

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Вінницький національний технічний університет

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання лабораторних робіт
з дисципліни “МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО”
для студентів спеціальності „Теплоенергетика”

ВІННИЦЯ ВНТУ 2005

Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет

А.М. Власенко, О.Ю. Співак

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання лабораторних робіт
з дисципліни “МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО”
для студентів спеціальності
„Теплоенергетика”

Затверджено Методичною радою Вінницького національного технічного університету як методичні вказівки для студентів спеціальності „Теплоенергетика”. Протокол № 2 від 18 листопада 2004р.

Вінниця ВНТУ 2005

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни „МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО” для студентів спеціальності „Теплоенергетика”. /Уклад. А.М. Власенко, О.Ю. Співак, - Вінниця: ВНТУ, 2005. – 52 с.

Рекомендовано до видання Методичною радою Вінницького національного технічного університету Міністерства освіти і науки України

Курс лабораторних робіт складається з двох частин. Перша частина (роботи 1-7) є класичними лабораторними роботами з матеріалознавства, виконання яких знайомить студентів з механічними, ливарними, фізичними і спеціальними властивостями металів та сплавів, друга частина (роботи 8-14) виконана з навчальними елементами за вимогами МОП – Міжнародної організації праці і відноситься до розділу „Технологія металів та їх сплавів”.

В методичних вказівках до лабораторних робіт приводяться основні означення, необхідні для розуміння задачі, поставленої в роботі і раціональні шляхи для її розв’язання. Дано методику виконання лабораторних робіт з матеріалознавства на фізичних моделях. Методичні вказівки розроблено у відповідності з планом кафедри та програмами до дисципліни “Матеріалознавство”

Укладачі: Анатолій Миколайович Власенко
Олександр Юрійович Співак

Редактор В.О. Дружиніна
Коректор З.В. Поліщук

Відповідальний за випуск зав. каф. С.Й. Ткаченко

Рецензенти: В.Ф. Анісімов, доктор технічних наук, професор
В.Т. Івацько, кандидат технічних наук, доцент

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
Лабораторна робота № 1.....	5
СПОСТЕРІГАННЯ ЗА ДОПОМОГОЮ БІОЛОГІЧНОГО МІКРОСКОПА ЗА ПРОЦЕСОМ КРИСТАЛІЗАЦІЇ З РОЗЧИНУ СОЛІ.....	5
Лабораторна робота № 2.....	8
ВИЗНАЧЕННЯ БУДОВИ МЕТАЛІВ МЕТОДАМИ МАКРОСКОПІЧНОГО АНАЛІЗУ (МАКРОАНАЛІЗ).....	8
Лабораторна робота № 3.....	11
ТЕХНОЛОГІЯ ЛИВАРНОГО ВИРОБНИЦТВА	11
Лабораторна робота № 4.....	14
ВИЗНАЧЕННЯ ТВЕРДОСТІ І МЕЖІ МІЦНОСТІ МАТЕРІАЛІВ	14
Лабораторна робота №5.....	17
ОБРОБКА МЕТАЛІВ ТИСКОМ ШЛЯХОМ ХОЛОДНОГО ВОЛОЧІННЯ	17
Лабораторна робота № 6.....	19
ВИГОТОВЛЕННЯ ТЕРМОПАРИ	19
Лабораторна робота № 7.....	22
ГРАДУЮВАННЯ ТЕРМОПАРИ ЗА РЕПЕРНИМИ ТОЧКАМИ.....	22
Лабораторна робота №8.....	27
ІОНІЗУЮЧА ДІЯ МАТЕРІАЛІВ ЕЛЕКТРОДНИХ ПОКРИТЬ.....	27
Лабораторна робота № 9.....	30
ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТІВ РОЗПЛАВЛЕННЯ, НАПЛАВЛЕННЯ, ВТРАТ ЕЛЕКТРОДА ДЛЯ РУЧНОГО ЗВАРЮВАННЯ	30
Лабораторна робота №10.....	32
КІЛЬКІСТЬ ОСНОВНОГО МЕТАЛУ В МЕТАЛІ ШВА І ПОГОННА ЕНЕРГІЯ	32
Лабораторна робота №11.....	36
ВИВЧЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ОБЛАДНАННЯ ГАЗОВОГО ЗВАРЮВАННЯ МЕТАЛІВ	36
Лабораторна робота №12.....	41
ВИСОКОПРОДУКТИВНІ ВИДИ ЗВАРЮВАННЯ.....	41
Лабораторна робота №13.....	44
КОНТРОЛЬ ЯКОСТІ ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ.....	44
Лабораторна робота № 14.....	49
ДЕФОРМАЦІЇ ПРИ ЗВАРЮВАННІ	49
ЛІТЕРАТУРА	51

ВСТУП

Мета лабораторних робіт з курсу „Матеріалознавство” – поглибити теоретичні знання і набути навиків в практичному відношенні до фізичних властивостей металів, конструкційних матеріалів та основ різноманітних видів роботи з ними. Даний курс адаптований для спеціальності 7.090510 „Теплоенергетика” і включає основні практичні питання матеріалознавства і технології матеріалів, з якими регулярно зустрічається інженер-теплоенергетик на виробництві. У відповідності із задачами курсу лабораторні роботи присвячені найбільш характерним для теплоенергетики властивостям матеріалів.

Курс лабораторних робіт складається з двох частин. Перша частина (роботи 1-7) є класичними лабораторними роботами з матеріалознавства, виконання яких знайомить студентів з механічними, ливарними, фізичними і спеціальними властивостями металів та сплавів, друга частина (роботи 8-14) виконана з навчальними елементами за вимогами МОП – Міжнародної організації праці і відноситься до розділу технологія металів та їх сплавів.

В методичних вказівках до лабораторних робіт приводяться основні означення, необхідні для розуміння задачі, поставленої роботи і раціональні шляхи для її розв’язання. Методика вимірювань і розрахункові співвідношення описані коротко, з врахуванням як лекційного матеріалу з курсу „Матеріалознавство”, так і враховуючи раніше вивчений студентами матеріал з інших предметів. В кожній лабораторній роботі вказаний порядок її виконання, форма звітності і контрольні запитання для самоперевірки.

Лабораторна робота № 1

СПОСТЕРІГАННЯ ЗА ДОПОМОГОЮ

БІОЛОГІЧНОГО МІКРОСКОПА

ЗА ПРОЦЕСОМ КРИСТАЛІЗАЦІЇ З РОЗЧИНУ СОЛІ.

МЕТА: Вивчити процес кристалізації відливок на прикладі кристалізації перенасиченого розчину солі. Вивчити будову оптичних приладів, що використовуються в металографічних дослідженнях.

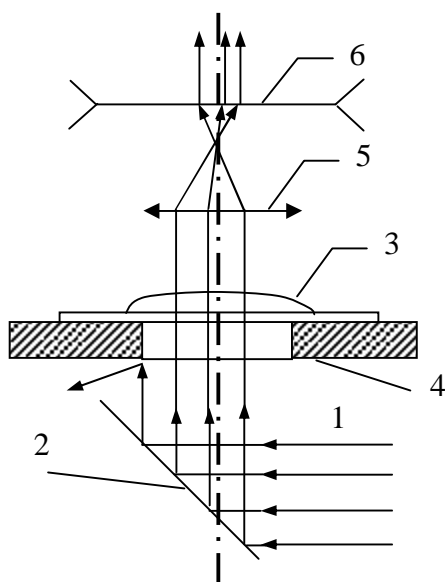
ПРИЛАДИ, МАТЕРІАЛИ ТА ІНСТРУМЕНТ

Для проведення лабораторної роботи необхідно мати:

- біологічний мікроскоп;
- сіль;
- пробірки, піпетку;
- спиртівку;
- скляні предметні скельця;
- дистильовану воду.

ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ.

КОНСТРУКЦІЯ І БУДОВА БІОЛОГІЧНОГО МІКРОСКОПА



Оптична схема біологічного мікроскопа показана на рисунку. Промені 1 від природного джерела світла чи електролампи, відбившись від дзеркала 2 проходять через об'єкт 3, що досліджується, розміщений на плоскому склі 4, потім через об'єктив 5 та окуляр 6 попадають в око спостерігача.

Рисунок 1.1 - Будова оптичного біологічного мікроскопа

Плита мікроскопа з'єднана з колоною шарніром, що дозволяє нахилити верхню частину мікроскопа для більш комфортного спостерігання при роботі в сидячому положенні. Тубус, в верхню частину якого вставлено окуляр, а в нижню – об'єктив, може рухатися ввєрх-вниз за допомогою мікрометричного гвинта. На предметному столику розміщене плоске скло з об'єктом, котрий досліджується.

Структура і властивості металу при твердненні металевого зливка значним чином залежать від умов охолодження – чим більша швидкість охолодження зливка, тим меншу величину і більшу однорідність мають зерна в металі. Структура металевого зливка складається з трьох основних зон (рис. 1.2)

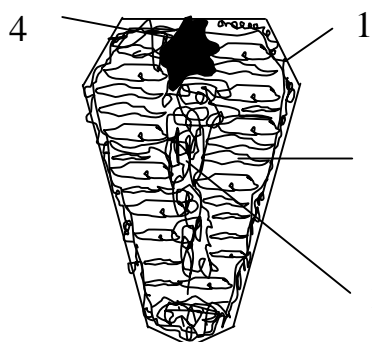


Рисунок 1.2 - Структура зливка

Перша зона (1) – зовнішня дрібнозерниста кірка, яка складається з дезорієнтованих дрібних кристалів – дендритів. При першому дотику розплавленого металу із стінками форми виникає різкий градієнт температур і явище переохолодження, яке призводить до виникнення великої кількості центрів кристалізації. В результаті кірка має дрібнозернисту будову.

Друга зона зливка (2) є зоною стовпчастих кристалів. Після утворення кірки умови тепловідведення змінюються, градієнт температури направлений перпендикулярно до стінок форми і саме в цьому напрямку ростуть великі видовжені кристали. Зону (3) називають зоною рівноосних кристалів. В центрі форми немає визначеної направленості віддачі тепла, тому кристали ростуть рівномірно в усі сторони. Зона (4) є зоною усадочної раковини, котра є дефектом зливка і яку стараються зробити якомога меншою.

ХІД РОБОТИ

Готують перенасичений розчин солі NaCl в дистильованій воді, розчиняючи її при температурі 70-80°C. В роботі використовують підігрітий розчин.

Перед початком досліду проводять юстування та фокусування мікроскопа. Для цього:

- встановлюють збільшення мікроскопа до $\times 100$;
- добиваються чіткості зображення;
- дзеркало направляють в сторону джерела світла;
- поворотом дзеркала, дивлячись при цьому одним оком в окуляр досягають нормального проходження світлових променів (отримують світле поле).
- гвинтом штатива проводять грубу наводку оптичної системи мікроскопа на фокус;
- проводять точну наводку на фокус мікрогвинтом. У випадку вбудованого в мікроскоп блока перемикання кратності збільшення (типу ВМТ-10, МИС-220, Самеса-біо тощо) фокусування проводять починаючи з невеликих кратностей збільшення, поступово переходячи до потрібних.

Перенасичений розчин солі наливають в пробірку, слідкуючи, щоб нерозчинені кристалики солі обов'язково попали в неї. Пробірку нагрівають на полум'ї спиртівки до повного розчинення кристаликів. Піпеткою відбирають невелику порцію підігрітого перенасиченого розчину, який наносять на предметне скло мікроскопа.

Спостерігають в окуляр за процесом кристалізації з розчину і зарисовують картину, що утворилась протягом вистигання розчину. Предметне скло відставляють в тепле місце до повного висихання води. Потім предметне скло встановлюють під об'єктив мікроскопа і розглядають форму, розміри і структуру кристалів, що утворились.

Як і при твердненні металевого зливка, в процесі кристалізації краплі розчину солі спостерігаються три структурні зони. Зона 1 складається з шару дрібних дендритів, що утворились при первинній кристалізації. Зона 2 характеризується утворенням великих видовжених дендритів. Зона 3 – з дендритів, що мають різну орієнтацію.

Зарисовують отримані структури. За результатами досліджень роблять висновки.

ЗВІТ ПРО ЛАБОРАТОРНУ РОБОТУ ПОВИНЕН МІСТИТИ:

- 1 Назву і мету роботи.
- 2 Короткі теоретичні відомості.
- 3 Зарисовані результати спостереження в мікроскоп процесу кристалізації на різних стадіях процесу.
- 4 Висновки по роботі.

КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

- 1 З яких вузлів складається біологічний оптичний мікроскоп?
- 2 Нарисуйте оптичну схему біологічного мікроскопа.
- 3 Опишіть процес кристалізації з розчину солі.
- 4 Що таке центри (зародки) кристалізації. При яких умовах вони утворюються?
- 5 Як розташовані зони кристалізації в зливках?
- 6 Які структури зливків ви знаєте?
- 7 Що таке дендрити?
- 8 Які бувають дефекти ливарного виробництва?

Лабораторна робота № 2

ВИЗНАЧЕННЯ БУДОВИ МЕТАЛІВ МЕТОДАМИ МАКРОСКОПІЧНОГО АНАЛІЗУ (МАКРОАНАЛІЗ)

МЕТА: *Познайомитися з методами макроскопічного аналізу і вивчити характерні види макроструктур на зразках з різних сплавів. Дослідити поширення шкідливих домішок в заготовках, отриманих ливарним методом.*

ПРИЛАДИ, МАТЕРІАЛИ ТА ІНСТРУМЕНТ

- біологічний оптичний мікроскоп;
- лупа;
- зразки для досліджень;
- шліфувальний папір;
- вата або м'яка тканина;
- травники для виявлення мікроструктури;
- фотопапір;
- хімічні реактиви.

ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Суть макроаналізу полягає у визначенні будови металу неозброєним оком або при невеликих збільшеннях (до 30 раз). В цьому випадку можна одночасно спостерігати велику площу поверхні заготовки, що часто дозволяє робити висновки про якість металу і умови попередньої термообробки, що впливають на характеристики самого металу. Найчастіше макроаналіз використовують для виявлення в металі дендритної будови зливків, газових включень, тріщин, пустот, шлакових включень, розташування волокон в кованих і штапованих деталях, якості зварювальних швів. Макроаналіз не дозволяє визначити всіх особливостей будови металу, тому найчастіше він є попереднім видом досліджень. Наприклад, за даними макроаналізу можна вибрати ділянки деталі, котрі бажано дослідити більш детально.

Макробудову можна вивчати не лише безпосередньо на поверхні металів (відливок, поковок), але й в зламах заготовок, або на спеціально підготовлених вирізаних поверхнях, в тому числі і внутрішніх, які перед дослідженням шліфують і протравлюють спеціальними травниками для більш рельєфного виявлення структури цих поверхонь. Шліфований і протравлений зразок називають *макрошліфом*, якщо макрошліф виготовлений в поперечному перерізі деталі, то його називають *темплетом*.

ХІД РОБОТИ

1 МАКРОАНАЛІЗ ЗЛАМУ МЕТАЛУ

Вибирають зразки металу з руйнуванням внаслідок механічних навантажень, встановлюють на предметний столик мікроскопа і порівнюють їх, відзначаючи особливості, притаманні кожному з них. Проводять візуальний аналіз структури і визначають характер руйнування, за характером руйнування визначають тип зламу:

- **зернистий** або кристалічний (блискучий з фасетками), він спостерігається при крихкому руйнуванні сплавів пониженої в'язкості;
- **матовий** або волокнистий; зерен в цьому випадку не видно, такий злам спостерігається при в'язкому руйнуванні після значної пластичної деформації;
- **змішаний**; зернистий в одних ділянках і волокнистий в інших. Він характерний для сталей, що прогартувались не повністю або після руйнування внаслідок стомлення сталі.
- **з білими плямами**, які називають **флокенами**, він спостерігається досить рідко і є ознакою браку внаслідок різкого зниження в'язкості (внаслідок мікроліквації або присутності водню в сталі);

За **відбиванням світла** злам може бути світлим, характерним для сталі і білих чавунів і темним, у чавунів з графітом (сірих, кувальних і високоміцних).

2 МАКРОАНАЛІЗ ШЛІФІВ

Зразок для шліфа вирізають у певному місці і у певній площині в залежності від того, що досліджують: зливку, штамповану, зварну чи термічно оброблену деталь тощо і яку мету при цьому переслідують.

Поверхню зразка для аналізу обробляють на металорізальних верстатах (фрезерним або стругальним верстатом м'які метали, плоскошліфувальним – тверді метали і сплави). Для отримання гладенької поверхні зразка його шліфують шліфмашиною або вручну, використовуючи для цього шліфувальний папір різних номерів. Починають шліфування грубішим абразивним зерном, поступово переходячи до тонкого. При переході від одного номера зерна до іншого зразок ретельно миють і напрямок шліфування змінюють на 90°. Після шліфування зразок промивають і травлять в спеціальних травниках. Для кожного типу металу підбирають відповідні травники.

Підготовлений темплет травлять, наносячи травник ватою, намотаною на скляну паличку. Травник наносять на шліф одним неперервним рухом. Ступінь протравлення контролюють візуально, до потемніння поверхні шліфа. Протравлений шліф промивають водою і ретельно висушують. В результаті травлення мікроструктура шліфа повинна бути чітко проявлена, у випадку нечіткого прояву структури шліф дотравлюють. Якщо структура темна і роз'їдена, шліф вважають перетравленим. Його потрібно заново полірувати і травити знову, зменшивши час витримки або ослабивши (розвівши) травник.

Протравлений шліф встановлюють на предметне скло мікроскопа за допомогою шматочка пластиліну так, щоб його площина була перпендикулярна до оптичної осі мікроскопа. Проводять юстування і фокусування мікроскопа.

Підвищуючи кратність зображення вибирають на шліфі потрібну ділянку, постійно контролюючи фокусування оптичної системи мікроскопа.

Вибравши необхідне збільшення і ділянку шліфа з характерною структурою досліджують його, зарисовують макроструктуру. У випадку дослідження тріщин, включень, макропор визначають їх розміри, користуючись окулярами з мікрометричною сіткою.

3 ДОСЛІДЖЕННЯ ЛІКВАЦІЇ СІРКИ В ЗЛИВКАХ

Для виявлення в сталі ліквації сірки використовують метод Баумана, макрошліф добре протирають ватою, змоченою спиртом. Лист глянцевого бромосрібного паперу вимочують на світлі в 5% розчині сірчаної кислоти протягом 10 хвилин і просушують. Просушений фотопапір накладають емульсійною стороною на макрошліф і старанно пригладжують для видалення залишків розчину і повітря, витримують на шліфі 2-3 хвилини і обережно знімають з макрошліфа. Отриманий відбиток промивають водою і фіксують у 25% розчині гіпосульфїту, а потім просушують.

Отримані на фотопапері ділянки коричневого кольору вказують на місця збагачені сіркою (скупчення сульфідів). Якщо фотопапір має рівномірне забарвлення то сірка розташована рівномірно.

Поява темних ділянок в місцях, збагачених сіркою, пояснюється реакціями між сірчаною кислотою і включеннями MnS і FeS , у вигляді яких сірка знаходиться в сталі:



Сірководень, що утворюється в результаті цих реакцій діє на бромисте срібло емульсійного шару фотопаперу, а в результаті утворюється сірчисте срібло, що має темно – коричневий колір і добре видне на білому фоні паперу.



Зрозуміло, що в місцях із більшим скупченням сірки потемніння на фотопапері буде більшим. За отриманими результатами роблять висновки по роботі. Картину розподілу сірки, що утворилась в результаті досліді замальовують у протокол звіту.

ЗВІТ ПРО ЛАБОРАТОРНУ РОБОТУ ПОВИНЕН МІСТИТИ:

- 1 Назву і мету роботи.
- 2 Короткі теоретичні відомості.
- 3 Результати досліджень структури зразків та ліквації сірки.
- 4 Висновки по роботі.

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

- 1 Яка будова біологічного мікроскопа?
- 2 Нарисуйте оптичну схему мікроскопа.
- 3 Які об'єкти можна досліджувати біологічним мікроскопом?
- 4 Що таке макроаналіз?
- 5 Які бувають об'ємні дефекти структури металів. Опишіть їх.
- 6 Що таке волокниста структура, в яких матеріалах вона проявляється?
- 7 Які ви знаєте способи дослідження макроструктури?
- 8 Чим відрізняється макрошліф від мікрошліфа, від темплета?
- 9 Які зміни в структуру і властивості сталі вносять домішки сірки і фосфору?

Лабораторна робота № 3 ТЕХНОЛОГІЯ ЛИВАРНОГО ВИРОБНИЦТВА

МЕТА: *познайомитися з основами ливарного виробництва і виготовити заготовку деталі методом лиття. В процесі виконання роботи вивчити способи формування і ознайомитися з основними операціями і видами лиття.*

ПРИЛАДИ МАТЕРІАЛИ ТА ІНСТРУМЕНТ

Для проведення лабораторної роботи необхідно мати:

- ливарну опоку;
- формувальну суміш;
- сушильну піч;
- легкоплавку ливарну суміш;
- плавильну піч;
- розливний ковшик;
- матеріал та інструмент для виготовлення моделей.
-

ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Ливарним виробництвом називають процес отримання різноманітних фасонних відливок, які є заготовками для деталей або виробів. Для виготовлення відливок, в залежності від потреби, використовують сірі і білі чавуни, вуглецеві і леговані сталі, бронзи, латуні, ливарні сплави кольорових металів. Основними ливарними властивостями сплавів є рідкотекучість, усадка і ліквіація.

Рідкотекучість - здатність розплавленого металу заповнювати форму, яка зростає з підвищенням температури сплаву і залежить від хімічного складу сплаву.

Ліквіацією називають неоднорідність хімічного і фізичного складу сплаву в різних частинах відливки, що залежить від форми і розмірів відливки. Усадкою називають зменшення об'єму і лінійних розмірів виробу у формі після охолодження металу.

Основними операціями процесу отримання відливки є:

- виготовлення моделі;
- виготовлення ливарної форми;
- плавка металу і заливка його в форми;
- вибивка відливок з форми;
- обрубка і очистка лиття.

В промисловості використовується багато видів і способів лиття, основними з яких є:

- лиття в піщано-земляну суміш;
- лиття в металеві форми (кокільне);
- відцентрове лиття;
- лиття під тиском;
- лиття в оболонкові (кіркові) форми.

В залежності від необхідності, наявності обладнання і потрібної якості відливок вибирається той чи інший спосіб лиття. Найбільшого поширення набуло виготовлення відливок в піщано-земляних формах. Для виготовлення такої форми необхідно мати модель, форма якої відповідає зовнішній формі майбутнього відливка. Розміри моделі повинні бути більші, ніж розміри відливок, на величину усадки. Відливки, в свою чергу, повинні мати припуски на механічну обробку. Матеріалами для моделей можуть слугувати дерево, метали і пластичні маси.

Матеріали, з яких виготовляють ливарні форми, називають формувальними сумішами. Вони повинні бути міцні, вогнетривкі, пластичні, газопроникні і податливі. Формувальні суміші за призначенням поділяють на *облицювальні*: ними покривають модель товщиною 20-30мм, і *наповнювальні*: ними заповнюють частину форми, що залишилась після облицювання.

Для виготовлення ливарних форм проводять формовку за моделлю в формувальному матеріалі утворюють пустоти, які контурами і розмірами відповідають відливці, що виготовляється, а потім заповнюють ці пустоти розплавленим металом. Формовку проводять в опоках - литих або зварених ящиках, часто без дна, виготовлених з чавуну, сталі або алюмінієвих сплавів.

Відлиті заготовки деталей від'єднують від литникової системи і обробляють слюсарним інструментом або на металорізючих верстатах і абразивних кругах.

ХІД РОБОТИ

1 ВИГОТОВЛЕННЯ МОДЕЛІ І ЛИВАРНОЇ ФОРМИ.

Для виготовлення моделі в даній лабораторній роботі можна використати пластилін, який для фіксації необхідно охолодити, або "пластику", яку після виготовлення моделі потрібної форми для фіксації прогрівають в гарячій воді. Готову модель змащують тонким шаром технічного вазеліну або мінерального мастила. Розміри моделі повинні бути такі, щоб вона займала не більше 1/3 внутрішнього об'єму опоки.

В посудину насипають відміряну кількість порошку алебастру або гіпсу і розводять його водою до консистенції рідкої сметани. Підготовлену

суміш виливають в опоку, заповнюючи її до половини об'єму. Коли розчин почне застигати, обережно, щоб не пошкодити і не деформувати модель, її до половини вдавлюють в гіпсову суміш. Біля моделі розміщують виготовлені з дерева, металу або пластику конуси - форми майбутніх литників і 1-2 дроти товщиною 1-1,5 мм - форми майбутніх випорів - отворів для виходу повітря і газів з форми при заливці металу. Литники і випори повинні знаходитись з однієї сторони моделі і не перетинатись. Випори допускається розміщувати під кутом до литників, але обов'язково в одній площині. За діагоналлю опоки в суміш, що твердне, вдавлюють два штифти фіксатори, які фіксуватимуть дві половинки ливарної форми, одну відносно одної.

Коли суміш повністю застигне, поверхню форми вкривають тонким шаром технічного вазеліну, особливо ретельно промащуючи штифти, модель і деталі литникової системи. Розводять другу порцію гіпсу і виливають її в опоку, заповнюючи останню доверху. Суміш повинна повністю вкрити модель і деталі литникової системи. Легенько постукуючи по стінці опоки олівцем, добиваються, щоб гіпсова суміш повністю заповнила всі порожнини форми.

Форму висушують, після чого її розбирають, витягують модель, конуси литників і дроти випорів. Гострим ножом або скальпелем підрівнюють стінки литників, прочищаючи їх виходи в тіло відливки. З форми видаляють всі зайві часточки формувальної суміші, досушують її і припудрюють порошком графіту.

2 ВИГОТОВЛЕННЯ ВІДЛИВКА І ОПЕРАЦІЇ ДОВОДКИ

Просушену форму збирають, встановлюють в притисну рамку і розміщують в опоці більшого розміру.

В муфельній печі розплавляють метал (припій ПОС-30) і розливним ковшиком заливають його в підігріту форму через литники. Дають повністю вистигнути формі. Далі її розбирають, акуратно витягують готовий відливок з литниковою системою і кусачками відкушують литники, залишаючи "пеньки" 0,5-1мм, які потім знімають надфілем. Зрізають припливи в площині стику половинок форми і обробляють деталь (заготовку) начисто.

ЗВІТ ПРО ЛАБОРАТОРНУ РОБОТУ ПОВИНЕН МІСТИТИ:

- 1 Назву і мету роботи.
- 2 Короткі теоретичні відомості.
- 3 Зарисовану форму литникової системи із планом розміщення литників і випорів.
- 4 Висновки по роботі.

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

- 1 Що таке лиття в піщано-земляну суміш?
- 2 Що таке лиття в металеві форми (кокільне)?
- 3 Що таке центробіжне лиття?
- 4 Що таке лиття під тиском?
- 5 Що таке лиття в оболонкові (кіркові) форми?
- 6 Для чого використовують облицювальні і наповнювальні суміші?
- 7 Чим характеризуються ливарні властивості металів?

Лабораторна робота № 4

ВИЗНАЧЕННЯ ТВЕРДОСТІ І МЕЖІ МІЦНОСТІ МАТЕРІАЛІВ

МЕТА: *Навчитись визначати твердість конструкційних матеріалів. Дослідити зв'язок твердості як однієї з найважливіших властивостей матеріалів з їх структурою.*

ПРИЛАДИ, МАТЕРІАЛИ ТА ІНСТРУМЕНТ

- твердомір Бринеля;
- лупа Бринеля;
- таблиці для визначення твердості за Бринелем;
- зразки різних металів і їх сплавів;
- напилки;
- шліфувальний папір.

ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Твердість матеріалів (металів) визначають за допомогою дії на поверхню металу наконечника (спосіб вдавлювання), дряпанням поверхні твердішим матеріалом, ударом або за відскоком наконечника – кульки. Твердість, яку визначено дряпанням, характеризує опір руйнуванню, твердість за відскоком – пружні властивості, твердість вдавлюванням – опір пластичній деформації.

Найбільше поширення отримали методи визначення твердості вдавлюванням. При дії на поверхню металу твердішим матеріалом поверхневі шари металу пластично деформуються і після зняття навантажень на поверхні залишається відбиток, за формою і розмірами якого визначають твердість даного зразка. Між твердістю металів і їх межею міцності існує кількісна залежність, тому знаючи твердість металу просто розрахувати межу міцності.

В техніці набуло поширення кілька методів визначення твердості:

а) - твердість за Бринелем – використовується для визначення твердості металів і полімерів. В матеріал вдавлюється сталеві кулька і значення твердості визначають за величиною (площею) поверхні відбитка, який залишає кулька. Кульку вдавлюють за допомогою преса. Методика вимірювань регламентується ГОСТ 9012 “Вимірювання твердості за Бринелем”.

Діаметр кульки за вимогами цього ГОСТу може бути 10, 5 або 2,5 мм. Одиниці твердості за Бринелем позначаються буквами НВ (число твердості) і визначаються шляхом ділення прикладеного навантаження P на поверхню утвореного на зразку відбитка кульки (кулькового сегмента) F (рис. 4.1):

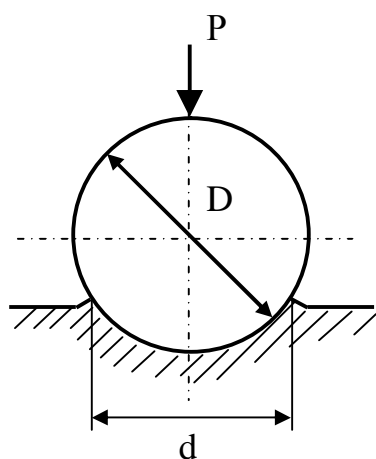


Рисунок 4.1 - Визначення твердості за Бринелем

$$HB = P/F, \text{ кг/мм}^2, \quad (4.1)$$

Поверхня кулькового сегмента, в свою чергу, визначається:

$$F = \frac{\pi \cdot D}{2} \cdot (D - \sqrt{D^2 - d^2}), \quad (4.2)$$

а формула для визначення числа твердості за Бринелем прийме вигляд:

$$HB = \frac{2 \cdot P}{\pi \cdot D \cdot (D - \sqrt{D^2 - d^2})}, \quad (4.3)$$

де P – навантаження, кг; D – діаметр кульки, мм; d – діаметр відбитка, мм.

Навантаження на кульку P вибирають з умов подібності: $P = K \cdot D^2$, де K – постійна величина, яка вибирається в залежності від діаметра кульки і може дорівнювати 30, 10, 2,5.

Для визначення твердості за Бринелем її визначають або з розрахункової формули, або (найчастіше) користуються таблицями.

Між твердістю НВ і межею міцності існують такі залежності:

Сталь з твердістю НВ

120-175 $\sigma_b \approx 0,34$ НВ

175-450..... $\sigma_b \approx 0,35$ НВ

Мідь, латунь, бронза:

відпалена..... $\sigma_b \approx 0,55$ НВ

наклепана..... $\sigma_b \approx 0,40$ НВ

Дуралюмін

відпалений..... $\sigma_b \approx 0,36$ НВ

загартований і зістарений..... $\sigma_b \approx 0,35$ НВ

Вимірювання площі лунки $F_{\text{лунки}}$ і площі проекції відбитка $F_{\text{проекції}}$ дозволяє характеризувати відносне видовження:

$$\psi(\%) = K \cdot \frac{F_{\text{лунки}} - F_{\text{проекції}}}{F_{\text{проекції}}}, \quad (4.4)$$

де K – коефіцієнт пропорційності.

б) твердість за Роквеллом. Принциповою різницею між твердістю за Бринелем і за Роквеллом є те, що твердість визначають за глибиною відбитка, а не за його площею, при цьому можна використовувати як кульку, так

і алмазну піраміду чи конус. Перевагою методу Роквелла є те, що навантаження з конусом можна змінювати в широких межах, бо при вдавлюванні конуса зберігається закон подібності, а умови деформації під вершиною конуса не змінюються. Одиниці вимірювання за Роквеллом: HRA; HRB; HRC, при цьому остання буква показує, по якій шкалі проводили вимірювання і який елемент вдавлювали в метал.

в) твердість за Віккерсом. Позначається HRV і визначається вдавлюванням алмазної піраміди з кутом у вершині 136° . Числа твердості за Бринелем і за Віккерсом мають однакову розмірність і до HB 450 практично збігаються, тому за Віккерсом переважно вимірюють матеріали з високою твердістю.

ХІД РОБОТИ

Знайомляться з конструкцією твердоміра Бринеля і лупи Бринеля. Вибирають зразки з невідомою твердістю, по 3 шт на бригаду. Встановлюють зразки в прилад Бринеля і роблять відбитки сталеву кулькою на них. За допомогою лупи Бринеля визначають діаметри відбитків на зразках. За формулою (3) визначають твердість зразків в одиницях HB. Твердість зразків визначають з таблиці твердості. Порівнюють результати отримані за формулою і з таблиці. Визначають межу міцності даних зразків. За формулою (4) визначають можливе відносне видовження зразків. З проведеної роботи роблять висновки.

ЗВІТ ПРО ЛАБОРАТОРНУ РОБОТУ ПОВИНЕН МІСТИТИ:

- 1 Назву і мету роботи.
- 2 Короткі теоретичні відомості.
- 3 Результати вимірювань і розрахунків твердості та відносного видовження матеріалу із заданого зразка.
- 4 Висновки по роботі.

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

- 1 Що характеризує твердість матеріалу?
- 2 В яких одиницях вимірюють твердість за Бринелем? За Віккерсом? За Роквеллом?
- 3 Чим відрізняються різні методи вимірювання твердості?
- 4 Які переваги має той чи інший метод вимірювання твердості?
- 5 Чим обмежується вимірювання твердості за методом Бринеля?
- 6 Як пов'язані між собою основні механічні властивості металів: твердість, міцність, в'язкість, відносне видовження, пластичність.
- 7 Як визначити твердість за методом Бринеля?

Лабораторна робота №5

ОБРОБКА МЕТАЛІВ ТИСКОМ ШЛЯХОМ ХОЛОДНОГО ВОЛОЧІННЯ

МЕТА: *познайомитися із основами волочіння, як одним із методів обробки металів тиском. Виготовити дроти заданого діаметра із заготовки методом волочіння.*

ПРИЛАДИ І МАТЕРІАЛИ:

- пристрій для електрохімічного травлення кінців дротів;
- блок живлення БП-24М;
- набір алмазних фільтер для волочіння, або фільтерна дошка;
- настільні тиски;
- плоскогубці;
- мінеральне мастило;
- мікромметр, оптичний або механічний;
- лінійка або рулетка.

ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Обробкою металів тиском називають зміну форми заготовки під дією зовнішніх сил. Вона може використовуватись тільки для тіл з достатньою пластичністю. Для крихких тіл обробка тиском (наприклад для чавунів: не використовується).

З виникненням залишкових деформацій від удару або тиску метал змінює свою форму в бажаному напрямку без руйнування. Одночасно проходить і зміна структури металу і його механічних властивостей. Така необоротна зміна форми називається пластичною деформацією. Для створення пластичної деформації на метал необхідно діяти навантаженнями, які більші його порога пружності, але менші порога текучості.

Волочінням називається особливий вид обробки металів тиском, при якому метал, який обробляється, як правило в холодному стані, протягується через отвір волочильної (фільтерної) дошки або окрему фільтеру. Переріз цієї фільтери менший перерізу заготовки, яка протягується. Фільтера має конусну форму, що полегшує проходження заготовки через неї. Волочінням обробляють сталь, кольорові метали та їх сплави. Таким способом обробляють дроти від 0,003мм і вище, калібровані прутки та тонкостінні труби. Вироби отримують з гладкою поверхнею і точними розмірами. Для усунення наклепу, що виникає в процесі волочіння використовують проміжне відпалювання, з наступним травленням для зняття окалини. Оскільки діаметр фільтери менший діаметра заготовки, для заправки заготовки в фільтеру кінець заготовки стоншують механічними (на токарному станку або абразивним кругом) чи електрохімічними методами. Для покращення проходження заготовки через отвір фільтери використовують різноманітні змащувальні матеріали (мелений графіт, мильну

стружку, бджолиний віск, мінеральні масла). Змащувачі мають забезпечувати проходження заготовки через фільтеру з мінімальним тертям і в той же час не дифундувати в поверхню дроту, що неприпустимо при виготовленні дротів із заданими електричними параметрами (для нагрівників, навантажувальних опорів, термопар тощо). Після волочіння залишки мастила знімають механічними або хімічними методами. Волочіння буває холодне і гаряче. При гарячому волочінні дріт перед фільтерою підігрівається до температури відпалювання. Для запобігання окисленню поверхні дроту гаряче волочіння ведуть в захисних середовищах або у вакуумі.

Ми виготовимо дріт із заготовки методом холодного волочіння.

ХІД РОБОТИ

Кожній з підгруп викладачем або лаборантом видаються заготовки з різних металів, які потрібно довести до необхідного діаметра. При діаметрі заготовки більше 0,5 мм стоншення заправного кінця заготовки проводять механічним способом, використовуючи для цього шліфувальний папір. Заготовки діаметром меншим 0,5 мм стоншують електрохімічним способом.

На столі встановлюють ванну для електрохімічного травлення. Електроди ванни дротами з'єднують з клемми блока живлення БП-24М. В ванну наливають слабкий розчин соляної кислоти та кухонної солі. Кінець заготовки занурюють в ванну і заготовку закріплюють в такому положенні, використовуючи затискач, який з'єднаний з мінусовим виводом ванни. Вмикають струм. Перед вмиканням необхідно пересвідчитись, що регулятор потужності блока БП-24М знаходиться в крайньому лівому положенні, що гарантує мінімальну силу струму. Поворотом регулятора потужності добиваються початку електрохімічного травлення кінця заготовки. Після закінчення травлення блок живлення вимикають, а заготовку споліскують водою.

Після стоншення заправного кінця вимірюють діаметр та довжину заготовки. Теоретично розраховують довжину заготовки після одного проходу волочіння, знаючи діаметр фільтери. Витравлений кінець заготовки вставляють в фільтеру. Внутрішній діаметр фільтери не повинен відрізнятись від діаметра заготовки більше як на 5%. На столі закріплюють тиски в яких затискають ободок фільтери. Плоскогубцями затискають протравлений кінець заготовки і плавно, з наростаючим зусиллям тягнуть на себе, контролюючи процес витяжки заготовки. Протягнуту заготовку обмірюють, записуючи її новий діаметр і довжину. Розраховують величину відносного видовження заготовки після одного етапу волочіння і оцінюють ступінь пластичної деформації. Виміряну довжину заготовки порівнюють з теоретично розрахованою і розраховують масу металу, яка перейшла в розчин в результаті електрохімічного травлення кінця заготовки. Операцію волочіння повторюють кілька разів, до досягнення за-

даного діаметра дроту. Будують графік залежності довжини дроту від його діаметра.

Порівнюють здатність різних металів до деформації при волочінні дротів від одного діаметра.

З проведеної роботи роблять висновки.

ЗВІТ ПРО ЛАБОРАТОРНУ РОБОТУ ПОВИНЕН МІСТИТИ:

- 1 Назву і мету роботи.
- 2 Короткі теоретичні відомості.
- 3 Результати вимірювань і обчислень, графік залежності довжини дроту від його діаметра, аналіз результатів.
- 4 Висновки по роботі.

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

- 1 Для чого використовують обробку металів тиском?
- 2 Які матеріали можна обробляти методами холодної деформації?
- 3 Що таке відносне видовження при волочінні?
- 4 З чого складається алмазна фільера?
- 5 Чому при волочінні сталюого дроту від 0,5 мм до 0,25 мм потрібно зробити кілька етапів волочіння, а не один?
- 6 Що таке ресурс пластичності металу?
- 7 Для чого стоншують кінчик дроту перед волочінням і які способи стоншення ви знаєте.

Лабораторна робота № 6 ВИГОТОВЛЕННЯ ТЕРМОПАРИ

МЕТА: *познайомитися із призначенням, конструкцією та способами виготовлення термопар, які використовуються в теплотехнічних пристроях.*

ПРИЛАДИ ТА МАТЕРІАЛИ:

- блок живлення типу БП-24М або ЛАТР;
- графітовий електрод;
- затискач "крокодил";
- з'єднувальні дроти;
- захисні окуляри;
- дроти з термоелектричних матеріалів різного перерізу;
- керамічна ізоляційна арматура;
- плоскогубці;
- бокорізи.

КОРОТКІ ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Стандартні термопари із сплавів хромель, алюмель і копель широко використовуються в теплотехнічних вимірюваннях для визначення і контролю температури. Діапазон температур, які вимірюються цими термопарами складає: - для термопар типу ХК (хромель-копель) -50...600 °С; - для термопар типу ХА (хромель-алюмель) -50...1100 °С.

Такі термопари широко випускаються промисловістю, і, як правило, складаються з таких елементів (рис. 6.1):

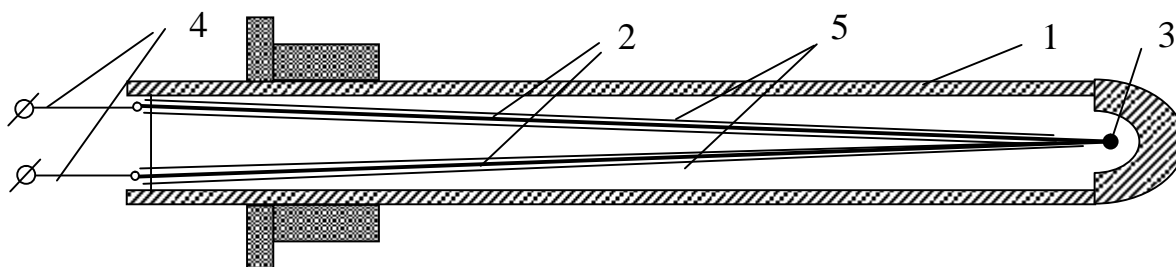


Рисунок 6.1 - Промислова термопара

- 1 - корпус з теплостійкого та корозійностійкого матеріалу;
- 2 - електроди з термопарних сплавів;
- 3 - спай електродів (корольок);
- 4 - клемна колодка із затискачами.
- 5 - ізоляційні термостійкі трубки.

При вирішенні різноманітних задач, особливо наукового характеру, промислові термопари внаслідок своєї громіздкості, інерційності та габаритів часто не задовольняють вимоги експериментаторів і ті виготовляють термопари самі.

Найвідповідальнішим елементом термопари є гарячий спай. Саме він є чутливим елементом і до нього висуваються такі вимоги як надійність, міцність, добрий контакт між електродами при відносній простоті виконання. З'єднання електродів термопар проводять шляхом спаювання або зварювання. Як припій при спаюванні використовують олово та срібло. Однак, з'єднання електродів методом спаювання, незважаючи на відносну простоту виконання, використовуються рідко, бо мають ряд недоліків, таких як ненадійність з'єднання при високих температурах, можливість стікання припою при переході через точку його плавлення, та необхідність використання спеціальних флюсів при паянні. Тому більше поширення набули методи зварювання.

Відомі кілька різновидів цього методу:

- 1 Метод зварювання в дистильованій воді, при якому термопарні дроти при зварюванні вкриті шаром дистильованої води, яка виступає електроізолятором одночасно запобігаючи окисленню поверхні королька під час зварювання;

2. Метод зварювання в графітовому порошкові, при якому графітовий порошок в тиглі є одним із полюсів для утворення зварювальної дуги, а скручені разом термопарні дроти – другим;
3. Зварювання графітовим електродом;
4. Газове зварювання в захисному середовищі.

Всі ці способи забезпечують високоякісний надійний спай, при відносній простоті виконання та дешевизні апаратури і інструментів.

Ми виготовимо спай термопари зварюванням за допомогою графітового електрода.

ХІД РОБОТИ

Для виготовлення термопари візьмемо два неізольовані дроти з термоелектричних сплавів хромель і копель довжиною по 500 мм кожен. Плоскогубцями скрутимо кінці дротів на відстані 8-10мм від краю, з однієї сторони. Бокорізами підрівняємо скручені кінці до однакової довжини, уважно стежачи, щоб вони не розходились в сторони і мали надійний контакт між собою.

До мінусової клеми блока БП-24М через провідник під'єднаємо затискач "крокодил", а до плюсової - графітовий електрод в ізоляції. На блоці живлення регулятором виставимо напругу 8-10 В. Скрутку затиснемо затискачем на відстані 5-6 мм від краю. Одягнемо захисні окуляри і, взявши в ліву руку затискач із скруткою, а графітовий електрод в праву, на короткий час доторкнемося графітовим електродом до скрутки. Забравши графітовий електрод, вимикаємо блок живлення і знявши захисні окуляри оцінюємо якість "королька" спаю. Він повинен мати діаметр 0,8-1,5 мм, бути правильною круглої форми, блискучий, без характерних ознак вигорання одного з електродів. Якщо якість спаю не задовольняє ці вимоги, під керівництвом викладача коректують силу струму на блоці живлення і повторюють зварювання. Після якісного зварювання скрутку розкручують, добиваючись, щоб електроди виходили, безпосередньо із спаю.

На дроти одягають ізоляційні трубки, в залежності від робочої температури термопари це може бути алунд, борид ніобію, каолінова кераміка або поліхлорвініл.

Частина дротів, яка не входить в робочу зону і не нагрівається вище температури навколишнього середовища, ізолюють хлорвініловими трубками або бавовняно-паперовою ізоляцією.

З проведеної роботи роблять висновки.

ЗВІТ ПРО ЛАБОРАТОРНУ РОБОТУ ПОВИНЕН МІСТИТИ:

- 1 Назву і мету роботи.
- 2 Короткі теоретичні відомості.
- 3 Результати виконання роботи, струм та напруга зварювальної дуги і холостого ходу в залежності від діаметра дроту, аналіз результатів.
- 4 Висновки по роботі.

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

- 1 Який робочий діапазон хромель - копелевої термопари?
- 2 Від чого залежить робочий діапазон термопар?
- 3 З яких матеріалів виготовляють ізоляційну арматуру термопар?
- 4 Як захистити електроди термопар від корозії при роботі в агресивних середовищах?
- 5 Які ви знаєте способи зварювання електродів термопар? Опишіть їх особливості.
- 6 Для чого використовують зварювання термопар під дистильованою водою?
- 7 Яка величина струму рекомендується при зварюванні термопар графітовим стержнем?

Лабораторна робота № 7

ГРАДУЮВАННЯ ТЕРМОПАРИ ЗА РЕПЕРНИМИ ТОЧКАМИ

МЕТА: Навчитися градуювати термопару за реперними точками, дослідити температурну залежність термо-е.р.с. термопари і визначити питому термо-е.р.с. даної термопари.

ПРИЛАДИ ТА МАТЕРІАЛИ:

- вольтметр цифровий типу Щ 300;
- термостат;
- термостатний термометр;
- термопара;
- фарфоровий або кварцевий тигель;
- спиртівка;
- лід та дистильована вода.

ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Явище термоелектрики вперше спостерігав А. Зеебек в 1826р., коли виявив, що в замкнутому контурі, який складається з двох різнорідних матеріалів, виникає термоелектрорушійна сила, якщо підтримувати різницю температур спаїв цих провідників. Величина цієї термо-е.р.с. пропорційна різниці температур між холодним і гарячим спаями.

$$E = \alpha \cdot (T_2 - T_1), \text{ мВ} \quad (7.1)$$

де α - коефіцієнт пропорційності, який називають питомою електрорушійною силою, мкВ/К, T_2 і T_1 відповідно температури між гарячим і холодним спаями.

Оскільки ця залежність для деяких пар матеріалів близька до лінійної, їх можна з успіхом використовувати для вимірювання температури. Датчики для вимірювання температури на основі термоелектричного ефекту називають термопарами. Для забезпечення точності, надійності, стабільності і коректності вимірів, термопари повинні задо-

вольняти такі вимоги: стабільність в часі, стійкість до окислення, механічна міцність, повторюваність результатів, лінійність характеристик.

Всі найважливіші характеристики термоелектричних термометрів: величина сигналу, чутливість, діапазон температур, що вимірюються, ресурс роботи, стабільність тощо залежать від властивостей матеріалів, що утворюють термопару. Для виготовлення металевих термопар, в принципі, можна користуватися парою будь-яких різних металів або сплавів, однак найдоцільніше використовувати тільки деякі, так звані термоелектродні сплави, які отримали поширення в теплотехніці для вимірювання температури.

Головною причиною того, що для термопар використовуються тільки деякі певні сплави є складність вимог, які до них пред'являються:

- термоелектрорушійна сила термоелектродних сплавів, що утворюють термопару, повинна бути достатньо великою для вимірювання з необхідною точністю. Вона повинна бути неперервною і однозначною функцією температури, без екстремумів в робочому інтервалі температур. Бажано, щоб ця функція була близька до лінійної;
- температура плавлення термоелектродних сплавів повинна бути вище максимальної температури їх використання на 50-150°C;
- термоелектродні сплави повинні бути максимально корозійностійкими в тих середовищах і для тих температур, при яких повинна працювати термопара;
- термоелектродні сплави повинні мати добру повторюваність і однорідність властивостей при їх виробництві в промислових масштабах;
- сплави для термопар при експлуатації і градуванні повинні зберігати свої термоелектричні характеристики незмінними. Бажано, щоб нестабільність термо-е.р.с. промислових високотемпературних термопар не перевищувала 1% від своєї величини при експлуатації протягом 1000 годин.
- сплави для термопар повинні бути достатньо пластичними, щоб із них можна було виготовляти дроти і разом з тим достатньо міцними.

Вищеперераховані вимоги привели до того, що хоча кількість сплавів і їх комбінації, які досліджувались і використовувались для виготовлення термопар, перевищує 300, Міжнародною електротехнічною комісією рекомендовано таблиці для 6 термопар (в дужках позначення рекомендовані Національним інститутом стандартів США): мідь-константан (Т); залізо-константан (J); хромель-константан (Е); хромель-амомель (К); вольфрам-вольфрамреній (G; С); платина-платинародій (R,S,B). В країнах СНГ, крім того, досить поширені термопари мідь-копель і хромель-копель.

Мідь-константан (Т)

Константан - сплав міді з нікелем, складу $\text{Cu}_{57}\text{Ni}_{43}$, марка МНМц 43-0,5. Термопарний сплав константан містить невелику кількість домішок марганцю і заліза для узгодження калібровки із стандартними таблицями. Чиста мідь М0 з низьким вмістом кисню дуже однорідна і, за винятком дуже низьких температур, дає добру повторюваність термо-е.р.с. Термопара мідь-константан (МК) недорога, точна і дозволяє надійно вимірювати температуру від мінус 260 до $+400^\circ\text{C}$, причому верхня границя обмежується можливістю окислення міді.

Залізо-константан (J)

Термопара залізо-константан (ЖК) широко використовується до 750°C . Вона дозволяє вимірювати вдвічі більшу температуру ніж термопара МК. Її перевага також в можливості використання як в окислювальних, так і в відновлювальних середовищах, причому в останньому випадку робочі температури можуть бути більшими. Однак, оскільки Fe менш однорідний ніж Cu, в цій термопарі спостерігаються паразитні термо-е.р.с. вздовж обох віток, і її точність приблизно вдвоє нижча (як і ціна) в порівнянні з термопарою мідь-константан.

Хромель-константан (E)

Хромель – сплав складу $\text{Ni}_{90}\text{Cr}_{10}$ (НХ9,5), який деколи позначають як хромель-Р. Термопара ХК має найвищу термо-е.р.с з шести стандартизованих термопар. Як і пара ЖКн вона може використовуватись приблизно при температурі від мінус 250 до 750°C , в тому числі і в слабоокислювальній або в відновлювальній атмосфері. Висока термо-е.р.с. робить цю термопару придатною для диференціального вимірювання температури.

Хромель-алюмель (K)

Алюмель досить складний нікелевий сплав складу $\text{Ni}_{94}\text{Mn}_3\text{Al}_2\text{Si}$, (НМцАК 2-2-1), розроблений в якості термопарного матеріалу з термо-е.р.с. протилежного знака по відношенню до хромелю. Хоча з цією метою може використовуватись і чистий нікель, але магнітний перехід близько 350°C (T_c 631К) робить чистий метал значно менш придатним, ніж сплав. Пара хромель-алюмель має постійну термо-е.р.с. ≈ 40 мкВ/К в інтервалі температур 250-1000 $^\circ\text{C}$. Хромель-алюмель може використовуватися до 1300°C . Вона більш стійка до окислення ніж інші пари і може працювати при 1200°C без швидкого окислення. У відновлювальній атмосфері термопару ХА використовувати не можна. При низьких температурах її характеристики приблизно такі ж як мідь-константан, хоча для вимірювань при температурах не нижче кімнатної рекомендується інший склад хромелю $\text{Ni}_{64}\text{Fe}_{25}\text{Cr}_{11}$ (хромель – X).

Вольфрам-вольфрамений (G і C).

Ці термопари, що складаються з тугоплавких металів, використовують для вимірювання температур вище 2000°C. Комбінація чистих W і Re задовільно працює до 1650°C. Вище цієї температури чутливість її знижується і вище 2200°C така термопара малопридатна. Крім того реній дуже дорогий. Тому краще використовувати вольфрамренієві сплави, оскільки при певних складах сплавів термо-е.р.с. сплаву вища ніж в чистого Re. Сплави значно краще обробляються і значно дешевші. Найбільшого поширення набули термопари ВР 5/20 ($W_{95}+Re_5$ -- $W_{80}+Re_{20}$, типу C) і ВР 10/20 ($W_{90}+Re_{10}$ – $W_{80}+Re_{20}$). Їх можна використовувати до температур 2700-3000°C. Потрібно пам'ятати, що термопари типу ВД нестабільні в окислювальному середовищі і повинні використовуватися в вакуумі або в атмосфері водню чи інертного газу. Не дивлячись на відносну крихкість чистого вольфраму, за кордоном широко використовуються термопари (W-W+ Re_{26} -типу G).

Платина-платинородій (R, S, B).

Це базисні термопари, які відіграють велику роль в термометрії в наслідок прекрасних механічних і хімічних властивостей і високого ступеня гомогенності. Термопари мають такий склад: ПР 10/0 - (Pt- Pt_{90} + Rh_{10} тип S), ПР 13/0- (Pt- Pt_{87} Rh_{13} , тип R), ПР 30/6 (Pt_{70} + Rh_{30} – Pt_{94} + Rh_6 , тип B). Термопари S, R і B, які поставляються, мають або високоякісну калібрувальну, або нормальну стандартну шкалу. Їх можна тривалий час використовувати на повітрі і в інертній атмосфері. В вакуумі термопари цих типів використовувати не можна.

За вимірюваними інтервалами температур термопари розділяють на:

- низькотемпературні, до 300 °C: МК, ЖК;
- середньотемпературні, до 1600 °C: ХК, ХА, ПР 10/0, ПР30/6;
- високотемпературні, вище 1800 °C: ВР 5/20, ВР 10/20.

Для забезпечення високої точності вимірювань виготовлені термопари градуують. Градування проводиться по реперних (відомих) точках, еталонних термопарах, еталонних термометрах опору, оптичних пірометрах високого класу тощо. Ми проведемо градування термопари по реперних точках.

ХІД РОБОТИ

Виготовлену термопару 2 під'єднуємо до цифрового вольтметра 5 через подовжувальні дроти 3 (рис. 7.1). Для цього вільні спаї термопар спаюють олов'яним припоєм з мідними дротами довжиною 0,5м, товщиною не менше 1мм і вводять в термостат з мінеральним маслом для стабілізації їх температури. Термостат закривають пробкою, в якій зроблено отвори для дротів і термостатного термометра 4. Кінці мідних дротів під'єднують до клем вольтметра.

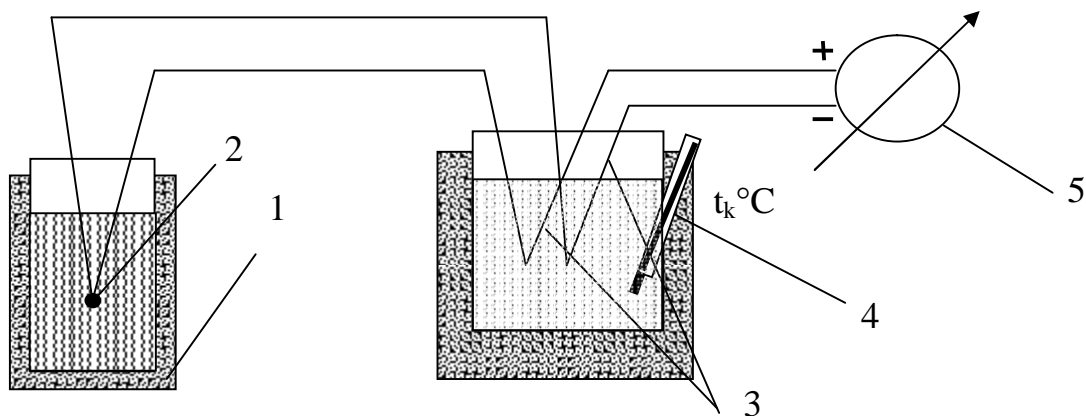


Рисунок 7.1 – Схема під'єднання термопар для градуювання

З термостатного термометра знімають покази температури масла, яка дорівнює температурі холодних спайв термопари. В фарфоровий або кварцевий тигель 1 наливають 30-50 мл дистильованої води і наповнюють його льодом. Через 2-3 хв. після початку танення льоду в тигель вводять гарячий спай термопари. Записують покази вольтметра. Тигель з водою підігрівають на спиртівці до кипіння води. Знімають покази вольтметра при стабільному кипінні (в Вінниці температура кипіння води = 99,3 °С). За двома точками будують лінійний графік залежності $E = f(t)$.

Оскільки величина термо-е.р.с. пропорційна різниці температур, вводять поправку на холодний спай (враховують температуру масла в термостаті).

$$t_0 = 0 - t_{\text{хол}}; \quad t_1 = 99,3 - t_{\text{хол}};$$

З графіка визначають коефіцієнт пропорційності (питому термо-е.р.с.) α в діапазоні температур 0-100 °С, який чисельно дорівнює тангенсу кута нахилу прямої до осі абсцис.

Визначену експериментальним шляхом питому термо-е.р.с. порівнюють з табличним значенням α в цьому інтервалі температур і визначають похибку термопари. З проведеної роботи роблять висновки.

ЗВІТ ПРО ЛАБОРАТОРНУ РОБОТУ ПОВИНЕН МІСТИТИ:

- 1 Назву і мету роботи.
- 2 Короткі теоретичні відомості.
- 3 Результати вимірювань і обчислень, градуювальний графік, аналіз результатів.
- 4 Висновки по роботі.

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

- 1 На основі яких металів виготовляють термопарні сплави хромель, копель, алюмель?

- 2 Чому при визначенні температури термопарою вводять поправку на холодний спай?
- 3 Які термопари використовують при вимірюванні температури в діапазоні 0 - 1000 °С?
- 4 Що таке компенсаційні дроти?
- 5 Чому термо-е.р.с. бажано вимірювати цифровими вольтметрами або мостами?
- 6 Які ви знаєте способи вимірювання температури?

Лабораторна робота №8

ІОНІЗУЮЧА ДІЯ МАТЕРІАЛІВ ЕЛЕКТРОДНИХ ПОКРИТЬ

***МЕТА:** Вивчити іонізуючу дію матеріалів електродних покриттів електродів різних марок за обривною довжиною дуги.*

ОБЛАДНАННЯ, ІНСТРУМЕНТ, МАТЕРІАЛИ

- 1 Пост постійного і змінного струму з електровимірювальними приладами.
- 2 Штатив з гвинтовим обладнанням для вертикального переміщення електродотримача (рис.8.1).
- 3 Загострений вуглецевий електрод, закріплений в тримач.
- 4 Пластина з маловуглецевої сталі.
- 5 Металевий стержень з маловуглецевої сталі (d=4мм) (електрод без покриття).
- 6 Електроди різних марок (склад покриття наведений в таблиці 8.1).

ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Гази, навіть при температурах, які набагато перевищують кімнатну, складаються з недисоційованих молекул, тобто є ізоляторами, а при температурах близьких 1400°С в газі з'являються позитивно і негативно заряджені іони, які і роблять його провідником електричного струму.

Створення дуги обумовлено емісією електронів з катода і іонізацією в дуговому проміжку. Виділення електронів з поверхні катода досягається за рахунок термоелектронної, автоелектронної емісії і емісії в результаті ударів позитивних іонів по катоду. Іонізацію дугового проміжку викликають такі фактори: нагрівання (термічна іонізація), опромінювання (фотоіонізація) та іонізація взаємного удару.

Іонізація взаємного удару полягає в тому, що електрони, рухаючись з великою швидкістю, зустрічаючись з нейтральними атомами газу, вдаряються в них, вибивають електрони, іонізуючи атоми. Кількість енергії, яку необхідно затратити для відриву електрона від атома, називають роботою іонізації eU , яка буде різною для різних елементів. Роботу іонізації в

розрахунках швидкості електрона необхідно приймати рівною потенціалу іонізації, вираженому в вольтах.

Знаючи, що на основі закону збереження енергії приріст кінетичної енергії електрона $mv^2/2$ повинен дорівнювати роботі, затраченій на переміщення електрона, можна записати рівняння:

$$mv^2/2 = eU \quad (8.1)$$

де m - маса електрона $/3,1 \cdot 10^{-33}/$, кг;

v - швидкість електрона, м/с; e - заряд електрона $(1,6 \cdot 10^{-19})$, Кл;

U - різниця потенціалів на відрізку шляху, пройденого електронем, В.

З рівняння (8.1) швидкість електронів:

$$v = \sqrt{2eU/m} \quad (8.2)$$

Підставляємо в це рівняння e і m , одержуємо швидкість електронів, м/с, тобто

$$v = 6 \times 10^5 \sqrt{U} \quad (8.3)$$

Для стабільного горіння дуги необхідно, щоб в її стовпі весь час знаходились заряджені частинки, кількість яких зменшується внаслідок рекомбінації. Іонізуюча дія матеріалів визначається не тільки потенціалом іонізації, а ще й пружністю пари даного з'єднання або простої речовини, оскільки пружність пари визначає швидкість випаровування і тим самим концентрацію іонізованих атомів в атмосфері дуги. Тому ефективний потенціал іонізації будь-якої газової суміші визначається не тільки потенціалом іонізації, а ще і концентрацією елементів в дуговому проміжку.

Введення в склад електродних покриттів і флюсів елементів з низьким потенціалом іонізації сприяє швидкому запалюванню і стійкому горінню зварювальної дуги за рахунок зниження ефективного потенціалу іонізації газової суміші. Про іонізуючу дію матеріалів можна судити за обривною довжиною дуги. Склад покриття деяких електродів приведений в таблиці 8.1.

ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

- 1 Підібрати силу струму короткого замикання ($I_{кз} = 200$ А) для стержня ($d = 4$ мм),
- 2 Закріпити металевий електрод в штатив так, щоб відстань від торця електрода до поверхні пластини була 3-4 мм.
- 3 Підпалити дугу між електродом і пластиною короточасним замиканням електрода і пластини за допомогою загостреного вуглецевого електрода.
- 4 Відмітити показники вольтметра в момент обриву дуги.
- 5 Після природного обриву дуги вимкнути зварювальний ланцюг і заміряти обривну довжину дуги.
- 6 Повторити дослід з електродами різних марок, кожен дослід провести три рази, рахуючи середнє значення обривної довжини.
- 7 Нарисувати наростаючий графік обривної довжини дуги для усіх матеріалів, електродів і флюсів (рис. 8.2).
- 8 Зробити висновки і пояснення отриманих результатів.

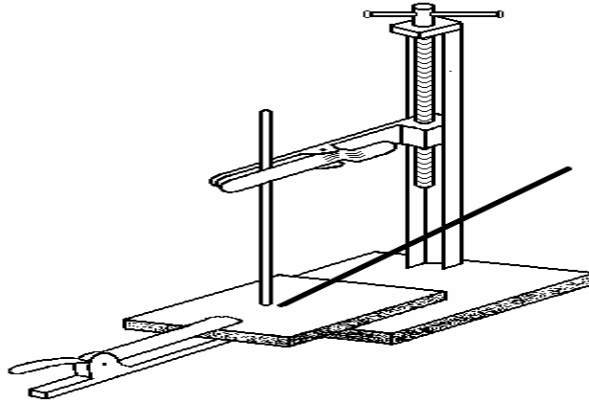


Рисунок 8.1 - Обладнання для визначення обривної довжини дуги

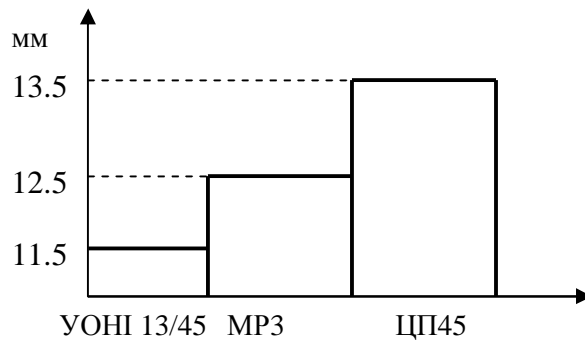


Рисунок 8.2 - Схема наростаючого графіка

Таблиця 8.1 - Характеристики електродів

Компоненти електродних покриттів	Процентне відношення, марки електродів			
	МР-3	АН0-4	УОНІ 13/45	ЦП-45
Рутиловий концентрат	50	44	-	7,0
Мармур	18	-	53	36
Плавиковошпатовий концентрат	-	-	18	23
Феромарганець	15	15	2	3,2
Феросиліцій	-	-	3	2,5
Тальк	16	-	-	-
Каолін	5	-	-	-
Целюлоза	1,5	2	-	-
Слюда	-	24	2	-
Магnezій	-	15	-	-
Кварцевий пісок	-	-	9	5
Феротитан	-	-	13	6
Рідке скло	30	25	29	27
Інші	0,5	-	-	3,3

Дані всіх замірювань і результати розрахунків занесіть в таблицю 8.2.

СКЛАД ЕЛЕКТРОДНИХ ПОКРИТІВ

Таблиця 8.2 - Результати дослідів

Матеріал, флюс, марки електрода	Рід струму, поляр- ність	Напруга в момент обриву дуги, В		Розміри обривної довжини дуги, мм	
		Замір	Середнє значення	Замір	Середнє значен- ня
		1: 2: 3		1: 2: 3	

КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

- 1 Електронна емісія, види емісії.
- 2 Потенціал іонізації, робота виходу і їх вплив на умови горіння дуги.
- 3 Які хімічні елементи сприяють збільшенню обривної довжини дуги і чому?
- 4 Що прийнято розуміти під мірою іонізації і ефективним потенціалом іонізації?
- 5 Які хімічні елементи сприяють іонізації дугового проміжку в електродах марок АНО-4 і УОНИ 13/45?

Лабораторна робота № 9

ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТІВ РОЗПЛАВЛЕННЯ, НАПЛАВЛЕННЯ, ВТРАТ ЕЛЕКТРОДА ДЛЯ РУЧНОГО ЗВАРЮВАННЯ

МЕТА: Вивчити вплив роду і сили струму, марки електродів на коефіцієнти розплавлення і наплавлення, втрат на угар і розбризкування при ручному електродуговому зварюванні.

ОБЛАДНАННЯ, ІНСТРУМЕНТ, МАТЕРІАЛ

- 1 Зварювальний пост постійного і змінного струму з електровимірювальними приладами.
- 2 Терези з важками.
- 3 Секундомір.
- 4 Штангенциркуль, лінійка.

ОСНОВНІ ВИХІДНІ ДАНІ

Основними величинами, що характеризують процес зварювання, є коефіцієнт розплавлення α_p , наплавлення α_n , і втрат ϕ .

Коефіцієнт роплавлення, г/А×год;

$$\alpha_p = C_p / I_{зв} \times t \quad (9.1)$$

де C_p - маса розплавленого електродного матеріалу, г.

$I_{зв}$ - зварюваний струм, А;

t- час, год

Коефіцієнт наплавлення, г/А×год;

$$\alpha_n = C_n / I_{зв} \times t \quad (9.2)$$

де C_n - маса наплавленого металу, г.

Коефіцієнт втрат, % ;

$$\varphi = [(\alpha_p - \alpha_n) / \alpha_p] * 100\% \quad (9.3)$$

Продуктивність процесу зварювання, г/год:

$$Q = \alpha_n / I_{зв} \times t \quad (9.4)$$

ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

- 1 Зварити пластинку, на якій буде проводитись наплавлення.
- 2 Визначити масу металевого стержня електрода.
- 3 Підібрати режим наплавлення.
- 4 Провести наплавлення валика на пластинку.
- 5 В процесі наплавлення зафіксувати значення росту струму і час горіння дуги.
- 6 Визначити масу стержня.
- 7 Дані вимірювань і обчислень занести в таблиці 9.1-9.3
- 8 Обчислити коефіцієнти розплавлення, наплавлення і втрат на угар і розбризкування.
- 9 Визначити теоретичну продуктивність, кг/год.
- 10 Зробити висновки і обчислення отриманих результатів.

Таблиця 9.1

Характеристики електродів			Вид струму, полярність	Положення в просторі	Режим зварювання	
Обмазка	Діаметр, (мм)	Товщина обмазки (мм)			струм, А	напруга, В

Таблиця 9.2

Час наплавлення	Довжина електрода (мм)		Вага прутка електродного дроту		Вага наплавленого електродного матеріалу	Матеріал пластинки
	До зварювання	Після зварювання	До зварювання	Після зварювання		

Таблиця 9.3

Вага пластини		Маса наплавленого електродного матеріалу	Коефіцієнт розплавлення, г/А.год.	Коефіцієнт наплавлення, г/А.год.	Коефіцієнт втрат, %
До зварювання	Після зварювання				

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

- 1 Що характеризують коефіцієнти розплавлення, наплавлення і втрат?
- 2 Як впливають щільність току на розмір втрат при ручному дуговому зварюванні?
- 3 Від яких факторів залежить продуктивність електродугового зварювання?
- 4 В яких випадках коефіцієнт наплавлення може стати більшим коефіцієнта розплавлення?

Лабораторна робота №10

КІЛЬКІСТЬ ОСНОВНОГО МЕТАЛУ В МЕТАЛІ ШВА І ПОГОННА ЕНЕРГІЯ

МЕТА: вивчити вплив режиму ручного зварювання, погонної енергії на частку основного металу в шві і на його розміри.

ОБЛАДНАННЯ, ІНСТРУМЕНТИ ТА МАТЕРІАЛИ

- 1 Пластина з маловуглецевої сталі.
- 2 Електроди різних марок.
- 3 Зварювальний пост з електровимірювальними приладами.
- 4 Секундомір.
- 5 Спеціальні настільні переносні лещата.
- 6 Спеціальна струбцина (рис. 10.1)
- 7 Рисувалка.
- 8 Лінійка.
- 9 Штангенциркуль.

ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Незалежно від типу і способу виконання шов складається з певної кількості основного і електродного металів. Розглянемо вплив режиму ручного дугового зварювання на частку основного і електродного металів. Режим ручного дугового зварювання - це сила зварювального струму, напруга на дузі, діаметр електрода, швидкість переміщення дуги, кут нахилу

електрода і т.д. Сила зварювального струму /A/ може бути визначена за формулою:

$$I_{зв} = R \times d_{ел} \quad (10.1)$$

де R- коефіцієнт, прийнятий для електродів $d = 3/4$ мм і дорівнює 30-45 А/мм²;

$d_{ел}$ - діаметр стержня електрода, мм.

Збільшення сили зварювального струму приводить до збільшення ефективності теплової потужності дуги $Q_{еф}$, внаслідок цього збільшується глибина проплавлення, випуклість шва, ширина валка і швидкість плавлення електрода. В результаті цього частка основного металу в металі шва підвищується.

Для визначення частки основного металу в металі шва (а в даному випадку наплавленого котка) потрібно знати площу перерізу наплавленого валка F_n (мм²), яка визначається за формулою:

$$F_n = 0,75v \times q, \quad (10.2)$$

і площу перерізу проплавленого металу $F_{пр}$, яка з деякою похибкою може бути визначена за формулою:

$$F_{пр} = 0,75v \times h, \quad (10.3)$$

Тоді

$$\gamma = F_{пр} / (F_{пр} - F_n) \quad (10.4)$$

Підвищення напруги на дузі приводить до зниження глибини провару, оскільки збільшуються затрати тепла на випромінювання, чад, розбрикування. Внаслідок збільшення довжини дуги збільшується площа нагрівання виробу, тобто, збільшується ширина котка, отже, зменшується його випуклість, оскільки на величину коефіцієнтів плавлення і на плавку напруга впливає незначно. Кількість основного металу в металі шва для ручного електродугового зварювання із збільшенням напруги практично не змінюється.

Збільшення діаметра електрода (для однієї і тієї ж самої сили струму) призводить до зменшення щільності зварювального струму, температури дуги, що веде за собою зменшення глибини провару і кількості основного металу в металі шва, а також збільшення ширини котка.

Погонна енергія - це відношення ефективної потужності дуги, витраченої на нагрівання виробу, до швидкості переміщення дуги і визначає кількість тепла, введенного дугою в 1 см однопрохідного шва чи котка.

де F-площа перерізу шва чи катка, мм²;

η -коефіцієнт корисної дії: $\eta = 0,7 \dots 0,8$

Збільшення енергії призводить до збільшення площі перерізу шва, тобто до зміни кількості основного металу в металі шва і форми котка. Швидкість переміщення дуги при однопрохідному зварюванні називають швидкістю зварювання.

ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

ДОСЛІД 1 Дослідження впливу марки електрода на форму шва.

- 1 Зачистити пластини.
- 2 Прихватити їх з боків, користуючись спеціальною струбциною (рис.10.1).
- 3 Виправити пластини.
- 4 Відмітити на пробі крейдою положення котків.
- 5 Підібрати силу струму (140-150 А для діаметра електрода 4 мм).
- 6 Наплавити валки перпендикулярно до стику електродами різних марок для заданого режиму, відмічаючи силу струму, напругу на дузі і час її горіння.

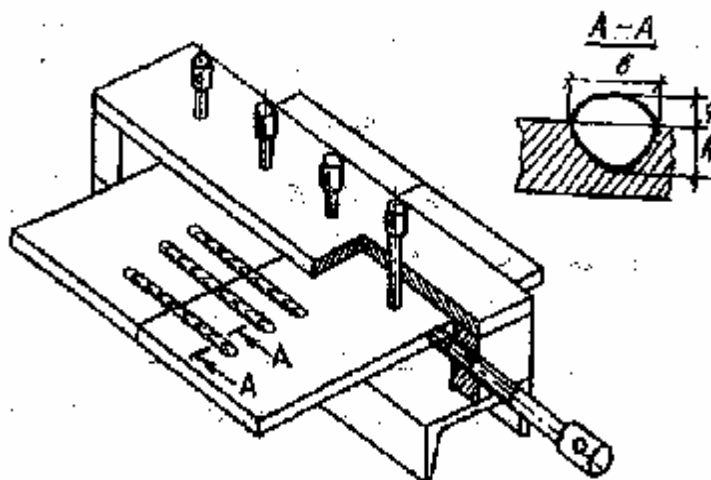


Рисунок 10.1 - Струбцина для зварювання пластин

- 7 Наплавку кожного валка виконувати тільки на охолоджену пробу, для цього після наплавки котка проба охолоджується у воді до кімнатної температури. Відхилення сили струму дозволяється в межах 10%.
- 8 Замаркувати кожен валок.
- 9 Заміряти довжину кожного валка.
- 10 Виконати перелом проби на ручному пресі заздалегідь охолодивши його до кімнатної температури.
- 11 Половину проби (зразка) закріпити в лещатах і, користуючись лінійкою та рисувалкою, провести лінію розподілу наплавленого і проплавленого металу.
- 12 Розміри валків (h,b,q) на зразках (див. рис. 10.1) виміряти штангенциркулем.
- 13 Розрахувати $F_{пр}$, F_n , γ , $v_{зв}$, $q_{п}$ за відповідними формулами.

**ДОСЛІД 2 Вивчення впливу сили зварювального струму
на форму і розміри шва.**

- 1 Повторити п.п. 1-4 дослідів 1.
- 2 Для сили зварювального струму 190 і 220 А на пробі наплавити два котки перпендикулярно до стику електродами типу Е46 (дані для сили струму 150А взяті з дослідів 1), повторюючи п.п. 6-12 дослідів 1.

**ДОСЛІД 3 Вивчення впливу напруги на дузі на форму шва,
розбризування і чад**

- 1 Електродами марки УОНІ-ІЗ/45 виконати наплавлення трьох котків для сили зварювального струму 200-220 А, змінюючи напругу від 24 до 36 В (за рахунок довжини дуги).
- 2 Коефіцієнт затрат ϕ обчислити за даними a_p , a_n , роботи 9.
- 3 Дані всіх вимірювань і результати обчислень занести до таблиці 10.1.-10.3.

ЗМІСТ ЗВІТУ

- 1 Методика постановки дослідів, приклади розрахунків.
- 2 Таблиця записів результатів обчислення.
- 3 Графіки залежності розмірів шва від марки електродів.
- 4 Висновок і пояснення одержаних результатів.

Таблиця 10.1

Характеристики електродів			Вид струму, полярність	Положення в просторі	Режим зварювання	
Обмазка	Діаметр, (мм)	Товщина обмазки (мм)			струм, А	напруга, В

Таблиця 10.2

Час наплавлення	Довжина електрода (мм)		Вага прутка електродного дроту		Вага наплавленого електродного матеріалу	Матеріал пластинки
	До зварювання	Після зварювання	До зварювання	Після зварювання		

Таблиця 10.3

Вага пластини		Маса наплавленого електродного матеріалу	Коефіцієнт розплавлення, г/А.год.	Коефіцієнт наплавлення, г/А.год.	Коефіцієнт втрат, %
До зварювання	Після зварювання				

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

- 1 Що характеризує погонна енергія і її аналітичне вираження.
- 2 Яка існує залежність між погонною енергією і площею перерізу котка ? Вивести її для випадку наплавлення електродом УОНІ 13/45.
- 3 Як визначається кількість основного металу в металі шва ?
- 4 Вплив погонної енергії, сила зварювального струму, напруги в дузі, діаметра електрода на частку основного металу в металі шва при ручному зварюванні.
- 5 Як визначається швидкість переміщення дуги при відсутності спеціальних приладів для фіксування?

Лабораторна робота №11

ВИВЧЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ОБЛАДНАННЯ ГАЗОВОГО ЗВАРЮВАННЯ МЕТАЛІВ

МЕТА: Вивчити конструкцію і принцип роботи обладнання для газового зварювання сталі, засвоїти регулювання зварювального полум'я, методику підбору режиму зварювання сталі, ознайомитись з технологією газового зварювання сталі.

ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

В газовому зварюванні плавлення металу відбувається за рахунок теплоти, яку отримуємо в результаті хімічної реакції згорання газоподібного або пароподібного палива в суміші з киснем. При використанні горючого газу ацетилену температура підвищується до 3500К.

Ацетиленовим генератором називається апарат, призначений для утворення ацетилену шляхом розкладу карбіду кальцію водою.

Існують різні конструкції ацетиленових генераторів, які розрізняються за продуктивністю, принципом взаємодії карбіду кальцію з водою та за тиском ацетилену.

Всі ацетиленові генератори, незалежно від системи, складаються із таких головних частин : газотворювач, газозбірник, запобіжний затвор,

автоматичний регулятор вироблюваного ацетилену в залежності від його використання.

На рис. 11.1 зображено переносний генератор безперервної дії АМВ – 1,25 продуктивністю 1,25 м³/год з робочим тиском 0,001 – 0,007 МПа.

Генератор складається з вертикального циліндричного корпусу 1, який має три частини : верхню (газоутворювач), середню (перетискувач) і нижню (промивач).

Вода заливається в газоутворювач, при досягненні рівня переливної трубки 2 переливається по ній в промивач, який заповнюється до рівня контрольного корка 3. Корзину 7, яка з'єднана з кришкою 10, заповнюють карбідом кальцію. Ущільнення між кришкою і горланню генератора забезпечується мембраною 9 за рахунок зусилля, створеного гвинтом 12 через траверсу 13.

Ацетилен, який утворюється в газоутворювачі, по переливній трубці надходить в промивач, барботується через воду, охолоджується і промивається. З промивача ацетилен через вентиль 16 шлангом 14 надходить в запобіжний затвор 15 і далі до пальника.

При підвищенні тиску в газоутворювачі пружина 11 стискується і корзина переміщується вгору. Крім того, при підвищенні тиску в газоутворювачі вода витісняється в перетискувач. В результаті рівень замоченого карбиду кальцію зменшується, виробництво ацетилену обмежується і підвищення тиску закінчується.

Тиск ацетилену в середині генератора контролюють манометром 8.

Мул з генератора і мулову воду з промивача зливають через штуцера 4 і 5.

Запобіжний клапан 6 служить для скидання зайвого тиску ацетилену.

Запобіжний затвор захищає генератор від проникання в нього вибухової хвилі при зворотному ударі вогню, а також від проникнення повітря і кисню зі сторони споживача.

Кисневі балони ємністю 40 л служать для транспортування і зберігання кисню з тиском 150 кг/см² (15 МПа). Балони фарбуються в голубий колір з чорним надписом “Кисень”. Для зниження високого тиску кисню до робочого тиску (1-15 кг/см²) і підтримання його постійним в процесі зварювання застосовуються кисневі редуктори. На рис.11.2 зображені схеми редуктора в неробочому (закритому) стані (рис.11.2,а) і в робочому (відкритому) стані (рис. 11.2, б). Робота редуктора полягає в підтриманні рухомої рівноваги між силою стиснення головної пружини 8, яка хоче відкрити клапан і силою стиску зворотної пружини 4 з тиском кисню, які передаються на мембрану 7 і хочуть закрити його. Робочий тиск в камері низького тиску 10 регулюється за допомогою встановлювального гвинта 9, який змінює тиск головної пружини 8, і обмежується запобіжним засобом 5. Тиск кисню в камері високого тиску 1, тобто в балоні, а також в камері низького тиску 10 заміряються манометрами високого 2 і низького 3 тиску,

відповідно. Кисень з камери низького тиску через клапан 6 надходить до пальника.

Зварювальний пальник – основний інструмент газозварювальника, який служить для змішування в потрібній пропорції горючого газу з киснем і утворення зварювального полум'я .

За конструктивними ознаками зварювальні пальники діляться на два типи : пальники інжекторні (низького тиску) і безінжекторні (високого тиску).

На рис. 11.3 зображена схема універсального інжекторного пальника. Його принцип роботи такий : кисень під тиском 1-4 кг/см² через вентиль 1 надходить в сопло інжектора 2 і створює на виході з нього велике розрідження, внаслідок чого ацетилен, який має більш низький тиск, засмоктується струменем кисню, змішується з ним в змішувальній камері 3 і, в вигляді гарячої суміші, наконечником 4 подається до мундштука 5, при виході з якого запалюється з утворенням зварювального полум'я. Для зварювання металу різної товщини пальники постачаються з кількома змінними наконечниками .

В зварювальному ацетиленово-кисневому полум'ї розрізняють три зони (рис.11.4). Зона 1 називається ядром, зона 2- зварювальна або відновна, зона 3- факелом.

Найбільш висока температура в другій зоні на відстані 2-4 мм від кінця ядра. Цією частиною полум'я здійснюється нагрівання і розплавлення металів в процесі зварювання. При звичному співвідношенні $O_2:C_2H_2$; як 2:1,1:1,2 друга зона складається з окису вуглецю CO і водню H_2 і має відновлювальний характер. З надлишком кисню утворюється окислювальне полум'я, а з надлишком ацетилену - науглецьоване полум'я.

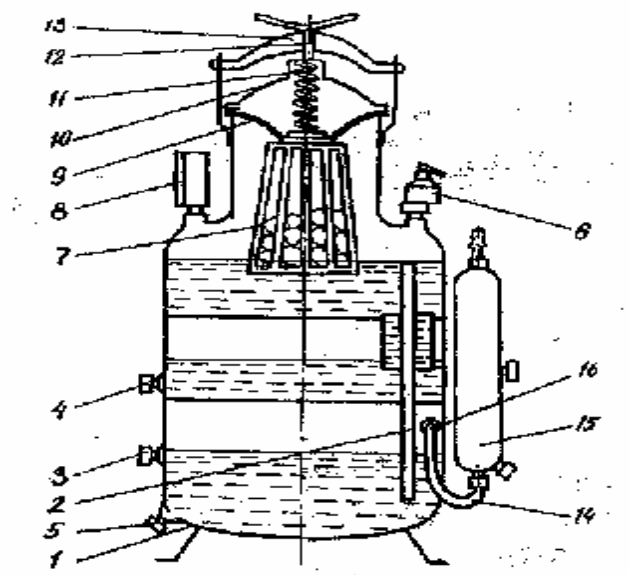


Рисунок 11.1 - Ацетиленовий генератор

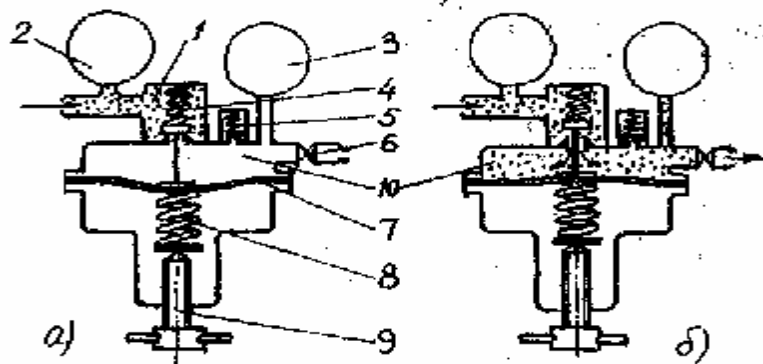


Рисунок 11.2 - Схема будови редуктора

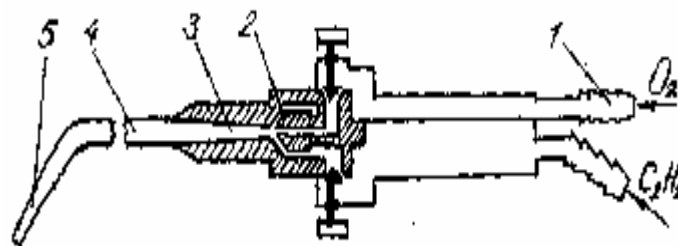


Рисунок 11.3 - Схема будови інжекторного пальника

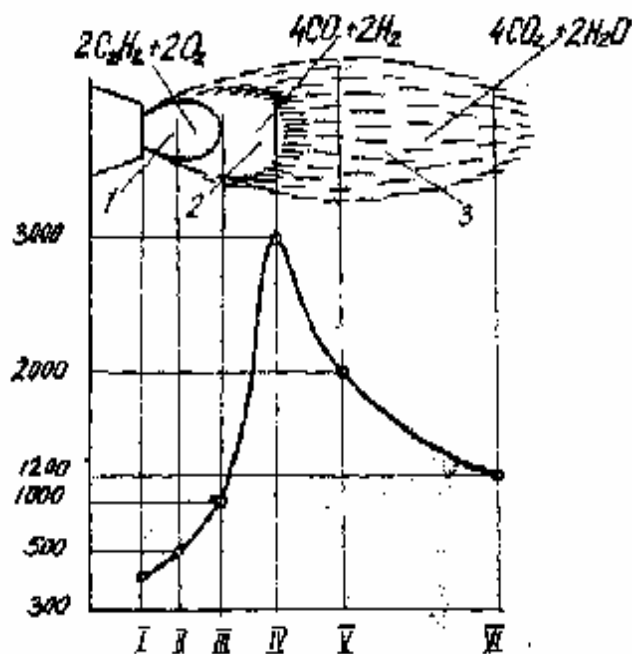


Рисунок 11.4 - Ацетиленово-кисневе полум'я

У нормального полум'я ядро яскраве, білого кольору, різко окреслене, циліндричної форми. У окислювального полум'я - ядро коротше, має синюватий колір і загострену форму. Навуглецьоване полум'я має ядро

збільшеного розміру з розмитими обрисами, полум'я стає кіптявим, червонуватого кольору.

Існує два методи виконання газового зварювання - лівий і правий. При лівому способі зварювання пальник переміщують справа наліво, попереду пальника пересувають присадковий матеріал. При правому способі мундштук пальника і зварювальне полум'я переміщують попереду, за ним - присадковий матеріал.

При зварюванні металу товщиною до 4 мм звичайно застосовують лівий спосіб. Вертикальні шви зварюють знизу вгору тільки лівим способом, а горизонтальні і верхні - тільки правим.

В процесі зварювання; полум'я не тільки розплавляє метал, але і захищає розплавлену ванну від шкідливого впливу кисню і азоту атмосферного повітря. При зварюванні необхідно, щоб розплавлений основний метал і кінець присадкового металу знаходились весь час в відновлювальній зоні полум'я. Зміною кута нахилу мундштука пальника до поверхні зварюваного металу можна змінювати інтенсивність розплавлення зварюваного металу. Найбільш інтенсивно метал розплавляється при перпендикулярному розташуванні мундштука до поверхні металу. Для зварювання дуже тонких і особливо легкоплавких металів мундштук розташовують майже паралельно поверхні зварюваного металу.

Для товщини металу до 2 мм зварювання стикових з'єднань роблять без зазору і скосу кромки. Скіс кромки для повного провару металу по всій товщині роблять для листів товщиною $S = 5$ мм.

РЕЖИМ ЗВАРЮВАННЯ

Діаметр присадкового прутка визначається за формулами:

$$d = (s/2) + 1 \quad \text{для лівого способу;}$$

$$d = s/2 \quad \text{- для правого способу;}$$

де: S - товщина зварюваного металу.

Для товщини металу 15 мм діаметр присадкового прутка беруть 6-8 мм.

Витрати ацетилену можна визначити за формулою, л/год:

$$A = R \times s,$$

де: A - коефіцієнт, який для маловуглецевої сталі дорівнює 100/130,

S - товщина металу, мм.

Швидкість зварювання, м/год:

$$V = n/s$$

де: n - коефіцієнт способу, для лівого способу $n = 12$, для правого $n = 15$.

ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

- 1 Вивчити улаштування ацетиленового генератора, принцип його роботи і порядок заправлення карбідом кальцію і водою.
- 2 Вивчити конструкцію редуктора.
- 3 Вивчити конструкцію пальника.
- 4 Ознайомитись із зонами, з яких складається ацетиленово-кисневе полум'я і технікою газокисневого зварювання.
- 5 Навчитись регулювати ацетиленово-кисневе полум'я за формою ядра.

ЗМІСТ ЗВІТУ

- 1 Короткі відомості про зварювання.
- 2 Схема і характеристика, а також принцип роботи ацетиленового генератора типу АМВ-1,25.
- 3 Схема і характеристика зварювального пальника інжекторного типу.
- 4 Схема кисневого редуктора.
- 5 Схема нормального газозварювального полум'я.
- 6 Способи виконання зварювання.

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

- 1 Суть і область використання газового зварювання.
- 2 Отримання ацетилену для зварювання.
- 3 Конструкція і принцип роботи ацетиленових генераторів.
- 4 Призначення і принцип роботи водяних затворів.
- 5 Конструкція і принцип роботи зварювального пальника.
- 6 Конструкція і принцип роботи кисневого редуктора.

Лабораторна робота №12

ВИСОКОПРОДУКТИВНІ ВИДИ ЗВАРЮВАННЯ

МЕТА: Ознайомитись з обладнанням, оснащенням, технологією і методикою визначення експлуатаційних параметрів високопродуктивних видів зварювання.

ОБЛАДНАННЯ, ІНСТРУМЕНТ, МАТЕРІАЛИ.

- 1 Зварювальний пост постійного і змінного струму.
- 2 Пост для зварювання лежачим електродом.
- 3 Пост для зварювання похилим електродом.
- 4 Електроди для зварювання глибоким проплавленням.
- 5 Пристосування для термітного зварювання алюмінієвих проводів.
- 6 Термітні шашки, термітні сірники.
- 7 Електродотримач з вуглецевим електродом.
- 8 Стальні пластини, алюмінієвий дріт.

ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Застосування прогресивних методів зварювання дозволяє підвищити коефіцієнт використання зварного обладнання, покращити якість шва і різко збільшити продуктивність зварювання.

Важливими технологічними прийомами швидкісного ручного електродугового зварювання є: зварювання з глибоким проплавленням, зварювання спареним електродом, пучком електродів, зварювання трифазною дугою, зварювання похилим або лежачим електродом.

Для зварювання глибоким проплавленням (проваром) - (рис.12.1,а) електроди покривають якісним покриттям 1 (обмазкою) з більш високою температурою плавлення, ніж метал електродного стержня 2. Розплавлений метал 3 знаходиться всередині обмазки 4, яка має вигляд конусної втулки, що опирається на поверхню виробу 5, який зварюється. Ця втулка запобігає короткому замиканню, полегшує ведення процесу, дозволяє краще використовувати тепло дуги і забезпечує більш глибокий провар.

Для зварювання здвоєним електродом процес ведуть двома стержнями, які з'єднані між собою (рис.12.1,б). Дуга переходить з одного стержня на другий, поперемінно оплавляючи їх.

До швидкісних методів можна віднести зварювання лежачим електродом (рис.12.1.г). Електрод або пучок електродів вкладають в розщілину між кромками деталей при стиковому з'єднанні 1,2 або в кут при тавровому з'єднанні 3. Дуга збуджується допоміжним електродом і потім продовжує горіти, розплавляючи електрод і основний метал.

Для зварювання похилим електродом (рис.12.1,в) електрод опирається краєм покриття на метал, що зварюється. Другий кінець електрода затиснений в обоймі, яка під час зварювання вільно опускається, проковзуючи по штанзі. Кут нахилу електрода залишається постійним. Дугу збуджують так само, як і при зварюванні лежачим електродом.

Електрошлакове зварювання характерне тим, що основна частина тепла, необхідна для нагрівання і плавлення основного і електродного металів, виникає за рахунок проходження електричного струму через розплавлений флюс-шлак. Таке зварювання найчастіше ведеться з примусовим формуванням шва і звичайно виконується при вертикальному положенні зварювальних деталей. Утворення (наведення) шлакового валка проводиться дуговим процесом, але може бути здійснено також з допомогою електропровідного флюсу (рис. 12.2).

Термітне зварювання здійснюється за допомогою тепла, яке одержують від згорання порошкоподібних термітних сумішей (термітів). Термітна суміш загорається при введенні їй спеціального запалу. Всередині суміші виникають реакції, що виділяють велику кількість тепла і розвивають дуже високу температуру (рис.12.3).

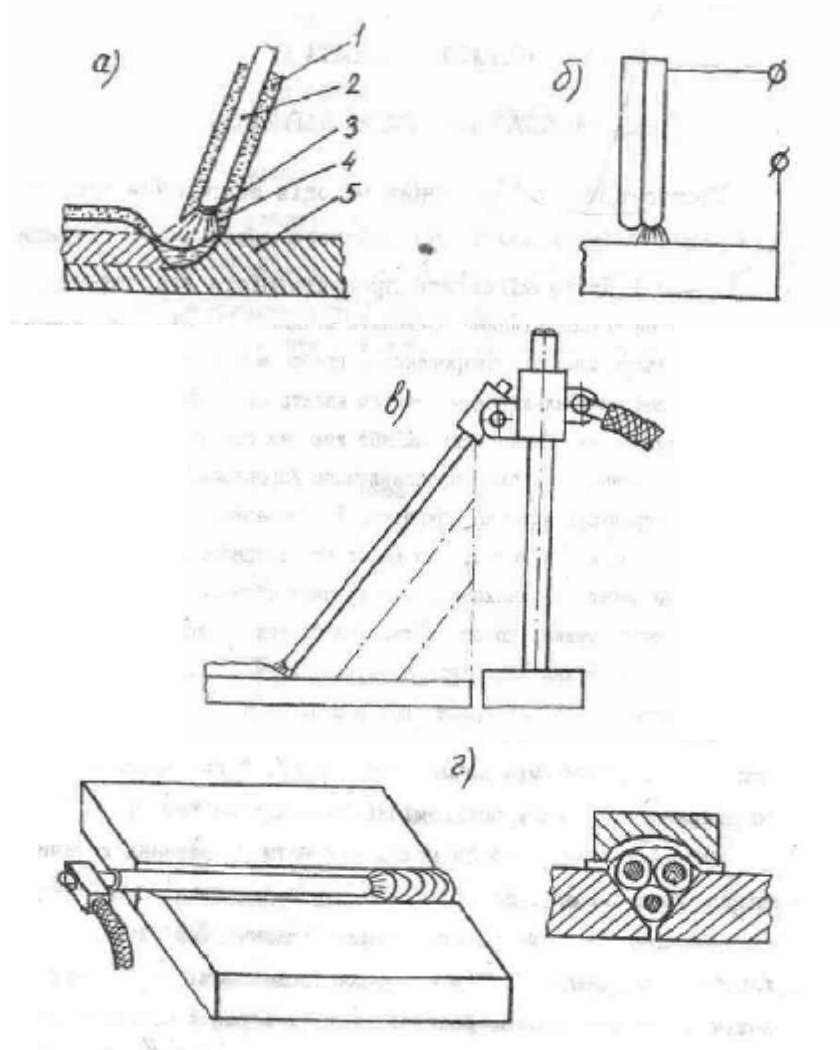


Рисунок 12.1 - Швидкісні методи зварювання

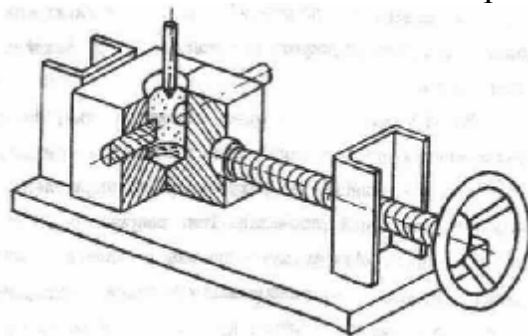


Рисунок 12.2 - Форма для арматурних стержнів

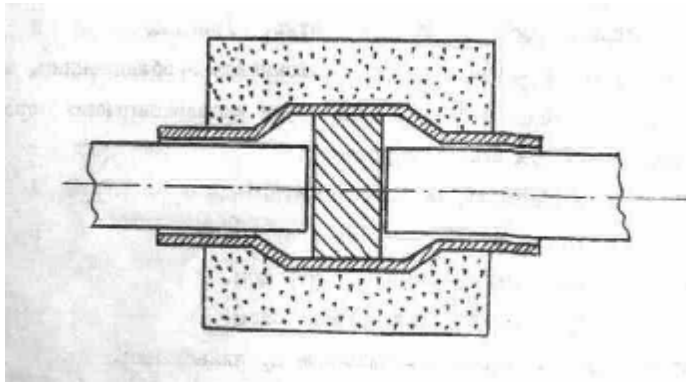


Рисунок 12.3 - Термітна шашка для зварювання алюмінієвих дротів

ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

Дослід 1. Вивчити технологію зварювання з глибоким проплавленням (проваром). Порівняти з проваром при використанні звичайного електрода.

Дослід 2. Вивчити технологічні прийоми для зварювання похилим електродом. Порівняти якість шва із швом виконаним вручну.

Дослід 3. Вивчити технологічні особливості зварювання лежачим електродом. Визначити швидкість зварювання.

Дослід 4. Вивчити особливості електрошлакового зварювання арматурної сталі.

Дослід 5. Вивчити технологію зварювання алюмінієвих дротів термітними шашками.

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

- 1 Які електроди називають високопродуктивними ?
- 2 В чому суть зварювання з глибоким проплавленням ?
- 3 Як виконують зварювання лежачим та похилим електродами ?
- 4 Перевага і область використання електрошлакового зварювання?
- 5 Як підпалюється дуга для зварювання похилим та лежачим електродами?
- 6 Від чого залежить кількість наплавленого металу для зварювання похилим електродом?
- 7 Який склад термітної суміші?

Лабораторна робота №13

КОНТРОЛЬ ЯКОСТІ ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ

МЕТА : Практичне вивчення дефектів зварних з'єднань, методів їх виявлення і уникнення

Дефекти в зварних з'єднаннях – це відхилення від норм, передбачених ГОСТами та технічними умовами на зварні з'єднання. Основними причинами виникнення дефектів є порушення технології зварювання, неправильний вибір зварювальних матеріалів та режиму зварювання, низька

кваліфікація зварювальника. Виділяють зовнішні та внутрішні дефекти зварних з'єднань. Зовнішні – дефекти форми та розмірів зварних швів. Внутрішні – дефекти макро- та мікроструктури.

Дефекти зварних з'єднань показані в таблиці 13.1. і на рис. 13.1.

ОБЛАДНАННЯ, ІНСТРУМЕНТ, МАТЕРІАЛИ

- 1 Зразки зварних з'єднань з дефектами.
- 2 Гас.
- 3 Щітки.
- 4 Розчин крейди.
- 5 Рентгенівські знімки дефектів зварних з'єднань.

ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

- 1 За зразками вивчити зовнішні дефекти.
- 2 Зарисувати зварні з'єднання.
- 3 Записати умовні позначення зварних швів (табл.4.2, табл.4.3)
- 4 Дослідити зварний шов зовнішнім оглядом, описати дефекти і вказати причини їх виникнення.
- 5 Дослідити зварний шов методом гасової проби.
- 6 Дослідити шов за рентгенівськими знімками.
- 7 Дати висновок про придатність та методи уникнення дефектів.

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

- 1 Що називається дефектом зварного з'єднання виробу?
- 2 Які види дефектів бувають при проведенні зварних робіт?
- 3 Які види дефектів відносяться до внутрішніх?
- 4 Назвіть причини виникнення дефектів зварювання.
- 5 Розкажіть про вплив дефектів на міцність зварних з'єднань.
- 6 В чому перевага рентгенівського просвічування перед ультразвуковим контролем зварного з'єднання?
- 7 Для чого потрібне прокалювання електродів?

Таблиця 13.1 – Дефекти зварних з'єднань

Вид дефекту	Причина виникнення
Зміщення кромки, перекіс зварюваних деталей (рис.4.1, а)	Неточність складання, короблення при зварюванні, погана правка деталей перед зварюванням
Дефекти форми шва – послаблення швів (рис.4.1, б), надмірне посилення швів (рис.4.1, в), шов з різною по довжині шириною чи висотою (рис.4.1, г)	Неохайна підготовка кромки, неправильний режим зварювання, погане покриття електродів
Підріз (рис.4.1, д, рис.4.1,е) – вузькі виїмки в основному металі вздовж шва	Використання високих режимів зварювання, невдале положення шва в просторі
Непровар (рис.4.1, ж) неповне сплавлення зварних деталей за перерізом швів, які утворюються в кроні стикових (рис.4.1,ж) і кутових (рис.4.1,з) швів за кромками (рис.4.1,і) і між шарами багатшарових швів (рис.4.1, к)	Малий кут скосу кромки, мала величина зазору між кромками. Неповна кількість тепла, велика швидкість зварювання
Кратери шва – сферичне заглиблення в металі шва (рис.4.1, л)	Обрив дуги при електродуговому зварюванні
Тріщини в наплавленому металі (повдовжні, поперечні) (рис.4.1, м) Тріщини в зоні термовпливу, що розміщуються паралельно шву (рис.4.1, н)	Жорстке закріплення деталей, що зварюються, структурні напруження, зварювання при низьких температурах, зосередження декількох швів на невеликій ділянці
Газові раковини – мілкі пустоти всередині металу шва	Наявність в розплавленому металі газів, використання електродів з сирією обмазкою, забруднення зварюваних кромки
Шлакові включення, пустоти в металі шва, заповнення неметалевими речовинами	Велика питома вага шлаку, недостатнє розкислення металу шва, засмічення металу шва великими частинами електродного покриття

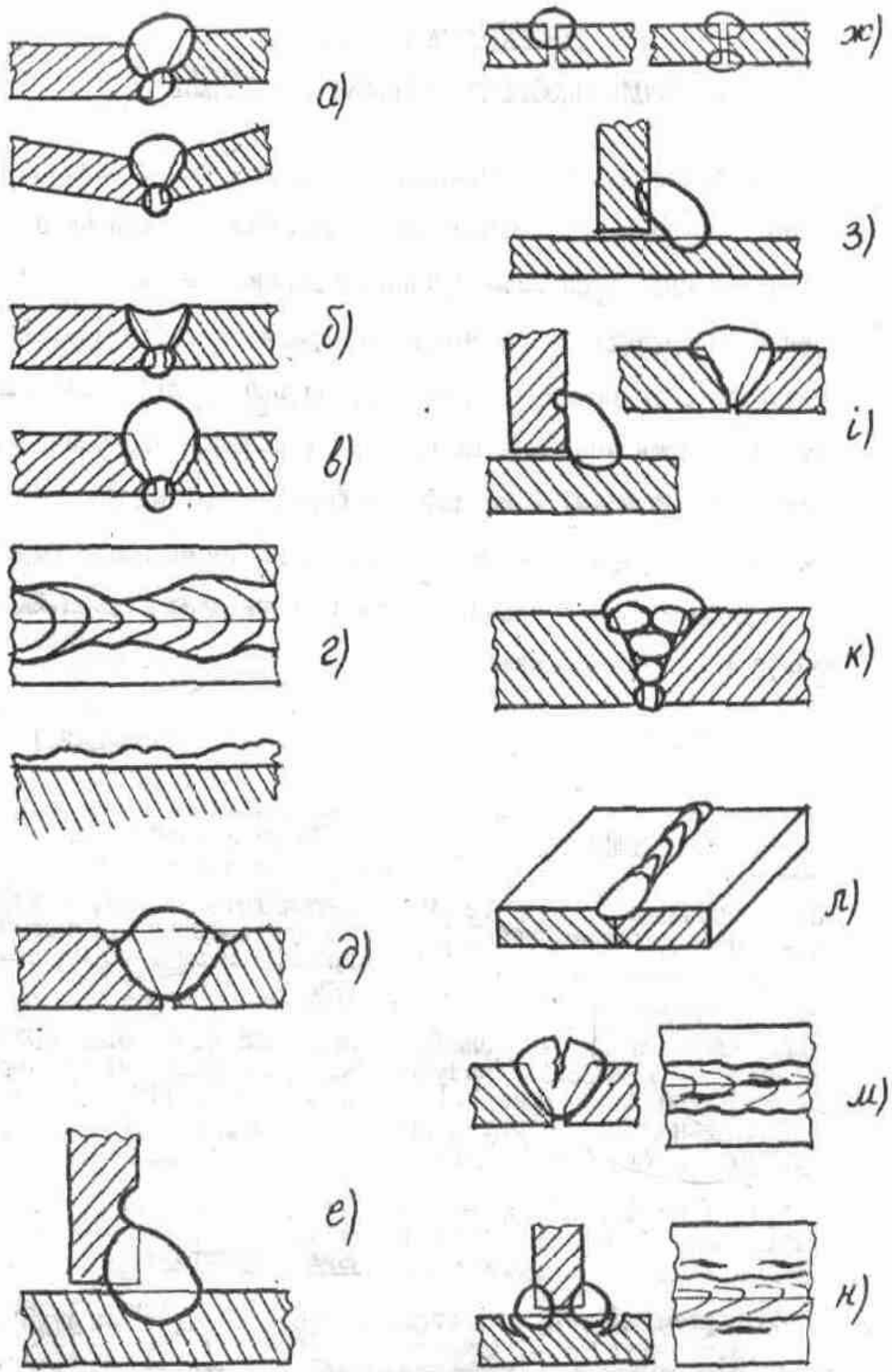


Рисунок 13.1 - Дефекти зварних швів

Таблиця 13.2 – Умовні позначення швів, з'єднань будівельних конструкцій

Назва	Зображення	
	заводський	монтажний
Суцільний зварний шов стикових з'єднань з видимої сторони		
Те ж, з невидимої		
Переривчастий зварний шов стикових з'єднань з видимої сторони		
Те ж, з невидимої		
Шов зварного з'єднання кутового та таврового або внакладку, суцільний з видимої сторони		
Те ж, з невидимої		
Те ж, переривчастий		
Те ж, з видимого боку		

Таблиця 13.3 – Допоміжні знаки для позначення зварних швів

Значення знака	Розміщення знака відносно полиці лінії, проведеної від зображення шва	
	З ліцевої сторони	із зворотної сторони
Випуклість шва зняти		
Напливи та нерівності шва обробити з плавним переходом до основного металу		
Шов виконати з монтажем виробу		
Шов переривчастий чи точений з шаховим розташуванням		
Шов за замкнутою лінією		
Шов за незамкнутою лінією		

Лабораторна робота № 14 ДЕФОРМАЦІЇ ПРИ ЗВАРЮВАННІ

Мета: дослідити деформації при наплавленні валика на кромку смуги, кутові деформації для стикового зварювання, а також вивчити процес виникнення поперечних та поздовжніх усадочних скорочень при зварюванні.

ОБЛАДНАННЯ, ІНСТРУМЕНТ, МАТЕРІАЛИ

- 1 Зварювальний пост з електровимірювальними приладами;
- 2 Струбцина;
- 3 Лінійка та штангенциркуль;
- 4 Транспортир;
- 5 Секундомір.
- 6 Стальні стрічки та пластини.

ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

В зварювальних конструкціях в процесі зварювання під дією нерівномірного нагрівання основного металу і структурних перетворень в зоні термічного впливу виникають пружні та пластичні деформації, які порушують задані розміри конструкцій і в деяких випадках викликають утворення тріщин в металі шва та біля шовної зони. Залишкові деформації можна значно зменшити, якщо правильно розробити технологічний процес зварювання та правильно вибрати способи боротьби з зварювальними деформаціями.

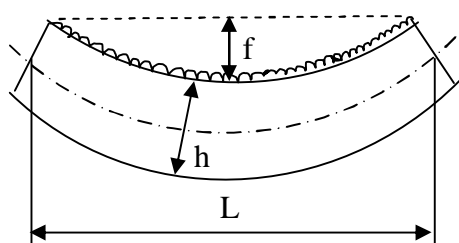


Рисунок 14.1- Характер деформації стрічки при наплавленні валика

Для визначення деформацій поздовжньої осі стрічки що проходить через центр ваги її перерізу використовують формулу: $\Delta = 3,5 \cdot 10^{-6} q_{\text{п}}/F$ (див. рис.14.1), де $q_{\text{п}}/F = 650$; для визначення залишкових скорочень $\delta L = \Delta \cdot L$, де L – загальна довжина елемента стрічки, м, для визначення стріли прогину елемента стрічки: $f=0,01CL^2/8$, де C - кривизна стрічки, 1/м.

Закономірності виникнення деформацій і розрахункові формули отримані для нерівномірного місцевого нагріву краю стрічки, однак вони зберігаються для зварювання встик двох стрічок різної ширини лінійним джерелом тепла. Дані залежності можна використовувати для визначення деформацій в будь яких перерізах.

Якби при зварюванні джерело тепла було лінійним, то скорочення призвели б до деформацій в площині, однак для зварювання стикових з'єднань зони розігріву верхньої і нижньої частин різні, і зі сторони дії джерела тепла (дуги) більші. Це призводить до того, що об'єм пластичних деформацій стиснення в верхній частині буде більшим ніж в нижній. Тому

разом із деформаціями в площині спостерігаються і кутові деформації. Вони будуть тим більшими, чим більше відрізняються зони нагрівання верхньої і нижньої частин. Для зварювання стикових з'єднань з обробленням кромки деформація буде залежати від кута розкриття кромки.

ХІД РОБОТИ

Дослід 1 Визначити деформації при наплавленні валика на стрічку заданих розмірів.

- 1 Виправити і зачистити стрічку шириною 80 мм.
- 2 Закріпити стрічку в струбці за край.
- 3 Провести наплавлення валика впоперек стрічки, контролюючи струм та напругу дуги за приладами, а час горіння дуги секундоміром.
4. Заміряти довжину валика і зняти пробу із струбці.
- 5 Заміряти висоту прогину стрічки f і зменшення лінійного розміру L .
- 6 Визначити значення Δ , δL і кутовий коефіцієнт C .

Дослід 2 Встановити розмір кутових деформацій для зварювання встик з V – подібною підготовкою кромки.

- 1 Зачистити пластини.
- 2 Зібрати пластини встик в струбці із зазором 1,0-1,5 мм, прихватити по краях і виправити зібрану пробу.
- 3 Виконати перший прохід стикового шва, відмічаючи силу струму, напругу і час горіння дуги.
- 4 Дати пробі вистигнути, зняти пробу з струбці, відбити шлак і заміряти кутову деформацію.
- 5 Встановити пробу в струбці і виконати другий прохід, виконуючи вимоги п.п. 3 і 4.
- 6 Визначити кут β , на який зменшиться кут початкового розкриття кромки.
- 7 Результати вимірювань і обчислень занести в таблицю 14.1

Таблиця 14.1 – Результати дослідів

Розміри пластини	Вид зварювання	Марка електрода	Режим			Довжина наплавки, см	δL	f	C	Кутова деформація для зварювання встик		β загальне
			Сила струму, А	Напруга, В	Час горіння дуги, с					Замір		
										1	2	

КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

- 1 Причини, які викликають напруги і деформації при зварюванні.
- 2 Деформація і напруги для рівномірного нагрівання стержнів з різним ступенем закріплення.
- 3 Деформація і поздовжні напруги стрічки при наплавленні валика на край.
- 4 Заходи для зменшення залишкових деформацій зварних конструкцій.
- 5 Які фактори викликають появу кутових деформацій в зварних з'єднаннях?
- 6 Як впливає кут розкриття стикових з'єднань на величину кутових деформацій?

ЛІТЕРАТУРА

1. А.М. Власенко, О.Ю. Співак. Матеріалознавство для студентів теплоенергетичних спеціальностей. - Вінниця: ВДТУ, 2002. - 100с.
2. Справочник металлиста.//Под ред. А.Г. Рахштадта и В.А. Брострема.- М.: Машиностроение, т.2, 1976. - 717с.
3. А.П. Гуляев. Металловедение. - М.: Металлургия, 1986. - 541с.
4. Материаловедение.//Под ред. Б.Н. Арзамасова. - М.: Машиностроение, 1986. - 383с.
5. Технология металлов и других конструкционных материалов.//Под ред. П.И. Полушина. - М.: Высшая школа, 1970. - 704с.
6. И.И. Новиков. Теория термической обработки металлов. - М.: Металлургия, 1986. - 479с.
7. Самохоцкий А.И. и др. Металловедение. - М.: Металлургия, 1990.-416с.
8. Лахтин Ю.М., Леонтьева В.П. Материаловедение. - М.: Машиностроение, 1990. - 528с.
9. Ф.Ф. Химушин. Жаропрочные стали и сплавы. - М.: Металлургия, 1969.-749с.
10. А.М. Власенко, О.Ю. Співак. Робоча професія для студентів теплоенергетичних та будівельних спеціальностей. Частина 1. Технологія металів. - Вінниця: ВНТУ, 2003. - 76с.
11. Структура і фізичні властивості твердого тіла. //Під ред. Л.С. Палатника. - К.: Вища школа, 1992. - 311с.

Навчальне видання

Анатолій Миколайович Власенко

Олександр Юрійович Співак

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання лабораторних робіт

з дисципліни “МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО”

для студентів спеціальності

7. 090510 - Теплоенергетика

Оригінал-макет підготовлено Співаком О.Ю.

Редактор В.О. Дружиніна

Коректор З.В. Поліщук

Навчально-методичний відділ ВНТУ

Свідоцтво Держкомінформу України

серія ДК № 746 від 25.12.2001

21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95, ВНТУ

Підписано до друку

Формат 29,7x42¼

Друк різнографічний

Тираж прим.

Зам. №

Гарнітура Times New Roman

Папір офсетний

Ум. друк. арк.

Віддруковано в комп'ютерному інформаційно-видавничому центрі

Вінницького національного технічного університету

Свідоцтво Держкомінформу України

серія ДК № 746 від 25.12.2001

21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95.