

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**Національний університет «Запорізька політехніка»**

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

до виконання лабораторної роботи № 4  
«Дослідити технологічний процес стикового зварювання. Вивчити  
елементи конструкції машин зварювання»

з дисципліни «Технологія та устаткування зварювання тиском»  
для студентів спеціальності G9 «Прикладна механіка»  
освітніх програм «Технології та устаткування зварювання» та  
«Відновлення та підвищення зносостійкості деталей і конструкцій»  
усіх форм навчання

Методичні вказівки до виконання лабораторної роботи № 4 «Дослідити технологічний процес стикового зварювання. Вивчити елементи конструкції машин зварювання» з дисципліни «Технологія та устаткування зварювання тиском» для студентів спеціальності G9 «Прикладна механіка» освітніх програм «Технології та устаткування зварювання» та «Відновлення та підвищення зносостійкості деталей і конструкцій» усіх форм навчання / Укладачі: В.В. Нетребко, Р.А. Куликовський. – Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2024р. – 14 с.

Укладачі: В.В. Нетребко, професор, докт. техн. наук  
Р.А. Куликовський, доцент, канд. техн. наук

Рецензент: М.Ю. Осіпов, доцент, канд. техн. наук

Відповідальний  
за випуск: В.В. Нетребко, професор, докт. техн. наук

ЗАТВЕРДЖЕНО:  
на засіданні кафедри ІТЗ та МК  
Протокол №5 від 29.11.2024р.

Рекомендовано  
до видання НМК ІФФ  
Протокол №4  
від 17.12.2024р.

**ЗМІСТ**

|                                                      |    |
|------------------------------------------------------|----|
| 1 МЕТА РОБОТИ .....                                  | 4  |
| 2 ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ .....                           | 4  |
| 3 КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ.....                          | 11 |
| 4 МАТЕРІАЛИ, ІНСТРУМЕНТИ, ПРИЛАДИ І ОБЛАДНАННЯ ..... | 11 |
| 5 ВКАЗІВКИЗ ОХОРОНИ ПРАЦІТА ТЕХНІКИБЕЗПЕКИ.....      | 12 |
| 6 ПОРЯДОК ПРОВЕДЕННЯ РОБОТИ .....                    | 12 |
| 7 ЗМІСТ ЗВІТУ .....                                  | 13 |
| РЕКОМЕНДОВАНАЛІТЕРАТУРА.....                         | 13 |
| Рекомендовані інформаційні джерела .....             | 13 |

## 1 МЕТА РОБОТИ

Мета роботи – дослідження та аналіз технології зварювання опором. Ознайомитись та вивчити елементи конструкції машин для зварювання опором.

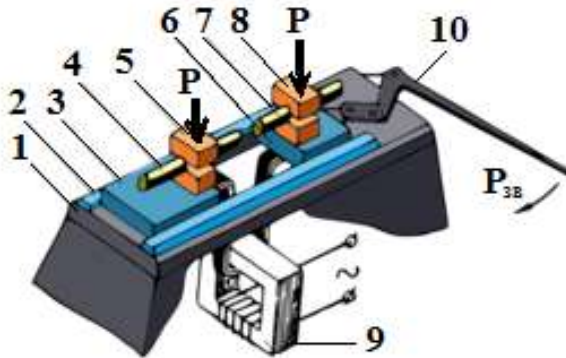
## 2 ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

**Стикове зварювання або стикове контактне зварювання** – це процес під час якого з'єднування відбувається по стичних поверхнях з'єднуваних заготовок. Існує два способи стикового зварювання: опором і оплавленням. Ці процеси широко застосовують в машинобудуванні, інструментальному виробництві і т. д. За допомогою стикового зварювання з'єднують дроти, пруті, стрічкові пилки, профільний прокат, труби по всій площі їхніх торців і т. п.

При **зварюванні опором** торцеві поверхні деталей обробляють, деталі підводять одна до другої встик і вмикають струм. Після нагрівання металу до пластичного стану в місці контакту збільшують осьове зусилля. У стику відбувається пластична деформація, з'єднання утворюється без розплавлення металу. Цим способом не завжди вдається забезпечити рівномірне нагрівання деталей великого перетину по всій площі і досить часто неможливо видалити зі стику деталей окисні плівки. Тому стикове зварювання опором застосовують тільки для з'єднання деталей малого перетину (до 200...300 мм<sup>2</sup>): дротів, труб, прутів з низьковуглецевих сталей.

При стиковому зварюванні опором зварювані заготовки 1 попередньо встановлюють з початковою довжиною  $l_y$  губки-електроди 2 зварювальної машини, що підводять струм та притискають їх зусиллям  $P$  (рис. 2.1). Один із затискачів є рухливим та з'єднаний з приводом зусилля осьового стискання машини 10. Далі заготовки стискають осьовим зусиллям  $P_{ЗВ}$  та вмикають у електричну мережу зварювальний трансформатор 9. Поки стиснуті торці заготовок не розігріті, вони стикаються лише по окремим невеликим ділянцям, що утворились внаслідок деформації виступаючих частин мікрорельєфу їх поверхонь. Контактний опір між холодними деталями на початку зварювання є значним та оказує вирішальний вплив на рівномірність нагріву заготовок по довжині. Під час проходження по

заготовкам зварювального струму  $I_{зв}$  відбувається поступовий їх нагрів до температури  $T_1$  по всій довжині та додаткове виділення тепла  $T_2$  в зварюваному стику заготовок (рис. 2.2).



1 – станина машини; 2 – напрямні; 3 – нерухома плита; 4 – заготовка 1;  
5 – затискач/електрод; 6 – рухома плита; 7 – заготовка 2; 8 – затискач/електрод;  
9 – зварювальний трансформатор; 10 – привод осьового стискання;  $P_{зв}$  – зусилля стискання

Рисунок 2.1 – Принципова схема машини для стикового зварювання

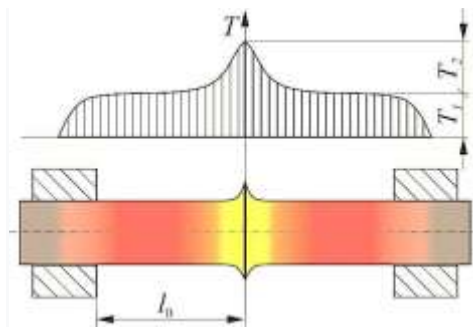


Рисунок 2.2 – Розподіл температури при зварюванні опором

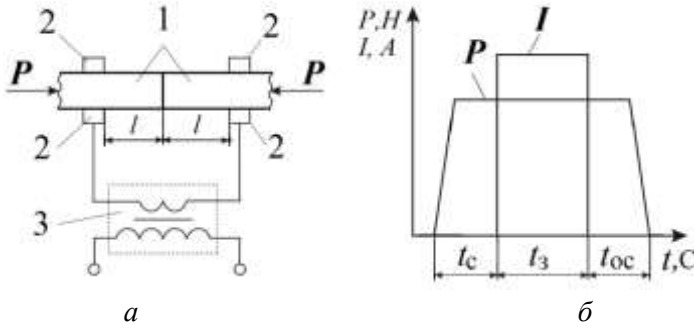
Додатковий нагрів, викликаний контактним опором, відбувається у вузькій приконтактній зоні за малий проміжок часу та спричиняє швидке підвищення в ній температури. Незважаючи на те, що в загальному тепловому балансі кількість теплоти, що виділяється на контактному опорі, не перевищує 10...15 %, а з підвищенням

температури цей опір взагалі зменшується до нуля, у вузькій приконтактній зоні, як і раніше, температура підвищується швидше, ніж в інших зонах. Метал зони зварювання нагрівається до температури  $T_{зв}$ , яка є нижчою ніж температура плавлення зварюваних металів  $T_{пл}$ , та становиться пластичним. Після нагріву зварювальний струм вимикають та різко збільшують зусилля осадки зварюваних заготовок, які деформуються в стику. Металевий зв'язок між заготовками починає формуватися в ході пластичної деформації, під час якої руйнуються та витискуються із зони зварюваного контакту оксидні плівки, утворюються ювенільні поверхні, атоми металу зближуються на відстань взаємодії міжатомних сил. Нагрів сприяє підвищенню рухливості атомів. В процесі охолодження продовжуються дифузійні процеси, утворення загальних зерен, зміна структури та властивостей металу, релаксація внутрішніх напружень.

Отже, сутність процесу зварювання опором полягає в наступному: зварювані заготовки 1 (рис. 2.3, а) установочної довжини  $l$ , попередньо зачищені і ретельно припасовані поверхнями зварювання, надійно затискаються в електродах (губках) 2 зварювальної машини і стискаються з зусиллям осаджування  $P$  для створення тиску між зварюваними поверхнями 20...30 МПа. Після цього через деталі від трансформатора пропускається зварювальний струм згідно циклограми (рис. 2.3, б). Температура повинна бути близькою до температури плавлення металу (для сталей не нижче 1250...1300 °C). Для кольорових металів температура в контакті повинна дорівнювати температурі в точці плавлення. Але для забезпечення високої якості зварювання не достатньо лише досягнення цієї температури в контакті. Необхідно отримати й сприятливе розповсюдження температури вздовж заготовок по обидві боки контакту, що дозволить виконати необхідне стискання розігрітих заготовок. Таким чином, зварне з'єднання при зварюванні опором утворюється в твердій фазі та відбувається протягом трьох стадій: активації контактних поверхонь, утворення фізичного контакту та об'ємної взаємодії зварюваних металів.

*Режими стикового зварювання опором* включають в себе: зварювальний струм  $I_{зв}$  (густина струму  $j_{зв}$ ),  $A$ ; час нагріву (зварювання)  $t_{зв}$ ,  $c$ ; початкове (зварювальне) зусилля стискання  $P_c$ ,  $H$ ; тривалість стискання  $t_c$ ,  $c$ ; зусилля осадки  $P_{ос}$ ,  $H$ ; тривалість

осаджування  $t_{oc}$ , с; встановлювана початкова довжина  $l$  ( $l_0$ ), мм; припуск на осадку  $\Delta_{oc}$ .



$I$  – зварювальний струм, А;  $P$  – зусилля осаджування, Н;  $t_c$  – тривалість стиснення, с;  
 $t_z$  – тривалість зварювання, с;  $t_{oc}$  – тривалість осаджування, с;  
 $l$  – установочна довжина, мм

Рисунок 2.3 – Схема зварювання опором (а) та його циклограма (б)

**Стикове зварювання оплавленням** використовується для з'єднання заготовок будь-якої конфігурації і будь-якого перетину. Воно може здійснюватися з використанням для розігрівання заготовок безперервного оплавлення або безперервного оплавлення з попереднім підігріванням.

Сутність стикового зварювання безперервним оплавленням полягає в наступному: зварювані заготовки 1 (рис. 2.4, а) надійно затискаються в електродах (губках) 2 зварювальної машини і при ввімкнутому трансформаторі 3 приводяться в легке дотикання в місці зварювання. Через утворені контакти протікає великий зварювальний струм густиною  $6...25 \text{ А/мм}^2$ . Під дією струму метал у точках дотику миттєво розплавляється і викидається із зазору у вигляді іскер 4. При подальшому зближенні заготовок у контакт вступають інші точки й оплавляються. Спостерігається безперервний потік іскер – йде процес безперервного оплавлення. Його ведуть до того часу, поки кінці заготовок прогріються на необхідній довжині від стику і зварювані поверхні покриваються шаром розплавленого металу 5. Після цього до заготовок прикладається зусилля осаджування  $P$  для забезпечення тиску між зварюваними поверхнями  $30...40 \text{ МПа}$ , а зварювальний струм вимикається з деяким запізненням  $t_1$ , тобто після виконання

осаджування зі струмом. Під дією зусилля осаджування рідкий метал з оксидами вилучається із зазору у вигляді ґрату, в контакт вступає чистий метал, розігрітий до пластичного стану, йде пластична деформація металу в зоні зварювання. Після досягнення заданої режимом деформації знімається зусилля  $P$ . Розігрівання і пластична деформація сприяють утворенню зварного з'єднання.

Зварювальним струмом заготовки розігріваються до пластичного стану і під дією зусилля осаджування ( $P$ ) пластично деформуються. Після досягненої, визначеної режимом пластичної деформації, струм вимикається, але розігріті заготовки продовжують пластично деформуватися до забезпечення загального припуску на осаджування (див. рис. 2.3, б). Розігрівання і пластична деформація сприяють утворенню зварного з'єднання. Загальний припуск на осаджування заготовок –  $\Delta_3$  (загальне зменшення довжини заготовок внаслідок пластичної деформації) складається з припуску на осаджування заготовок під час протікання через них зварювального струму –  $\Delta_1$  та припуску на осаджування заготовок після вимикання зварювального струму  $\Delta_2$ , мм.

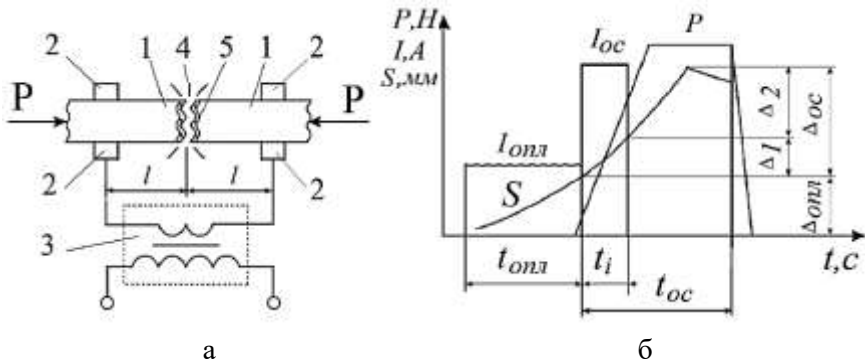


Рисунок 2.4 – Схема стикового зварювання безперервним оплавленням (а) і його циклограма (б)

**Режими стикового зварювання оплавленням** включають в себе:  $I_{\Pi}$  – струм підігрівання, А;  $t_i$  – тривалість імпульсу підігрівання, с;  $t_{\Pi}$  – тривалість паузи між імпульсами підігрівання, с;  $t_{\Pi \text{ підгр}}$  – тривалість підігрівання, с;  $n$  – кількість імпульсів підігрівання;  $T_{\Pi}$  – температура підігрівання, °С;  $I_{\text{опл}}$  – струм оплавлення, А;  $I_{\text{ос}}$  – струм

осаджування, А;  $t_{\text{опл}}$  – тривалість оплавлення, с;  $t_{\text{ос}}$  – тривалість осаджування, с;  $t_1$  – тривалість запізнення вимикання струму після початку осаджування, с;  $s$  – переміщення рухомого затискача заготовок, мм;  $l$  – установочна довжина (вихідна довжина кожної заготовки), мм;  $v$  – швидкість оплавлення, мм/с;  $\Delta_{\text{опл}}$  – припуск на оплавлення (загальне зменшення довжини заготовок внаслідок оплавлення), мм;  $\Delta_{\text{ос}}$  – загальний припуск на осаджування заготовок (загальне зменшення довжини заготовок внаслідок пластичної деформації), мм;  $\Delta_1$  – припуск на осаджування заготовок під час протікання через них зварювального струму протягом  $t_1$ , мм;  $\Delta_2$  – припуск на осаджування заготовок після вимикання зварювального струму, мм. **Підготовка заготовок для зварювання** складається з їх раціонального конструювання та обробки, що дозволяє створити умови для рівномірного нагріву та по можливості однакової пластичної деформації при осадці. Найбільш легко зварюють деталі однакового перерізу. Різниця в діаметрах не повинна перевищувати 15 %, а за товщиною 10 %. Форма деталей повинна забезпечити надійне закріплення їх у затискачах зварювальної машини та струмовідвід поблизу місця зварювання. Кільцевий виступ при зварюванні опором (рис. 2.5, а) локалізує нагрів та ізолює поверхню стику від повітря. У труб (рис. 2.5, в) та прутків конус (рис. 2.5, д), сфера (рис. 2.5, б) або конус з притупленням (рис. 2.5, е) локалізують нагрів та полегшують видалення окислів. Рівномірний підігрів деталей з перпендикулярними торцями (рис. 2.5, г) без їх ретельної підгонки та складання ускладнений.

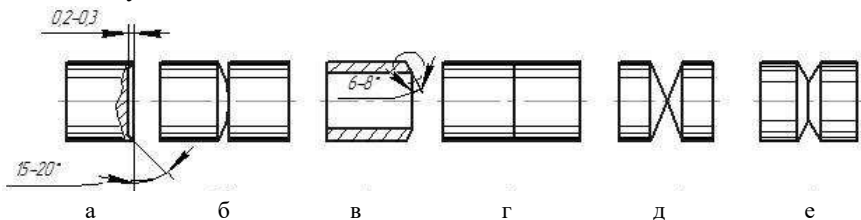


Рисунок 2.5 – Форма торців зварюваних заготовок при зварюванні опором

В іншому випадку стикування заготовок може відбутися на краю торців або окремих точках, що призведе до виплавлення металу у дотичних точках за відсутності повного контакту по всьому перерізу (рис. 2.6). Тому зазор між торцями деталей не повинен бути більше

0,5мм.

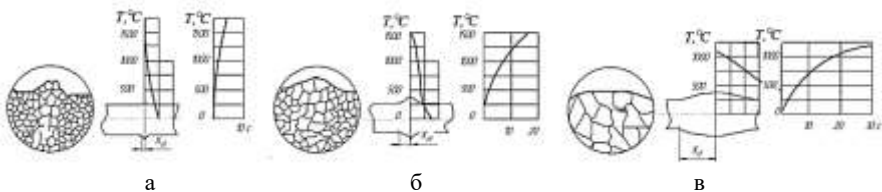


Рисунок 2.6 – Характер нагріву нерівно обрізаних заготовок при зварюванні опором

Кінці труб та інших складних деталей, що зварюються опором, іноді калібрують. Надійний електричний контакт губок-електродів машини з заготовками досягається шляхом їх зачистки. Погано виконана зачистка деталей та губок призводить до збільшення опору в контакті між ними, втрат потужності машини та, як наслідок, зменшенню зварювального струму, що знижує якість з'єднань.

Нагрівання, зварювальний струм і час його дії, впливає на характер розподілу температури і структуру матеріалу. У випадку, якщо зварювальний струм буде занадто великим, то за короткий час температура в контакті може досягнути точки плавлення або навіть перевищити її (рис. 2.7, а – права частина).

Концентрація температури вздовж зварюваних заготовок в цьому випадку виявиться настільки різкою відносно контакту (середня частина рис. 2.7, а), що розігрітими до пластичного стану будуть лише поверхневі шари металу на торцях заготовок. Якщо зварювальний струм обрано недостатнім, розігрів контакту буде відбуватись дуже повільно (рис. 2.7, в – права частина) й температурна крива вздовж заготовок буде пологою (рис. 2.7, в – середня частина).



а – надмірно висока сила зварювального струму; б – нормальна сила зварювального струму; в – занадто низька сила зварювального струму;  
 $x_{0д}$  – відстань від площини контакту до зони, де деформації практично відсутні (зона нульової деформації)

Рисунок 2.7 – Вплив різних режимів нагріву заготовок при стиковому зварюванні опором на зовнішню форму та структуру зварних з'єднань

### 3 КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

- 3.1. Поясніть сутність стикового зварювання опором.
- 3.2. Яку роль відіграє контактний опір між деталями при стиковому зварюванні опором?
- 3.3. Які вимоги пред'являються до торців заготовок при стиковому зварюванні опором?
- 3.4. Назвіть основні параметри режиму стикового зварювання опором.
- 3.5. У якому стані утворюється зварне з'єднання при стиковому зварюванні опором?
- 3.6. Яка форма торців трубчастих та стержневих заготовок при стиковому зварюванні опором є найбільш прийнятною?
- 3.7. Як впливає зміна зварювального тиску при стиковому зварюванні опором на якість з'єднання?
- 3.8. Як впливає зміна часу нагріву при стиковому зварюванні опором на якість з'єднання?
- 3.9. Як впливає зміна зварювального струму при стиковому зварюванні опором на якість з'єднання?
- 3.10. На що впливає встановлювальна довжина заготовок при стиковому зварюванні опором?
- 3.11. Які дефекти зварного з'єднання можуть утворюватись при стиковому зварюванні опором?
- 3.12. Як контролюється нагрів заготовок при стиковому зварюванні опором?

### 4 МАТЕРІАЛИ, ІНСТРУМЕНТИ, ПРИЛАДИ І ОБЛАДНАННЯ

1. Машина для стикового зварювання опором.

2. Заготовки для зварювання (стержні або пластини з низьковуглецевої сталі).
3. Заточувальний верстат або напилек.

## **5 ВКАЗІВКИ ОХОРОНИ ПРАЦІ ТА ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ**

До лабораторних (практичних) робіт допускаються студенти після інструктажу із охорони праці, при роботі з електроустановками до 1000 В та пожежної безпеки.

Забороняється вмикати електричні прилади та обладнання без дозволу завідуючого лабораторією або викладача.

Для захисту від бризок та виплесків металу при зварюванні студент повинен працювати в спеціальних прозорих окулярах або за прозорими щитами та мати відповідний спецодяг. Перебуваючи біля рухомих частин машин при подачі повітря та електричного живлення необхідно дотримуватися заходів безпеки (можливе спрацьовування пневматичного приводу машини при несправних регуляторі або елементах пневматичного пристрою).

Вимірювання необхідно виконувати тільки після відключення машин від мережі автоматичним вимикачем. Рукоятку автомата необхідно перевести в положення «вимкнено».

У випадку виявлення неполадок обладнання студент повинен негайно повідомити викладача або завідуючого лабораторією.

У випадку виникнення пожежі або враження електричним струмом студенти повинні діяти у відповідності із затвердженими інструкціями з охорони праці та пожежної безпеки.

## **6 ПОРЯДОК ПРОВЕДЕННЯ РОБОТИ**

Перед тим, як приступати до виконання лабораторної роботи студент зобов'язаний вивчити методичні вказівки, або за допомогою рекомендованої літератури самостійно ознайомитися з матеріалами конкретних робіт; вивчити інструкцію по техніці безпеки; відповісти на контрольні запитання викладача та отримати у нього дозвіл на виконання роботи.

2. Студенти ознайомлюються з технологічним процесом та обладнанням для зварювання опором та оплавленням. Проводять

дослідження та визначають різницю в зонах зварювання опором та оплавленням, на зразках запропонованих викладачем.

3. Зробити ескізи досліджуваних зразків (об'єктів).

4. Оформлюють звіт на загальних засадах. Роблять опис та призначення елементів обладнання.

5. Опрацювати контрольні запитання.

## **7 ЗМІСТ ЗВІТУ**

Звіт по роботі повинен містити наступні відомості:

- мета роботи;
- опис методики проведення експериментів чи досліджень;
- результати експериментів чи досліджень відобразити у вигляді таблиць, графіків чи ескізів або опису вивченого об'єкту;
- аналіз отриманих результатів (опис) та висновки по роботі повинні містити інформацію про проведені дослідження.

## **РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА**

1. Кривцун, І. В. Спеціальні способи зварювання : підручник. [Текст] / І. В. Кривцун, В. В. Квасницький, С. Ю. Максимов, Г. В. Єрмолаєв, за загальною редакцією академіка НАН України, доктора технічних наук, професора Б. Є. Патона. – Миколаїв: НУК, 2017. – 346 с.

2. Бугаєнко, Б. В. Технології та устаткування зварювання тиском: навчальний посібник. [Текст] / Б. В. Бугаєнко, А. М. Тубальцев, Є. А. Бутурля. – Миколаїв: НУК, 2018. – 135 с.

## **Рекомендовані інформаційні джерела**

1. Журнал «Автоматичне зварювання». Вид. Міжнародна Асоціація "Зварювання". [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://patonpublishinghouse.com/rus/journals/as> – 18.04.2024. Заголовок з екрану.

2. Журнал «Сварщик». Вид. ІЕЗ ім. Е.О. Патона. Київ. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://welder.stc-paton.com/ru/> – 18.04.2024. Заголовок з екрану.

3. Національна бібліотека України ім. В.І. Вернадського. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://www.nbuv.gov.ua/> – 18.04.2024. Заголовок з екрану.

4. Наукова бібліотека НУ "Запорізька політехніка". [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://library.zntu.edu.ua/> – 18.04.2024. Заголовок з екрану.

5. Кафедра Інтегровані технології зварювання та моделювання конструкцій. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://zp.edu.ua/kafedra-integrovanih-tehnologiy-zvaryuvannya-ta-modelyuvannya-konstrukciy> – 18.04.2024. Заголовок з екрану.