконання однієї операції).

➤ по числу одиниць полум'я:

- одновогневі;
- багатовогневі.

➤ по потужності полум'я:

- малої потужності 25-50 дм³/год;
- середньої потужності 50-2500 дм³/год;

- великої потужності 2500-7000 дм³/год.
- за способом застосування:
 - ручні;
 - машинні.

На сучасному етапі розвитку промисловості переважно застосовують ручні інжекторні пальники універсального і спеціалізованого призначення.

Інжекторний пальник — це такий пальник, в якому подача горючого газу в змішувальну камеру здійснюється за рахунок підсосу його струменем кисню. Цей процес підсосу газу більш високого тиску називається інжекцією, а пристрій, що забезпечує цей процес інжектором.

Інжекторні пальники в достатній мірі задовольняють всім вимогам, що пред'являються до газових пальників. Однак істотним недоліком є непостійність складу горючої суміші при нагріванні наконечника пальника або засміченні мундштука. Інжекція зменшується, посилюється окислювальна дія полум'я, потрібним стає додаткове регулювання. Це потрібно враховувати при призначенні машинних (механізованих) технологій.

Діаметр каналу інжектора можна визначити за формулою:

$$d_u = \sqrt{\frac{V_K}{0.45(p+1)}}$$

де, d_u — діаметр каналу інжектора, мм;

V_K — витрата кисню, м³/ч;

P — тиск кисню, МПа.

Приклад. Визначити діаметр каналу інжектора пальника ГС-3, наконечник № 3.

Рішення. Згідно з довідником наконечнику № 3 відповідають наступні показники:

$$V_K = 250-440 \text{ л/г,}$$

$$p_{O_2} = 0,2-0,4 \text{ МПа;} \quad \text{тоді} \quad d_u = \sqrt{\frac{0.44}{0.45(0.4+1)}} = 0.84 \text{ мм,}$$

округляємо до найближчого стандартного значення з призначенням граничного відхилення

$$d_u = 1_{-0,16} \text{ мм}$$

Присаджувальний матеріал і флюси

Газове зварювання є одним з видів зварювання плавленням, при якому джерелом теплоти є газове полум'я.

Процес зварювання може проводитися як з введенням присаджувального матеріалу у зварювальну ванну, так і без нього.

При газовому зварюванні стали механічні властивості шва залежать в основному від надійності захисту зварювальної ванни полум'ям, а також від якості підготовки поверхні і хімічного складу присаджувального дроту.

Основні вимоги до присаджувального дроту для газового зварювання сталі:

- 1) присаджувальний дріт повинен задовольняти вимогам ГОСТ 2246-70;
- 2) діаметр присаджувального дроту повинен відповідати сталі, що зварюється;
- 3) поверхня присаджувального дроту повинна бути обчищена від окалини, іржі, масла, фарби та інших забруднень;
- 4) присаджувальний дріт не повинен давати кипіння зварювальної ванни і розбризкування металу;
- 5) дріт повинен містити мінімально можливу кількість елементів, які погіршують зварюність сталі.

ГОСТ 2246-70 передбачає випуск дроту наступних діаметрів, мм: 0,3; 0,5; 0,8; 1,0; 1,2; 1,4; 1,6; 2,0; 3,0; 4; 5; 6; 8; 10; 12 мм.

Стальний зварювальний дріт суцільного перетину означають індексом Св, потім чередує цифра, що показує вміст вуглецю в сотих частках процента і буквене позначення елементів, що входять до складу дроту.

Умовне позначення легуючих елементів:

марганець — Г; кремній — С; хром — Х; нікель — Н;
молібден — М; вольфрам — В; селен — Е; алюміній — Ю;
титан — Т; ніобій — Б; ванадій — Ф; кобальт — К;
мідь — Д; бор — Р; азот — А; цирконій — Ц.

Для зварювання алюмінію і його сплавів згідно ГОСТ 7871-75 випускається 14 марок дроту наступних діаметрів: 0,8; 1,0; 1,2; 1,4; 1,6; 1,8; 2,0; 2,2; 2,5; 2,8; 3,0; 3,5; 4,0; 4,5; 5,0; 5,5; 6,0; 7; 8; 9; 10; 12.

Св-А97; Св-А5 (99,97; 99,5); Св-Амц; Св-АК5 (5% Si).

Для зварювання міді і її сплавів на мідній основі ГОСТ 16130-72.

Склад і діаметри присадкових стержнів для зварювання сірого чавуна визначаються ГОСТ 2671-70.

Металургійні процеси газового зварювання відрізняються від звичайного металургійного процесу наступним:

- 1) малим об'ємом ванни розплавленого металу;
- 2) місцевим характером нагріву металу концентрованим джерелом теплоти;
- 3) значним перегрівом рідкого металу;
- 4) великою швидкістю нагріву і охолодження металу;
- 5) взаємодією розплавленого металу зварювальної ванни з газами середньої зони полум'я;
- 6) інтенсивним перемішуванням металевої ванни.

Все це вказує на короткочасність процесу, що утрудняє отримання рівноважних фаз.

З теорії металургійних процесів відомо, що чим більше хімічна спорідненість металу з киснем, тим більшу стійкість має його окис і тим важче даний метал відновлюється.

Отже, речовина, що застосовується для відновлення даного металу з оксиду, повинна мати більшу спорідненість з киснем, чим метал, що відновлюється.

При зварюванні низьковуглецевих сталей, при розумно вибраних режимах, оксиди відновлюються газами полум'я.

При зварюванні деяких високолегованих сталей, чавуну, кольорових мет алів і їх сплавів на поверхні утворюються оксиди легуючих компонентів, які переходять у зварювальну ванну і перешкоджають надійному сплавленню металу шва при кристалізації.

Тому при зварюванні таких матеріалів застосовують флюси.

Флюсами називають речовини, що вводяться в зварювальну ванну для розкислення розплавленого металу і витягання з нього оксидів, що утворилися і неметалевих включень.

До зварювальних флюсів висувають наступні вимоги:

- 1) флюс повинен бути легкоплавким і мати більш низьку температуру плавлення, чим температура плавлення основного або присаджувального матеріалу;
- 2) флюс повинен мати здатність швидко реагувати з оксидами металів, а шлак, що утворюється повинен добре захищати метал від повітря і легко відділятися від шва;
- 3) шлак, що утворюється повинен мати меншу питому вагу ,ніж питома вага металу;
- 4) розплавлений флюс повинен добре розтікатися по поверхні рідкого металу.

Видалення з розплавлених металів оксидів і неметалевих включень може здійснюватися хімічним шляхом або розчиненням. У обох випадках реакції протікають по наступній схемі:



якщо при зварюванні утвориться основні оксиди, то флюс повинен бути кислим, і навпаки.

Структурні перетворення в зварному шві і ЗТВ

Велика кількість теплоти, що вводиться в метал при газовому зварюванні, і значна ширина зони основного металу, що піддається нагріву факелом полум'я, обумовлює порівняно повільне охолодження металу шва і менш орієнтоване, ніж при дуговому зварюванні, відведення теплоти при кристалізації зварювальної ванни.

Тому метал шва при газовому зварюванні має крупнокристалеву структуру з більш розвиненою внутрішньокристалевою ліквідацією.

Типова для дугового зварювання стовпчата структура при газовому зварюванні утвориться лише на металах, які мають велику теплопровідність.

При газовому зварюванні сталей, які містять 0,15-0,30 % вуглецю, метал шва може мати відманштеттову структуру. Однак, відманштеттова структура при газовому зварюванні утвориться тільки в тих випадках, коли сталь має велике аустенітне зерно і коли швидкість охолодження металу досить велика.

Чим менше перегрів металу при зварюванні та чим більша швидкість охолодження металу, тим дрібніше зерно в сталі і тим більш високі механічні властивості має метал шва. З цієї точки зору процес газового зварювання доцільно вести з максимально можливою швидкістю.

При газовому зварюванні стали в основному металі навколо шва утворюється зона термічного впливу (ЗТВ), що складається з тих же характерних ділянок, що і при дуговому зварюванні. Однак, ширина цих ділянок значно більша внаслідок менш зосередженого і більш тривалого нагріву металу пломенем.

Ширина ЗТВ залежить від товщини металу, що зварюється, а також від способу і режиму газового зварювання.

Так, наприклад, при зварюванні стали великої товщини правим способом ширина ЗТВ менша, ніж при зварюванні лівим способом. При зварюванні ж стали малої товщини, правий спосіб дає більш широку ЗТВ. Крім того, ширина ЗТВ може мінятися у вельми значних межах від 5 до 30 мм.

Дефекти. Непровар, підрізи, перепал, перегрів, пористість, шлакові включення, тріщини.

Загальна технологія газового зварювання

Типи зварних з'єднань.

Стикове є найбільш поширеним для газового зварювання як малих, так і великих товщин металу. При зварюванні металу до 2 мм виконують відбортовку, або простий стик без зазору. Зварювання виконують без присаджувального матеріалу.

При товщині металу від 2 до 5 мм стикове з'єднання виконується із зазором, без оброблення кромки.

При зварюванні металу до 15 мм — виконують скошування кромки з меншим, ніж при дуговому зварюванні, кутом скосу (45-20°).

При $\delta > 15$ мм рекомендується двостороннє оброблення.

Нахльосточне з'єднання є **небажаним**, а для металу $\delta > 3$ мм недопустимим через велике і **нерівномірне** місцеве розігрівання, в металі виникають значні внутрішні напруження, деформації і тріщини (особливо в жорстких конструкціях).

Таврове з'єднання **допустиме** при зварюванні металу до 3 мм. При великій товщині є **небажаним**.

Кутове з'єднання прийнятно як для малих, так і для великих товщин. У деяких випадках зварювання кутових швів проводять без присаджувального матеріалу.

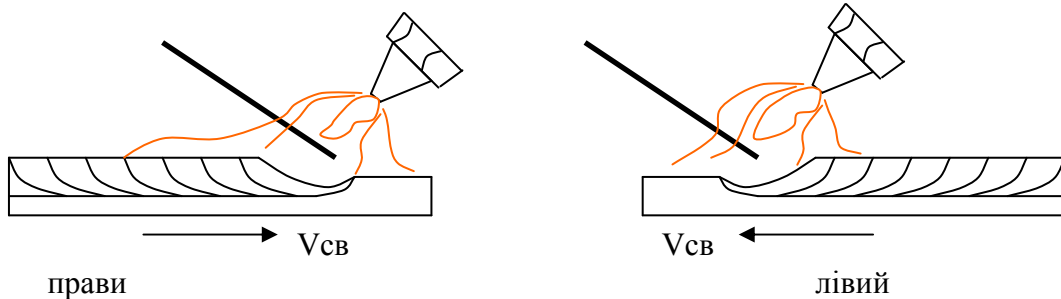
Область застосування і способи газового зварювання.

Газовим зварюванням можуть сполучатися майже всі метали і сплави, що застосовуються в промисловості. Газове зварювання застосовують при виготовленні і ремонті виробів з тонколистової сталі, монтажі труб малого і середнього діаметрів, зварюванні виробів з алюмінію і його сплавів, міді, латуні, свинцю, чавуна.

Розрізняють два способи зварювання: лівий і правий.

При правому способі зварювання полум'я зварювального пальника направлене на шов, і процес зварювання ведеться зліва направо.

При лівому способі полум'я направлене від шва, а пальник переміщається праворуч наліво.



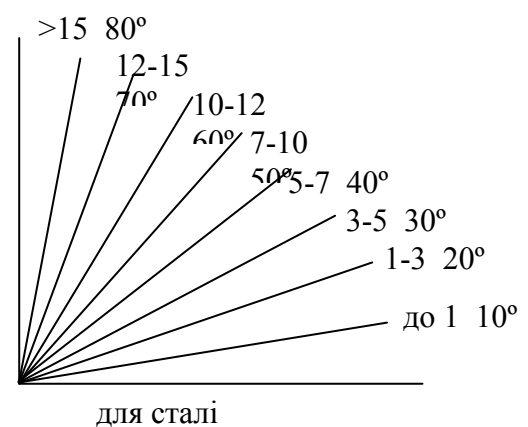
Лівий спосіб застосовується при зварюванні тонких і легкоплавких металів. Правий спосіб доцільно застосовувати при зварюванні деталей товщиною більше за 5 мм, так як продуктивність цього способу на 20-25% вище, а витрата газів на 15-20% менше, при цьому кут скосу кромки може бути менше на 10-15%.

Режими газового зварювання

До основних показників режиму, крім швидкості зварювання, відносяться: кут нахилу пальника, потужність полум'я і діаметр присаджувального дроту.

1. Кут нахилу пальника залежить від товщини і теплофізичних властивостей металу. Із збільшенням товщини металу, кут нахилу мундштука пальника збільшується.

Чим вище температура плавлення матеріалу та чим більше його теплопровідність, тим більший кут нахилу необхідно встановлювати. Наприклад, для міді кут 60-80°, свинцю не більше за 10°.



2. Потужність полум'я, вимірюється часовою витратою пального газу. Чим більш товщина металу, вище його температура плавлення і теплопровідність, тим велику потужність полум'я необхідно вибирати для його зварювання.

Питома витрата ацетилену, л/г на 1 мм товщину.

Метал	Товщина	β_0
Вуглецева сталь	100-130	1,1
Легована сталь	75	1,1
Чавун, тверді сплави	100-120	0,9
Мідь	150-200	1,1
Латунь	100-130	1,3
Алюміній, сплави	75	1,1
Цинк	15-20	1,1
Бронза олов'яна	70-120	1,1
Бронза алюмінієва	100-150	1,1

3. Діаметр присаджувального дроту залежить від способу зварювання і товщини металу, що зварюється.

Для сталі $d_{\text{п}}^{\text{л}} = 0,5S + 1$ лівий спосіб

$d_{\text{п}}^{\text{п}} = 0,5S$ правий спосіб

але не більше за 8 мм.

Маса присаджувального матеріалу $G_{\text{п}}$, кг на 1 погонний метр шва пропорційна квадрату товщини металу, що зварюється.

$$G_{\text{п}} = k_{\text{п}} \cdot S^2$$

для зварювання металу $S < 5$ мм коефіцієнт $k_{\text{п}}$ дорівнює

12 — низьковуглецева сталь;

18 — мідь;

16 — латунь;

6,5 — алюміній.

При товщині металу більше за 5 мм ці значення зменшують на 20-25%.

Приклад. Визначити режими газового зварювання і витрату зварювальних матеріалів для Сталі 08 товщиною 3 мм, з'єднання стикове.

- 1) *кут нахилу 20-25 °;*
- 2) *спосіб зварювання лівий, потужність полум'я 100 л/г на мм;*
- 3) $d_n = 0,5 \cdot 3 + 1 = 2,5$ мм; по ГОСТ 2246-70 найближче більше $d_n = 3,0$ мм;
- 4) *витрата:*
 - ацетилену $100 \cdot 3 = 300$ л/г;
 - кисню $\beta_0 = 1,1$ отже 330 л/г;
 - дроту $G_n = 12 \cdot 32 = 108$ г/п.м.

Витрата газів відповідає наконечнику № 3 пальників малої і середньої потужності типу ГС-3, «Малятко», «Зірка».

Газове зварювання конструкційних сталей.

Сталь. Більшість низьковуглецевих сталей відносяться до першої групи по зварюваності, тобто зварюються добре ацетилен кисневим пломенем без застосування флюсу та інших, ускладнюючих технологію зварювання операцій. Причому, чим менше вміст вуглецю в металі, тим легше здійснюється процес зварювання. Із збільшенням відсоткового змісту вуглецю зростає імовірність утворення крихких структур і пористості металу шва.

Поліпшення структури досягається подальшою проковкой металевого шва при температурі вишнево-червоного розжарювання з повільним охолодженням. Цю операцію рекомендують призначати якщо зварне з'єднання буде працювати на вигин, розтягнення і удар.

При зварюванні сталей із змістом вуглецю понад 0,3% при температурах, близьких до лінії солідуса, в металі шва і НШЗ по кордонах зерен можуть утворюватися гарячі тріщини (під дією внутрішніх напружень внаслідок скованої усадки металу шва).

Холодні тріщини утворюються при швидкому охолодженні, як правило, на завершальному етапі мартенситного перетворення (температура нижче за 200-400° або після зварювання) під впливом місцевих власних термічних напружень, а також напружень викликаних розпадом аустеніта в мартенсит.

Холодні тріщини виникають по кордонах зерен. Зростання аустенітного зерна, і як слідство збільшення крихкості сталі, викликає тривала витримка металу при температурах вище критичної точки A_{c3} . А характерна для газового зварювання підвищена швидкість охолодження, сприяє утворенню мартенситу не тільки в структурі шва, але і в основному металі.

Тому газове зварювання слід використовувати переважно для з'єднання тонколистового металу ($\delta < 5$ мм).

Високовуглецеві сталі погано піддаються газовому зварюванню через посилене вигорання вуглецю і утворення гартувальних структур. Метал шва містить включення і газові раковини.

Низьковуглецеві сталі.

0,06-0,15 % вуглецю (котельна, резервуари, цільнотянуті труби).

Зварюванність – добра. Шов – не загартовується.

0,15-0,25 % вуглецю (лита сталь, казани, труби, подовжні вали, сортова сталь). Зварюванність — добра. Шов — злегка загартовується, але обробляється ріжучим інструментом.

Присаджувальний матеріал Св-08, 08А, 12ГС, 08ГС, 08Г2С.

Флюс не потрібно.

Питома потужність полум'я 100-130 л/г · 1 мм лівий

130-150 л/г · 1 мм правий

Склад полум'я нормальне $\beta = 1,0-1,1$

Термічна обробка — не потрібна.

Для виробів, що не підлягають задачі Держгіртехнагляду можливо застосування газів-замінників, при цьому:

- для пропан - бутану $V = 60-75$ л/година на 1 мм, лівий, полум'я нормальне або злегка окислювальне $\beta = 3,5-3,8$;
- для міського газу $V = 180-220$ л/година на 1 мм, лівий, полум'я нормальне або злегка окислювальне $\beta = 1,5-1,7$.

Середньовуглецева сталь.

0,25-0,45 % вуглецю (осі, шатуни, шестерні).

Зварюванність — задовільна.

Присаджувальний матеріал Св-08ГА, 10ГА, 08ГС.

Флюс — бура прокалена.

Зварювання потрібно вести з максимальною швидкістю, однак не рекомендується збільшувати швидкість за рахунок застосування потужних пальників. Навпаки, потрібно використати полум'я зниженої потужності 75 л/г · 1 мм. Це дає можливість уникнути перегріву металу.

Збільшення швидкості зварювання V_{CB} досягається попереднім підігріванням.

Питома потужність полум'я — 75 л/г · 1 мм правий.

Склад полум'я — злегка навуглецьовувальне $\beta = 0,9-1,0$.

Термічна обробка — попередній підігрів (ПП) загальний до 300-400°C;

місцевий до 650-700°C.

Після зварювання:

- а) високотемпературний отпуск при 600-650°C з подальшим охолодженням на повітрі;
- б) проковка при температурі світло-червоного гартування (850-900°C) молотком, плюс, нормалізація при 900°C з подальшим охолодженням на повітрі.

Зварювання проводять тільки при позитивних температурах. Застосування газів-замінників не допустиме.

Зварювання низьколегованих сталей перлітного класу.

1. *Низьколеговані конструкційні сталі (15ХСНД)* характеризуються підвищеною міцністю, доброю зварюваністю і підвищеним опором атмосферної корозії. Технологія зварювання низьколегованих сталей аналогічна технології зварювання низьковуглецевих сталей. Полум'я нормальне. Спосіб зварювання лівий або правий, в залежності від металу. Для підвищення щільності металу шва доцільно застосовувати проковку при світло-червоному гартуванні (800-850°C). Для поліпшення пластичних властивостей зварного з'єднання, після проковки його піддають нормалізації. Флюс при зварюванні здебільш не застосовують.

2. *Теплостійкі молібденові і хромомолібденові сталі (12М, 15М, 20М, 12ХМ, 20ХМ, 30ХМ)* застосовують в основному для виготовлення труб і трубних конструкцій в казанах високого тиску.

Газове зварювання теплостійких сталей можливе, але необхідно враховувати їх схильність до загартування на повітрі (особливо при температурах нижче за 0°C).

Тому, при призначенні технології зварювання таких сталей необхідно враховувати наступне:

- 1) Молібден підвищує прочностні властивості сталі, не знижуючи її пластичності і в'язкості; зменшує схильність сталі до повзучості, додає їй дрібнозернистість, сприяє глибокій прокаливаемости;
- 2) Хром підвищує межу повзучості і жаростійкість молібденової сталі; утворює на її поверхні тонкий шар щільних, тугоплавких оксидів;
- 3) При негативних температурах і/або при товщині металу більше за 10мм, газове зварювання сталі виконують з місцевим ПП до 250-300°C з подальшою термічною обробкою;
- 4) Зварний шов виконують окремими дільницями (15-25 мм). При товщині металу до 5 мм в один, при товщині більше за 5 мм — в два шари;
- 5) Потрібно уникати перегріву рідкого металу зварювальної ванни;

- б) Для усунення внутрішніх напружень, поліпшення структури і механічних властивостей зварного з'єднання стик після зварювання піддають місцевій термічній обробці на ширину, яка не менш ніж в 5 раз перевищує ширину зварного шва.

Режими термічної обробки для сталей марок 15М, 20М:

- нормалізація при температурі 900-930°C, витримка 1,0-1,5 хвилини на 1мм товщини металу, спокійне охолодження. Якщо сталь містить менше за 0,2% вуглецю замість нормалізації можна застосовувати низькотемпературний віджиг - нагрів до 680-700°C, витримка 1,5 хв/мм, охолодження до 300°C зі швидкістю менше за 50°C в хвилину, потім спокійне охолодження на повітрі.
- для сталей марок 12ХМ, 20ХМ. Нагрів до 930-950°C; витримка 1,5 хв/мм, охолодження до 300°C з швидкістю менше за 25°C в хвилину і повне охолодження в спокійному повітрі.

Основні параметри і режими газового зварювання низьколегованих сталей.

Система легування: ХСНД

Св-08, 08А, 10Г2;

$V_{\text{газ}} = 75-100 \text{ л/г} \cdot 1\text{мм}$, лівий

$V_{\text{газ}} = 100-130 \text{ л/г} \cdot 1\text{мм}$, правий

Склад полум'я суворо нормальне $\beta = 1,1$.

Флюс: не потрібно.

Термічна обробка: не потрібно.

Система легування: М, ГМ

Св-10МХ; 10НМ; 08ХНМ; 18ХМА; 19ХМА.

3. *Хромокремнемаргонцовисті сталі - хромансиль (20ХГС, 25ХГС, 30ХГС, 35ХГС)* по своїх механічних властивостях близькі до хромомолібденовим, однак є менш теплостійкими.

При зварюванні сталей даного типу потрібно звертати особливу увагу на запобігання утворення в шві і НШЗ холодних тріщин. Потрібно пам'ятати, що в структурі перегрітого металу характерними є неоднорідні сорбито-трооститні структури з виділенням феррита, як це звичайно має місце у видманштетовій структурі.

Стабілізувати мікроструктуру зварного з'єднання можна шляхом утворення в останньому феррито-перлитних структур, за допомогою відпуску.

Зварювання хроманселей проводять способом, що забезпечує уповільнене охолодження (правий). Заповнення шва рекомендується зворотно - ступінчастим способом або від середини до країв за один підхід в нижньому положенні. Вертикальних і стельових швів потрібно уникати.

Основні параметри і режими газового зварювання ХГС хромокремнемарганцовистих сталей (хроманселей). Св-08А для невідповідальних конструкцій; Св-18ХГСА, 18ХМА якщо до зварного шва висувають підвищені вимоги відносно міцності. Витрата C_2H_2 50-0,5; 75-1,0; 150-2,0; 300-3,0 л/г на мм. Полум'я — нормальне; флюс — не потрібно; термічна обробка — загартування в маслі після витримки при температурі 880°C. Час витримки і швидкість охолодження залежать від необхідних механічних властивостей з'єднання і умов роботи конструкції.

Зварювання середньо- і високолегованих сталей

Із сталей цього типу найбільше поширення в промисловості отримали хромисті та хромонікелеві сталі.

Структура та спеціальні властивості цих сталей в значній мірі визначають особливості їх зварювання. У залежності від змісту вуглецю, хрому, нікелю і інших елементів, ці сталі можуть належати до аустенітного, мартенситного або феритного класу.

При призначенні технології зварювання сталей вищеназваних класів необхідно враховувати наступне:

- а) їх низьку теплопровідність (в два рази меншу, ніж для вуглецевих сталей), що змушує застосовувати полум'я зниженої потужності (70-75 л/г · 1 мм);
- б) утворення при зварюванні тугоплавкого і складноусуваємого окислу хрому зумовлює необхідність використання флюсів;
- в) при тривалій витримці металу при температурах 450-850°C утворюються карбіди хрому, які випадають по кордонах зерен і сплав втрачає свою корозійну стійкість. Для запобігання цьому в складі присаджувального матеріалу повинні бути присутнім такі елементи як титан, ніобій і подібні;
- г) карбіди хрому також утворюються при недостатньо швидкому охолодженні в проміжку температур 500-700°C при вмісті вуглецю в сталі більше за 0,06%;
- д) процес корозії може прискорюватися під впливом внутрішніх напружень виникаючих в зварному з'єднанні.

Тому газове зварювання, що дає велику зону нагріву, є менш сприятливим способом зварювання неіржавіючих і кислототривких сталей, в порівнянні, наприклад, з дуговим зварюванням.

1. Хромисті сталі (1X13, 2X13, X14) мартенситного класу, представляють певні труднощі для зварювання ацетиленокисневим полуменем. Ці сталі мають різко виражену схильність до загартування на повітрі. Внаслідок чого при зварюванні можливе утворення холодних тріщин.

Зварювання ведуть із застосуванням попереднього підігріву (200-250°C) нормальним полуменем. В якості присаджувального дроту можна застосовувати дроти марок Св-0X18Н9 та Св-1X18Н9Т або того ж складу, що і основний метал, по ГОСТ 2246-80.

Зварювання таких листів ведуть лівим способом. При зварюванні металу великої товщини потрібно застосовувати тільки правий спосіб. Потужність полум'я не більше за 70 л/година на 1мм.

Як флюс рекомендується використати суміш з 55% борної кислоти, 10% окислу кремнію, 10% ферромарганцю, 10% феррохрому, 5% ферротитану, 5% титанової руди (концентрат) і 5% плавикового шпату.

Після зварювання виріб піддають термообробці по режиму, передбаченому для даної сталі.

Наприклад, для сталі 1X13 застосовується загартування до 1050°C з охолодженням на повітрі і подальшим відпуском в печі. При цьому чим менша швидкість охолодження, тим вищу величину ударної в'язкості можна отримати. Охолодження ведуть в печі до температури 500°C і далі на повітрі.

2. Аустенітні хромонікелеві сталі (1X18H9T, X18H11Б, X18H12T, X18H12MT та інші) мають високу корозійну стійкість в агресивних середовищах, високі механічні властивості при різних температурах, зберігають свою первинну ударну в'язкість навіть при температурах рідкого гелію (- 270°C).

Сталі цієї групи широко застосовують в азотній промисловості для виготовлення теплообмінників, трубопроводів, ємкостей; в літако- і ракетобудуванні вихлопні патрубки і тому подібне.

Газове зварювання цих сталей застосовується для складних зварних вузлів з тонколистового металу, штампування і труб. Однак, потрібно відмітити, що цим способом, леговані хромонікелеві сталі аустенітного класу зварюються гірше, ніж спеціальними дуговими або електропроменевими способами зварювання.

При призначенні технології зварювання, крім низької теплопровідності (λ), потрібно враховувати високий коефіцієнт лінійного розширення (α), який обумовлює підвищену міру зварних деформацій.

Зварювання виконують так, щоб забезпечити найменшу зону нагріву при максимальній швидкості зварювання і охолодження.

Для зменшення деформацій виробу, збирання і зварювання бажано виконувати в кондукторі.

Дріт застосовують з сталі того ж складу, що і основний метал, але з меншим вмістом вуглецю Св-0X18H9, 1X18H9T, 0X18H9C2.

Відмітною особливістю газового зварювання аустенітних хромонікелевих сталей є те, що при розплавленні кінець дроту повинен бути занурений у ванну.

У складі флюсів не повинно бути з'єднань бору і фтору (які можуть викликати корозію зварного з'єднання). Флюс застосовують у вигляді пасти, розведеної на рідкому склі (650 г на 1 кг сухій суміші). Паста наноситься перед зварюванням на кромки із зворотної сторони. Іноді флюс наноситься тонким шаром і на присаджувальний пруток. Зварювання можна починати тільки після застигання флюсу.

При зварюванні застосовується нормальне полум'я, потужність якого залежить від товщини основного металу

δ , мм	1,5	1,5...2,0	2...4	5...7
$V_{C_2H_2}$, л/ГОД	75	150	300	500

Однак газове зварювання хромонікелевих аустенітних сталей доцільно застосовувати тільки для металу товщиною до 2 мм.

Після зварювання залишки флюсу повинні бути ретельно видалені, промивкою швів гарячою водою, а виріб рекомендується піддати термообробці нагріву до температури 1050-1100°C з подальшим охолодженням у воді. Сталь товщиною 1-2 мм при термообробці можна охолоджувати на повітрі.

Зварні з'єднання виконані газовим зварюванням і піддані термообробці, мають задовільні механічні властивості, які нижче, ніж у основного металу в початковому стані.

Випробування зразків шляхом кип'ятіння в розчині сірчаної кислоти і мідного купоросу протягом 2-х годин показало руйнування зразків від

міжкристалітної корозії. Зразки, виконані аргонодуговим зварюванням витримали це випробування.

Контрольні запитання

1. Розкрийте основні правила роботи з пальниками:
 - при підготовці до роботи;
 - при виконанні роботи;
 - при припиненні роботи.
2. Які вимоги висувають до присадкового дроту при газовому зварюванні?
3. При яких видах робіт використовують газове зварювання?
4. В чому різниця між лівим та правим способом газового зварювання та коли вони використовуються?
5. Вплив домішок на процес газового зварювання?
6. Особливості металургійних процесів при газовому зварюванні?
7. Розкрийте основні вимоги до флюсів, які використовують при газовому зварюванні?
8. Послідовність вибіру режимів газового зварювання?
9. Що називають термічною обробкою зварного з'єднання та її призначення?
10. Технологія та режими термічної обробки зварних з'єднань при газовому зварюванні низьковуглецевих сталей?
11. Технологія та режими термічної обробки зварних з'єднань при газовому зварюванні середньовуглецевих сталей (0,25-0,60%С)?
12. Технологія та режими термічної обробки зварних з'єднань при газовому зварюванні низьколегованих хромомолібденових сталей (12МХ, 15МХ)?
13. Технологія та режими термічної обробки зварних з'єднань при газовому зварюванні хромокремнемарганцевих сталей (20ХГС, 25ХГС, 30ХГСА)?

14. Технологія та режими термічної обробки зварних з'єднань при газовому зварюванні чавунів?
15. Назвіть труднощі, які виникають при зварюванні чавунів та засоби їх усунення?
16. Назвіть флюси, які використовують при зварюванні чавунів та їх призначення?
17. Послідовність операцій та техніка газового зварювання міді?
18. Технологія та режими термічної обробки зварних з'єднань при газовому зварюванні міді?
19. Технологія та режими термічної обробки зварних з'єднань при газовому зварюванні латуні (Л62, Л68)?
20. Технологія та режими термічної обробки зварних з'єднань при газовому зварюванні бронзи?
21. Технологія та режими термічної обробки зварних з'єднань при газовому зварюванні алюмінію та його сплавів (типа АМ, АМг, Д, АС)?
22. Від чого виникають деформації при зварюванні?
23. Які міри запобігання (зменшень) деформацій при зварюванні існують та в чому полягає сутність кожного з них?

ТЕМА 5. ПАЯННЯ, НАПЛАВЛЕННЯ ТА ПОВЕРХНЕВИЙ ГАРТ ГАЗОВИМ ПОЛУМ'ЯМ.

Паяння газовим полум'ям. Пальники, припій, флюси. Технологія наплавлення. Полум'яний поверхневий гарт. Обладнання та апаратура загартовувальних постів. Передумови до розроблення технології полум'яного поверхневого гарту. Способи гарту та параметри технологічних режимів. Використання газів заміників ацетилену для ППГ.

Контрольні запитання

1. В чому полягає сутність газотермічного паяння та як його здійснюють?
2. Розкрийте основні правила вибору припою?

3. Назвіть найбільш поширені марки припоїв та область їх застосування?
4. Назвіть основні вимоги, що висувають до флюсів, які використовують при паянні; при напавленні?
5. Назвіть та поясніть особливості в конструкції паяних швів?
6. Що називають напавленням та з якою метою його виконують?
7. Назвіть та розкрийте область застосування твердих сплавів, що напавляються газовим полум'ям?
8. Розкрийте особливості технології газотермічного напавлення?
9. Мета та завдання поверхневого гарту газовим полум'ям?
10. Розкрийте особливості в конструкції обладнання та технології ППГ?
11. Розкрийте правила вибору ППГ?
12. Параметри технологічного режиму ППГ?
13. Розкрийте особливості технології безперервних способів гарту призматичних та циліндричних виробів?
14. Технологія циклічних способів гарту?
15. Переваги та недоліки використання газів замінників ацетилену для ППГ?

ТЕМА 6. КИСНЕВЕ РІЗАННЯ МЕТАЛІВ

Процес кисневого різання заснований на здатності більшості металів запалюватися в струмені кисню при температурі, меншій температури плавлення даного металу і інтенсивно згоряти з виділенням великої кількості тепла.

Метал, що розрізують, нагрівають до температури займання. Нагрів можна здійснювати різними способами, але на практиці широке застосування отримав спосіб підігрівання металу газокисневим полум'ям. Потім на розігрітий метал направляють струмінь технічно чистого кисню. Метал в зоні різку окислюється, а оксиди, що утворюються при згорянні захоплюються струменем ріжучого кисню і видуваються ним із розрізу.

При створенні певних умов кількості тепла, що виділяється при згорянні заліза в кисні, виявляється достатнім для підігрівання металу попереду струменя. І в цьому випадку полум'я, що підігріває необхідне тільки для підігрівання місця початку різання.

Кисневе різання знаходить широке застосування майже у всіх областях металургійної і металообробної промисловості.

Особливо широке поширення отримало розділове різання стали при розкроюванні листового і профільного прокату.

Потрібно зазначити, що кисневому різанню піддаються не всі метали, а тільки ті, які задовольняють наступним основним умовам:

1. Температура займання металу не повинна бути нижчою за температуру його плавлення. Температурою займання умовно вважають температуру, при якій метал починає інтенсивно окислюватися в кисневому струмені. Для низьковуглецевої сталі найбільш вірогідною є температура біля 1500°C. З цього слідує, що перша умова для вуглецевих сталей задовольняється.

Однак при призначенні технології газокисневого різання стали, потрібно пам'ятати, що із збільшенням змісту вуглецю температура плавлення сплаву меншає, а температура займання зростає.

2. Температура плавлення оксидів металу повинна бути нижчою за температуру плавлення основного металу. В іншому випадку оксиди, що утворюються на поверхні будуть перешкоджати подальшому окисленню металу і видаленню розплавлених при нагріванні фракцій.

3. Кількості тепла, що виділяється при згорянні металу в кисневому струмені, повинно бути достатньо для підтримки безперервного процесу різання.

4. Теплопровідність металу не повинна бути дуже високою. У іншому випадку відведення теплоти від зони різку буде настільки інтенсивним, що процес різання або не почнеться, або буде перериватися.

5. Оксиди, які утворюються, повинні бути рідкоплавними. У іншому випадку шлак при різанні буде погано видуватися кисневим струменем, що негативно позначиться на якості різу (чавун SiO_2).

6. Метал, що розрізується повинен мати обмежений вміст домішок, перешкоджаючих процесу різання (C, Cr, Si та інші) та тих, що підвищують загартовування сталі (Mo, W і інші).

Вплив легуючих елементів та домішок на розрізуваність сталі

Розрізуваність сталі в основному залежить від її хімічного складу. При цьому переважаюче значення має зміст вуглецю.

ВУГЛЕЦЬ. Сприяє утворенню гартувальних структур підвищує твердість і крихкість ЗТВ. При вмісті до 0,4% не погіршує процес різання сталі. При вмісті вуглецю 0,4-0,5% якість різки залишається задовільною. Сталь, що містить біля 1,0-1,2% вуглецю піддається різанню в холодному стані (без загального попереднього підігріву), однак кромки різки тверді, існує імовірність утворення тріщин.

МАРГАНЕЦЬ. При вмісті в сталі до 4% помітно на процес різання не впливає. Допустимий вміст марганцю до 13%. Однак потрібно пам'ятати, що при вмісті марганцю більш за 0,8% і вуглецю понад 0,3% сталь набуває схильність до загартовування, а сталі, що містять більш 18% марганцю та 1,3% вуглецю не піддаються кисневому різанню.

КРЕМНІЙ. Помітним чином не впливає при його вмісті до 2,8%. При більш високому - підвищує в'язкість шлаків в зоні різки, що ускладнює видалення останніх струменем кисню. Швидкість різання істотно знижується. Гранична допустима концентрація - 4%.

ХРОМ. Сприяє утворенню тугоплавких оксидів Cr_2O_3 , які ускладнюють процес кисневого різання. 1,5%-ний поріг вважається допустимим для використання газокисневого різання; 4-5% хрому в сталі підвищує в'язкість шлаків, збільшує загартовуваність кромки різки. При 8%-ній концентрації хрому і наявності нікеля сталь термічно не розрізується.

НИКЕЛЬ. При вмісті в сталі до 7% на якість різання не впливає. Граничний вміст – 34%. Однак, при вмісті вуглецю в сталі більше за 0,5% рекомендується підігрівання.

МОЛБДЕН. Погіршує розрізуємість. Сприяє загартуванню кромок, утворенню тріщин.

АЛЮМІНІЙ. При незначному вмісті (до 0,5%) алюмінію на процес різання не впливає. Алюмінієві сталі які мають більше за 10 масових відсотків алюмінію різанню не піддаються.

ВОЛЬФРАМ. Деяке сповільнення процесу різання спостерігається при вмісті вольфраму біля 10%. Наявність молібдену збільшує схильність сталі до загартування.

СІРКА, ФОСФОР в кількості, яку містить якісні металеві сплави на розрізуємість не впливає.

Приблизно розрізуємість сталі можна оцінити по еквіваленту вуглецю:

$$C_e = C + 0,4 Cr + 0.3(Si + Mo) + 0.2V + 0.16Mn + 0.04(Ni + Cu)$$

На основі цій формули всі сталі можуть бути розділені на чотири групи:

I група. $C_e < 0,6\%$. Що добре розрізуються. Різання можливе без технологічних обмежень і термообробки до і після різання.

II група. $0,61 < C_e < 0,80$. Що задовільно розрізуються. Кисневе різання цих сталей допустиме без попереднього підігрівання в літній час. У зимовий час, а також при різанні великої товщини або вирізання деталей складної форми необхідне підігрівання металу до 120°C .

III група. $0,81 < C_e < 1,10$. Що обмежено розрізуються. Різання сталей цієї групи здійснюють тільки з попереднім або супутнім підігріванням до $200\text{-}300^\circ\text{C}$. У іншому випадку, в ЗТВ можливе утворення гартувальних тріщин.

IV група. $C_e > 1,1$. Що погано розрізуються. Піддавати термічному різанню не рекомендується. При необхідності, різання здійснюють з підігріванням до 300-450°C та с подальшим повільним охолодженням (в печі або теплової ізоляції).

Газове зварювання чавуна.

Чавунами називають багатокомпонентні залізовуглецеві сплави, що містять від 2,14 до 6,7% вуглецю. У залежності від структури сплаву розрізняють білі, сірі, ковкі, модифіковані і високоміцні чавуни. По хімічному складу чавуни поділяються на нелеговані і леговані.

Білий чавун твердий, не піддається механічній обробці, застосовується тільки для переробки. У білому чавуні вуглець пов'язаний у вигляді карбідів заліза - цементиту. Злам ясно-сірий, майже білий. Зазнає зварювання надто рідко, тільки в ливарних цехах при виправленні ливарного браку.

Сірий чавун (ГОСТ 1412-85) містить графіт пластинчастої форми, тому має не високі механічні властивості. Злам сріблясто-сірий. Сірий чавун, як найбільш дешевий, має широке поширення.

Ковкі чавуни (ГОСТ 1215-79) містять графіт у вигляді великих пластівців або розеток, більш або менш рівномірно розподілених по масі. Така форма графіту забезпечує високі механічні властивості, в тому числі і більш високу пластичність. Ковкі чавуни отримують з білого шляхом спеціальної термічної обробки.

Модифіковані чавуни (ГОСТ 1412-85) відрізняються вихрястою і розеточною формою графітових включень, порівняно невеликих розмірів. Це зумовлює більш високі, в порівнянні з сірими чавунами механічні властивості.

Високоміцний чавун (ГОСТ 1215-79) містить графіт шароподібної форми. Високоміцні чавуни відносяться до групи легованих чавунів (магній, церій). Мають високі механічні властивості та широко застосовуються в машинобудуванні.

Умовні позначення чавунів

СЧ15, СЧ20 ... СЧ45 сірий чавун, цифра межа міцності на розтягнення;

КЧ 30-6(Ф), КЧ 63-2(П) ковкі чавуни;

ВЧ 100-4(Б), ВЧ 60-2, ВЧ 80-3(П), ВЧ 45-5, ВЧ 50-2 (П-Ф), ВЧ 38-7, ВЧ 42-12(Ф) високоміцні чавуни.

Перша цифра - межа міцності 1000 МПа, друга відносне подовження (%).

Леговані чавуни:

ЖЧ – жаростійкі,

ЧХ – корозійно-стійкі,

ИЧХ – зносостійкі чавуни.

Чавуни мають більш низькі зварювальні властивості порівняно зі сталю. До особливостей чавуна, які ускладнюють процес зварювання можна віднести:

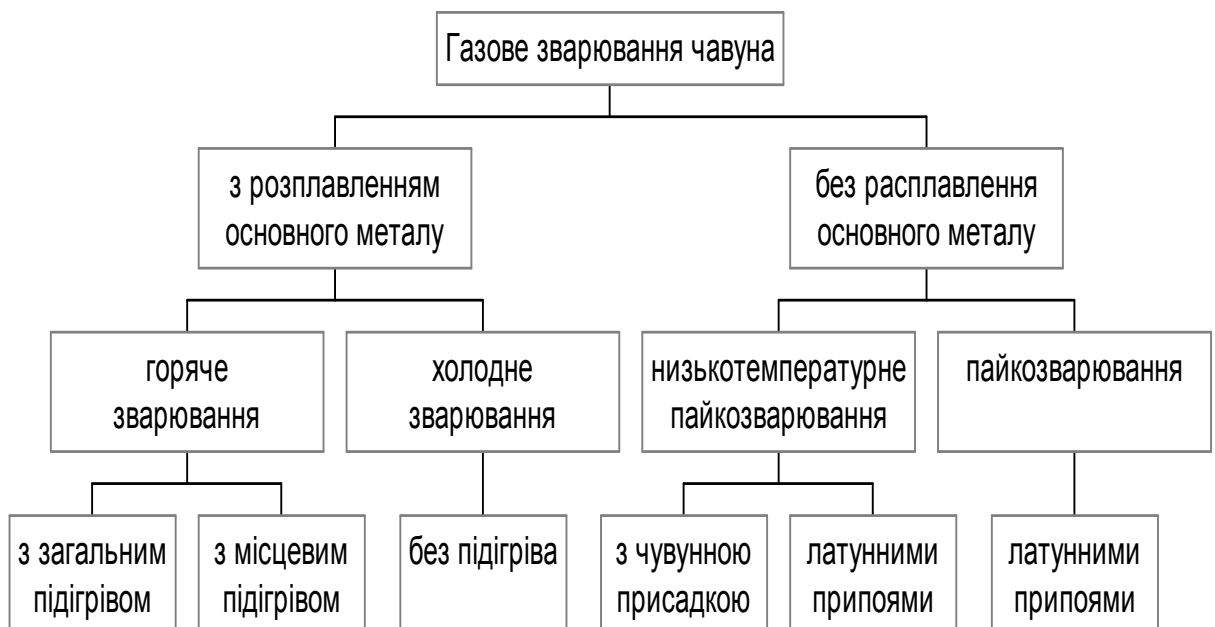
1. Можливість відбілювання чавуна і появи структур загартування при високих швидкостях охолодження.
2. Схильність до утворення тріщин в металі шва і ОШЗ через низьку пластичність і міцність металу в поєднанні з нерівномірним нагрівом і значними термічними деформаціями.
3. Схильність до утворення пор в металі шва.
4. Відсутність пластичності при плавленні і кристалізації. Для чавуна характерний різкий перехід з рідкого стану в твердий.
5. Високу рідкопливність, що ускладнює зварювання в нахиленому та вертикальному положенні і не дозволяє вести зварювання в стельовому.
6. Утворення в зварювальній ванні тугоплавких оксидів кремнію і марганцю.

Перераховані особливості чавуна визначають необхідність застосування при зварюванні ряду технологічних прийомів, найважливішими з яких є наступні:

1. Уповільнений нагрів місця зварювання з метою повного розчинення графіту в рідкому металі ванни. У іншому випадку метал шва придбає структуру білого чавуна.
2. Відсутність перегріву металу зварювальної ванни.
3. Створення необхідних умов для захисту зварювальної ванни від окислення.
4. Уповільнене охолодження після зварювання, особливо в інтервалі температур 740-720°C.
5. Попередження виникнення внутрішніх напружень і деформацій шляхом застосування загального або місцевого підігрівання деталі, що, крім того, забезпечить зниження швидкості охолодження після зварювання.

Зварювальна техніка має в своєму розпорядженні різноманітні способи зварювання чавуна, однак, головним способом ремонту виливання готових виробів, усунення ливарних тріщин, рихлин та раковин, відновлення деталей є газове зварювання.

Розрізняють наступні способи газового зварювання чавуна.



Вибір способу зварювання залежить від декількох чинників:

- характеру дефекту і розміру деталі (виливання);
- розміру і місця розташування дефекту;
- стадії механічної обробки, на якій він виявлений;

- експлуатаційного призначення поверхні, на якій виявлений дефект.

СПОСОБИ газового зварювання з РОЗПЛАВЛЕННЯМ основного металу застосовують для усунення дефектів об'ємом 100 см^3 в чавунному виливанні, виявленому до механічної обробки.

Припуск на обробку повинен становити 3...5 мм.

Наплавлений метал повинен мати структуру сірого чавуна і маса його не повинна перевищувати 2...3 кг.

Холодний спосіб застосовують для усунення торцевих дефектів раковини, газової пористості, усадочної пористості, відновлення відбитих частин, отколів в малогабаритних конструкціях вільного розширення.

Для вказаних дефектів застосовують гарячий спосіб з місцевим підігріванням, якщо виріб, що обробляється відноситься до класу відповідальних.

Гаряче зварювання із загальним підігріванням застосовують для усунення дефектів в жорсткому контурі, центральній або периферійній частині відливання.

СПОСОБИ газового зварювання БЕЗ РОЗПЛАВЛЕННЯ основного металу застосовують для усунення дефектів виявлених на останній стадії механічної обробки, коли на неї залишаються малі припуски. У цьому випадку зварювання з підігріванням може привести до деформацій, що не усуваються, а застосування зварювання оплавленням без підігрівання може спричинити утворення тріщин або відбілити ділянки зі структурою загартування.

Особливістю низькотемпературного пайкозварювання чавуну є те, що основний метал не доводиться до температури плавлення, а нагрівається тільки до температури $820-860^\circ\text{C}$ тобто до температури змочування металу. Розплавляється тільки присадковий пруток або припій, який краплями попадає на основний метал і стікаючи по ньому, утворює зварювальну ванну.

В якості присадочного матеріалу застосовують чавунні прутки або латунні припої.

НЧ-2 для виправлення дефектів в тонкостінних відливанні;

УНЧ-2 для виправлення дефектів в товстостінному відливанні з отриманням щільного металевого шва;

ЛОК-59-1-03 (мідь, олово, цинк) застосовують коли до направленої дільниці не пред'являються вимоги однобарвності і однакової твердості з чавуном;

ЛОМНА-49-05-10-4-0,4 (ТУЦМО-03-9362) (мідь, марганець, нікель, алюміній) застосовують коли до наплавки пред'являються вимоги однобарвності з чавуном.

При пайкозварюванні обов'язковим є застосування флюсів ФСЧ-2 (900-950°C робоча температура), МАФ-1 (750-800°C), ФПСН-1 (650-750°C), ФПСН-2 (650-750°C).

Контрольні запитання

1. Розкрийте сутність процесу кисневого різання металів?
2. Назвіть умови термічного різання металів?
3. Як чистота кисню впливає на показники різання?
4. Розкрийте вплив домішок в сталі на процес різання?
5. Розкрийте вплив параметрів термічного різання на структуру та властивості сталі?
6. Обладнання та апаратура для розділового різання?
7. Особливості технології газового розділового різання?
8. Якість та точність різання?
9. Яким чином запобігають деформацій при термічному різанні?
10. Особливості киснево-флюсового різання?
11. Різання високохромістих та хромонікелевих сталей?
12. Розкрийте особливості технології різання чавунів?
13. Різання кольорових сталей?
14. Назвіть спеціальні вимоги, що до підводного та поверхневого різання?

ТЕМА 7. ГАЗОТЕРМІЧНЕ ПРАВЛЕННЯ

Технологія газотермічного правлення тонколистового металу. Температура, форма та положення місць нагріву. Технологія правлення товстого листового металу. Технологія правлення деталей типа валів. Правлення прокатних профілів. Технологія та параметри правлення зварних конструкцій. Економічність газотермічного правлення.

Контрольні запитання

1. Основні передумови теорії газотермічного правлення?
2. Теплові напруги та деформації при нагріванні стрижня до 500°C?
3. Теплові напруги та деформації при нагріванні стрижня більш 600°C?
4. Від чого залежить характер розподілу температур в граничному тепловому стані?
5. Напруження та деформації при правленні тонколистової сталі?
6. Розкрийте взаємозв'язок між повздовжніми та поперечними деформаціями?
7. Теплові напруги та деформації при правленні товстолистової сталі?
8. Як розрахувати величину відносної деформації?
9. Як розрахувати величину куту вигину?
10. Назвіть основні параметри режиму газотермічного правлення?
11. Яку форму повинні мати місця нагріву при правленні тонколистової сталі? Чому?
12. Правила вибору/розрахунку режимів газотермічного правлення?
13. Як розташовують смуги нагріву при газотермічному правленні товстолистової сталі?
14. Як визначити стрелу вигину вала?
15. Як виконують правлення валів з високою точністю?
16. Розгляньте типові схеми газотермічного правлення профільного прокату?

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

- 1) В.М. Корж. Газотермічна обробка металів. – К.: Арістей, 2005. – 210с.
- 2) І.В. Гумінюк, О.Ф. Іваськів. Обладнання і технологія газозварювальних робіт. – К.: Грамота, 2005. – 266 с.
- 3) Евсеев Г.Б., Глизманенко Д.Л. Оборудование и технология газопламенной обработки металлов и неметаллических материалов. – М. Машиностроение. 1974.
- 4) Петров Г.Л. и др. Технология и оборудование газопламенной обработки металлов. Л. Машиностроение. 1978.
- 5) Справочник по газовой резке, сварке и пайке/ А.Г. Шустик. 1989.

НАВЧАЛЬНЕ ВИДАННЯ

Конспект лекцій з дисципліни «Газотермічна обробка матеріалів» для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня зі спеціальності 131 «Прикладна механіка» за освітньо-професійною програмою «Прикладна механіка» усіх форм навчання

Укладач: НОСОВ Денис Геннадійович

Підписано до друку _____ 2019 р.

Формат _____ обсяг _____ друк. арк.

Наклад _____ Зам. № _____

51918 м. Кам'янське, вул. Дніпробудівська, 2.