

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Запорізький національний технічний університет

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання лабораторної роботи №1

«Дослідження технологічних особливостей склеювання металів» з дисципліни «Склеювання матеріалів» для студентів освітньої програми «Технології та устаткування зварювання» всіх форм навчання

2018

Методичні вказівки до виконання лабораторної роботи №1
«Дослідження технологічних особливостей склеювання металів» з
дисципліни «Склеювання матеріалів» для студентів освітньої
програми «Технології та устаткування зварювання» всіх форм
навчання / Укл. О.Є. Капустян. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2018 – 14 с.

Укладач: О.Є. Капустян, старш. викладач,
Рецензент: А.О. Шумілов, канд. техн. наук, доцент
Редактор: І.П. Аверченко
Відповідальний за випуск: О.Є. Капустян

Затверджено
на засіданні кафедри ОТЗВ
Протокол № 6
від 31.01.2018

Рекомендовано до видання
НМК ІФФ
Протокол № 6
від 13.02.2018

ЗМІСТ

1 МЕТА РОБОТИ	4
2 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ	4
3 ЗАВДАННЯ НА ПІДГОТОВКУ ДО ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ	10
4 КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ І КОНТРОЛЮ ПІДГОТОВЛЕНOSTІ СТУДЕНТІВ ДО РОБОТИ	10
5 МАТЕРІАЛИ, ІНСТРУМЕНТ, ПРИЛАДИ, ОБЛАДНАННЯ	11
6 ВКАЗІВКИ З ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ	11
7 ПОРЯДОК ПРОВЕДЕННЯ ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ	12
8 ЗМІСТ ЗВІТУ	13
РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА	14

1 МЕТА РОБОТИ

Освоєння прийомів склеювання металів конструкційними клеями. Вивчення впливу якості підготовки поверхні, величини напущки і режиму затвердіння на властивості міцності клейового з'єднання.

2 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

Склеювання – це процес отримання нероз'ємних з'єднань матеріалів за допомогою речовин, що клеять, міцно зчіплюються з поверхнею виробів за рахунок сил адгезії. Адгезійна взаємодія клею з поверхнею виробу обумовлена дифузією лінійних молекул клею в склеюваний матеріал, адсорбційної взаємодії поверхні матеріалу і клею за рахунок міжмолекулярних сил Ван-дер-Ваальса, утворення подвійного електричного шару при контакті полімеру з металом, склом та іншими неметалевими матеріалами. Залежно від фізико-хімічних властивостей матеріалів, що склеюються і клею, переважає той чи інший механізм взаємодії контактуючих речовин. Важливе значення має також «механічна» адгезія за рахунок проникнення клею в мікронерівності поверхні виробу і подальшого його затвердіння.

Склеювання металевих матеріалів знаходить все більш широке застосування в різних областях техніки завдяки цілому ряду переваг клейових з'єднань в порівнянні зі зварними.

Склеювання дозволяє отримувати міцне з'єднання з різномірних металів з різною товщиною елементів. Напруга в клейових з'єднаннях розподіляються більш рівномірно, ніж в зварних, що сприяє зменшенню концентрації напружень і підвищенню вібробійності з'єднань. Процес склеювання відрізняється простотою і, як правило, не вимагає застосування складного обладнання, навіть при виготовленні відповідальних виробів складної конфігурації. Однак властивості міцності і працездатність клейових з'єднань в значній мірі залежать від виду використаного клею, конструкції клейового з'єднання і технологічних особливостей процесу склеювання.

Для склеювання металів використовуються рідкі, плівкові, пастоподібні і порошкові клеї. Рідкий клей найчастіше наносять пензлем або пульверизатором. В останньому випадку необхідна в'язкість клею досягається розведенням клею зазвичай розчинниками, що входять до його складу. Застосування пульверизатора доцільно при склеюванні великих поверхонь; пульверизатори працюють під тиском 0,07 МПа – 0,35 МПа, відстань до склеюваної поверхні повинна бути близько 25 см.

З великим успіхом починають використовуватися системи, до складу яких входить в основному плівковий клей і поєднуваний з ним плівковий або пастоподібний клей, здатний спінюватися (наприклад, для стикування чарунок або кріпленнях їх до силових вставок), а також суміщені з цими клеями ґрунти.

Застосовується метод механічного розпилення клею: клей подається насосом під тиском 0,4 МПа – 0,6 МПа у форсунку через отвір, розташований по дотичній до поверхні каналу форсунки. Струмінг клею рухається під дією відцентрових сил по циліндричній поверхні, одночасно під дією надлишкового тиску потік клею переміщується по вісі форсунки до виходу. З сопла форсунки клей виходить у вигляді спірального струменя, який, дроблячись на дрібні частинки, утворює конусоподібний факел, що розширюється у напрямку до деталі.

Для нанесення клею можна використовувати також клейові вальці, або занурювати деталь в рідкий клей. При роботі з дуже в'язкими системами (наприклад, з клеями, що містять наповнювачі) можна застосовувати шпателі.

Запропоновано наносити клей у вигляді смужок, розташованих перпендикулярно дії навантаження, що дозволяє підвищити міцність з'єднання.

Цікавий метод нанесення рідких клеїв розпиленням в електростатичному полі. Добре розпорошуються клеї, які мають питомий об'ємний електричний опір порядку 106 Ом·см – 107 Ом·см і високу діелектричну проникність. В'язкість таких клеїв повинна знаходитися в межах 15Па·с – 40 Па·с (по ГОСТ 8420). Для розпилення застосовують пневматичні, електромеханічні і електростатичні пристрої. Найбільш широко використовується пневматичний розпилювач КРВ-2. Для нанесення на склеювані деталі фенолокаучукового клею ВК-3 в електростатичному полі призначена

спеціальна установка УНК-1. Відомі й інші пристрої.

Плівкові клеї, як правило (особливо модифіковані епоксидні клеї), застосовуються без нанесення рідкого підслою. Найчастіше вони використовуються в поєднанні з адгезійними ґрунтами. При використанні плівкових клеїв їх попередньо розкроюють по конфігурації деталей. Розкрій виробляють по шаблонах за допомогою гострих ножів або ножиць. До поверхні деталей, що склеюються плівку накочують за допомогою холодного або нагрітого ролика. Можна також закріплювати плівку вакуумним способом, поміщаючи деталь з клейовою плівкою у вакуумний мішок. Для прикрочування плівки можуть бути використані верстати СПК-1 і СПК-2.

Пастоподібні клеї наносять шпателем, роликом і іншими пристосуваннями під тиском або в електричному полі. Якщо клей містить розчинник, то поверхні обов'язково піддають відкритій витримці і сушці для його видалення.

Пастоподібні клеї зазвичай не містять розчинника, але при кімнатній температурі мають деяку плинність. Тому при їх нанесенні слід строго контролювати витрату, так як при нестачі клею можливі непростеї, а при надлишку – сильне його розтікання.

Більшість промислових клеїв для склеювання металів виготовлені на основі полімерів з додаванням пластифікаторів, затверджувачів, модифікаторів і спеціальних добавок. Фізико-механічні властивості клею визначаються насамперед властивостями полімеру, на базі якого він виготовлений.

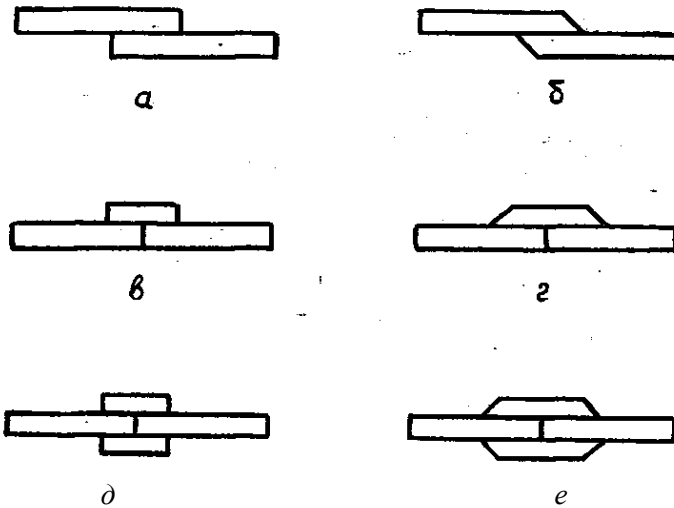
Клеї для склеювання металевих матеріалів найбільш часто виготовляються на базі наступних термореактивних полімерів:

- епоксидних;
- формальдегідних;
- поліуретанів;
- поліефірів;
- елементоорганічних.

Міцність конструкції залежить не тільки від типу клею, але також від виду і конструктивних розмірів клейового з'єднання. Найбільш часто поширюються через підключення до накладок і напусток з прямими і скошеними крайками елементів (рис. 2.1).

Серед термопластичних полімерів для виготовлення клеїв найбільш широко використовуються похідні акрилової і метакрилової кислот, ароматичні полімери, що містять гетероцикли, а також різні

анаеробні композиції. Властивості основних промислових клеїв для склеювання металевих матеріалів наведені в табл. 2.1.



а – внапустку з прямими крайками; *б* – внапустку зі скошеними крайками;
в – з односторонньою накладкою з прямими крайками; *г* – з односторонньою накладкою зі скошеними крайками; *д* – з двосторонньою накладкою з прямими крайками; *е* – з двосторонньою накладкою зі скошеними крайками

Рисунок 2.1 – Конструктивні форми клейових з'єднань

У зазначених типах з'єднань зміна форми і розмірів їх конструктивних елементів значно впливає на міцність клейової конструкції. Обумовлено це тим, що навіть в разі застосування навантажень, що розтягують і діють уздовж площини склеювання, у краю напустки, поряд з напругою зрізу, виникає напруження відриву. Результуюча величина напружень біля краю напустки значно перевищує величину напружень в середній частині клейового з'єднання, що може привести до виникнення процесу руйнування конструкції. Чим більше величина напустки, тим більше концентрація напружень у її країв, і тим при менших середніх значеннях напруг σ_{cp} буде відбуватися руйнування з'єднання.

Якщо елементи конструкції мають скошені кромки (рис. 2.1), що обумовлює плавну зміну товщини елементів, що сполучаються, то концентрація напружень в таких з'єднаннях буде менше, ніж в сполуках з перпендикулярними крайками. Тому з'єднання зі

скошеними крайками мають більш високі міцнісні властивості і кращу працездатність як при статичних, так і при динамічних навантаженнях.

Таблиця 2.1 – Властивості основних конструктивних клеїв

Тип клею	Марка	N	Інтервал робочих температур, ° C	Міцність на зсув, МПа	Температура затвердіння, ° C
Епоксидний	Л-4; Д-4; Д-9	3	- 60...+80	6...9	15...35
	Д-Ю; К-153; ВК-9	2; 5	- 60...+100	15...24	15...25
	К-300-61; К-400	3	-196...+300	15...25	20...80
	ВК-32-ЕМ; Д-2	3	- 60...+80	16...26	120...150
	ТФЭ-9; Т-Ш	3	-60...+300	9...20	150...200
	Епоксид Пипр; Д-22; Д-54	1	-196...+100	20...30	150...200
Формальдегідний	ВК-32-200; ВК-3; ВК-4; ВК-3	2	- 60...+250	9...14	100...200
	БФ-2, ВС-10Т	1	- 60...+60	12...20	150...180
	ВС-350	1	- 60...+ 200	12...20	160...-180
	ВК-8; ВК-18; ВК-18М	1	-60...+ 400	15...17	180...200
Поліуретановий	ПУ-2, ВК-5	2;4	- 60...+ 100	11...20	20...100
	ВК-20; ВК-20М	2	- 60...+ 800	10...20	150
Елемент органічний	ВК-15	1	- 60...+ 1200	11	150
	ВК-22, КТ-30	2	- 60...+ 350	1,2...2,0	20
Акриловий	циакрін А, циакрін – ЭО, циакрін –ЭД	1	- 60...+ 100	16...18	20

Примітка. N - число компонентів.

Технологічний процес склеювання включає наступні операції:

- підготовка клею;
- підготовка поверхні деталей;
- нанесення клею на поверхні, що сполучаються;
- підсушування клею перед складанням і отвердінням;
- затвердіння.

При підготовці багатокомпонентних клеїв перевіряється термін придатності компонентів. Приготування багатокомпонентних клеїв проводиться відповідно до вимог технічних умов або інструкцій на їх виготовлення. Якість однокомпонентних клеїв оцінюється за терміном придатності, зовнішнім виглядом і результатами вимірювання їх в'язкості.

Підготовка поверхні виробу здійснюється шляхом механічної обробки її абразивним папером, гострокутовим дробом або хімічної обробки поверхні спеціальними реактивами. Хімічна обробка створює на поверхні деталі пасивуючу плівку, яка сприяє підвищенню адгезійних властивостей клею і одночасно захищає виріб від корозійних впливів навколишнього середовища і компонентів клею.

Нанесення клею на підготовлену поверхню здійснюється зануренням, кистю, валиком, пульверизатором або іншими розпилювальними пристроями. Пастоподібні клеї наносяться шпателем, тверді і порошкоподібні – за допомогою найпростіших дозуючих пристроїв.

Клеї повинні наноситися таким рівним шаром в один або кілька проходів відповідно до вимог технічних умов.

Після нанесення фенолоформальдегідних, поліуретанових і ін. клеїв, що містять розчинники, необхідна відкрита витримка перед складанням з'єднання для підсушування клею з метою видалення розчинника. Для різних типів клеїв величина витримки коливається від 0,2 год до 6 год. Перед складанням деталей після підсушування, як правило, виробляється теплова активація нанесеної речовини, що клеїть. Якщо клеї не містять розчинників (епоксидні, на основі похідних акрилової кислоти), то складання деталей проводиться відразу після нанесення клею. Для різних клеїв величина тиску при складанні становить 0,01 МПа – 0,5 МПа.

Отвердіння клеїв може здійснюватися при кімнатній або підвищених температурах. Рекомендовані режими затвердіння і якісна підготовка поверхні деталей, раціональна конструкція клейового з'єднання забезпечують його високу працездатність при значеннях міцності наведені в табл. 2.1. При зменшенні температури витримки знижуються міцнісні властивості клейових з'єднань і збільшується час затвердіння. При значному підвищенні температури затвердіння може статися деструкція клею і погіршення його міцності і експлуатаційних характеристик.

3 ЗАВДАННЯ НА ПІДГОТОВКУ ДО ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ

У процесі підготовки до лабораторної роботи необхідно засвоїти сучасні уявлення про механізм склеювання, знати основні типи конструкційних клеїв і їх робочі характеристики, ознайомитися з основними типами клейових з'єднань і технікою склеювання металів, безпечними прийомами виконання робіт. До заняття має бути підготовлена загальна частина звіту, в якій наводиться назва роботи, її мета, методика проведення і таблиці для запису результатів вимірювань (табл. 3.1 і 3.2).

Таблиця 3.1 – Вплив розмірів напустки на міцність клейових з'єднань

№ зразка	Розмір напустки, мм		Навантаження, P , Н	Номінальне напруження зсуву, σ_{zs} , МПа
	ширина, b	довжина, l		

Таблиця 3.2 – Вплив температури затвердіння на міцність з'єднання на базі фенолоформальдегідного клею

№ зразка	Розмір напустки, мм		Температура затвердіння, °С	P , Н	σ_{zs} , МПа
	b	l			

4 КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ І КОНТРОЛЮ ПІДГОТОВЛЕНOSTІ СТУДЕНТІВ ДО РОБОТИ

1. Які сучасні уявлення про механізм утворення клейового з'єднання?
2. Які типи конструкційних клеїв найбільш широко використовуються для склеювання металевих матеріалів?
3. Які типи клейових з'єднань використовуються в металевих конструкціях?
4. Як впливає зміна розміру напустки на міцність клейового

з'єднання?

5. Які існують способи підготовки поверхонь, що склеюються?
6. У яких випадках робиться відкрита витримка поверхні з нанесеним клейовим шаром перед складанням?
7. Які типи клеїв тверднуть при підвищених температурах?
8. Як впливає температура і тривалість затвердіння на міцність клейового з'єднання?

5 МАТЕРІАЛИ, ІНСТРУМЕНТ, ПРИЛАДИ, ОБЛАДНАННЯ

1. Зразки з маловуглецевої сталі, розміром 80 мм × 20 мм, товщиною $\delta = (0,8 \dots 2)$ мм.
2. Конструкційні клеї БФ-2, ВС-10Т, «Циакрін А» або ін.
3. Наждачний папір, напилік.
4. Ацетон.
5. Пристосування для збирання зразків.
6. Муфельна піч.
7. Розривна машина.

6 ВКАЗІВКИ З ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ

1. Роботи по знежиренню зразків і склеюванню з використанням клеїв, що містять органічні розчинники повинні проводитися на відстані не ближче 5 м від джерел відкритого вогню при включеній витяжній вентиляції.
2. Наносити розчинник і клей необхідно пензликом або тампоном із ганчірки з дерев'яною ручкою.
3. Розміщувати зразки в піч і виймати можна тільки при вимкненому рубильнику печі. При виконанні цих операцій необхідно користуватися плоскогубцями і брезентовими рукавицями.
4. Гарячі зразки можна класти тільки на металеву або азбоцементную підставку.

7 ПОРЯДОК ПРОВЕДЕННЯ ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ

1. Зачистити поверхню 12 пластин наждачним папіром, зняти задирки напилком, знежирити поверхню зразків ацетоном.

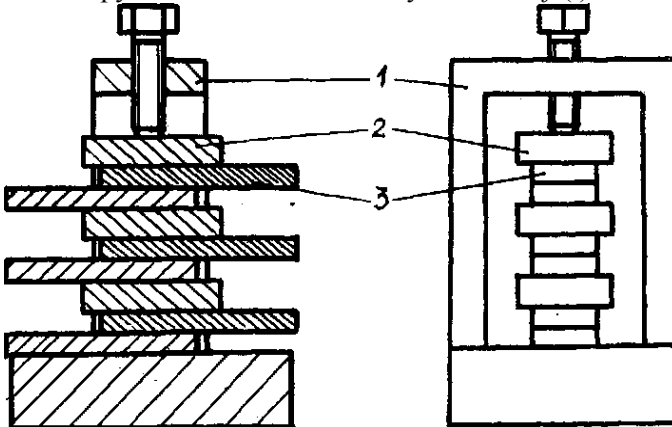
2. Провести дослідження впливу розміру напустки на властивості міцності клейових з'єднань.

2.1. Нанести на ділянки поверхонь, що склеюються шести пластин шар клею «Ціакрін А» і негайно зібрати їх, забезпечивши в першому зразку величину напустки 10 мм, у другому – 20 мм, в третьому – 30 мм.

2.2. Притиснути склеювані поверхні зразків із зусиллям 0,01 МПа – 0,03 МПа в пристосуванні (рис. 7.1) і витримати під навантаженням протягом 0,5 год.

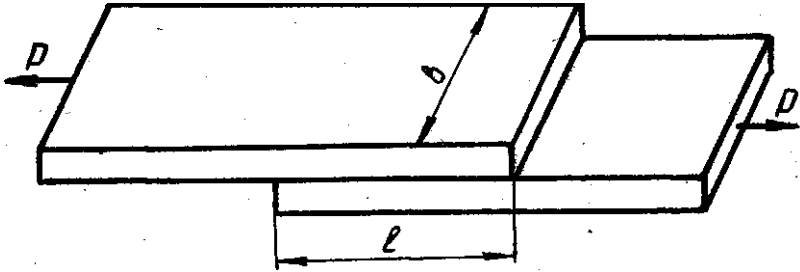
2.3. Випробувати зразки (рис. 7.2) на розривній машині і визначити величину руйнівного навантаження. Дані занести в табл. 3.1.

2.4. Визначити розрахункову величину напружень зсуву клейового з'єднання $\sigma_{zc} = P / (b \cdot l)$ і побудувати графічну залежність величини напружень від довжини напустки $\sigma_{zc} = f(l)$.



1 – пристосування з гвинтовим притиском; 2 – підкладка; 3 – склеюваний зразок

Рисунок 7.1 – Схема пакетного збирання зразків, що склеюються в пристосуванні



P – руйнівне навантаження; b – ширина зразка; l – довжина зразка

Рисунок 7.2 – Схема прикладання навантаження при випробуванні клейового напусточного з'єднання

3. Дослідити вплив температури затвердіння на міцність клейового з'єднання.

3.1. Нанести на ділянки $l = 20$ мм поверхні шести пластин шар фенолоформальдегідного клею (БФ-2, ВС-10Т або ін.). Витримати зразки протягом 15 хв на повітрі для випаровування розчинника.

3.2. Зібрати попарно пластини, забезпечивши величину напустки $l = 20$ мм. Стиснути кожен зразок із зусиллям $0,04$ МПа – $0,06$ МПа в окремих пристроях.

3.3. Один зразок залишити для затвердіння при кімнатній температурі, два інших помістити до печі з температурою $t = (80 \dots 100)^\circ \text{C}$ і $t = (180 \dots 200)^\circ \text{C}$. Витримати зразки в печі протягом 30 хв.

3.4. Витягти зразки з печі, охолодивши на повітрі. Випробувати зразки на розривній машині. Дані занести в табл. 3.2.

8 ЗМІСТ ЗВІТУ

1. Назва, мета.
2. Схема підключення установки УГПЛ і її технічні дані.
3. Методика проведення.
4. Результати дослідів, оформлені у виді таблиць.
5. Рисунок із графічною залежністю величини напружень від розміру напустки.
6. Аналіз результатів.

7. Висновки.

9 РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Кардашов Д. А. Конструкционные клеи. – М.: Химия, 1980. – с 58...125, с 132...147, с 170...176, с 196...215.
2. Справочник по клеям / Под. ред. Г. В. Мовсисяна. – Л: Химия, 1980, с 7...64.