

DOI 10.36074/logos-15.11.2024.027

ВИЗНАЧЕННЯ СПОСОБУ ЗВАРЮВАННЯ ДЛЯ ОТРИМАННЯ ПРЕЦИЗІЙНИХ З'ЄДНАНЬ ДРОТІВ МАЛОГО ПЕРЕРІЗУ ЗІ СПЛАВІВ МЕДИЧНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ СИСТЕМИ Ti-Ni

Квасницький Віктор Вячеславович¹, Зворикін Леонід Олегович²,
Зворикін Костянтин Олегович³

1. доктор техн. наук, професор, завідувач кафедри зварювального виробництва
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського», УКРАЇНА

ORCID ID: 0000-0002-7756-5179

2. доктор техн. наук, професор кафедри зварювального виробництва
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського», УКРАЇНА

ORCID ID: 0000-0001-6951-6564

3. канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри зварювального виробництва
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського», УКРАЇНА

ORCID ID: 0000-0002-7437-6583

В сучасному світі біологічно сумісні матеріали різного складу широко використовуються в ортопедії, стоматології, а також для лікування захворювань, пов'язаних з серцево-судинною системою, зокрема для виготовлення протезів кровоносних судин, штучних серцевих клапанів, систем кровообігу тощо. Предметом досліджень стала технологія виготовлення біосумісних імплантів, зокрема металевого каркасу медичної кліпси, яка призначена для ізоляції вухка лівого передсердя (ВЛП) від кровоток під час застосування малоінвазивних хірургічних методів.

Технічна проблема у використанні малоінвазивних хірургічних методів ізоляції ВЛП від кровоток пов'язана з відсутністю вітчизняних металевих каркасів медичної кліпси для вказаних кардіологічних операцій.

Актуальність визначеної проблеми посилюється тим, що згідно статистичним даним, близько 700 громадян України із кожних 100 тис.



SEZIONE 13.

MECCANICA GENERALE E INGEGNERIA MECCANICA

населення страждає на фібриляцію передсердь. Таким чином, попит українських медичних установ потенційно складає понад 200 тис. імплантів. Застосування імплантів для ізоляції ВЛП від кровоток дозволяє уникнути необхідності постійного вживання антикоагулянтів крові, яке є небезпечним для особового складу військовослужбовців у разі отримання поранень під час бойових дій.

Для вирішення задачі виготовлення металевих каркасів медичної кліпси необхідно використовувати матеріал затиску, який є максимально біосумісним для довготривалого контакту з людським м'язом серця та загалом судиною системою [1-4]. Медичні імпланти виготовляють з різних матеріалів, зокрема з нержавіючої сталі, сплавів титану, кобальту, молібдену. З точки зору забезпечення пружних властивостей та високої біологічної сумісності для виготовлення згаданих виробів рекомендовані сплави титану, зокрема сплав титану з нікелем - нітинол, який характеризується комплексом високих механічних характеристик, має прийнятний температурний інтервал реалізації ефекту пам'яті форми [5].

Сплави на основі титану зварюються різними способами. Однак під час зварювання нітинолу (45 % мас. Ti – 55 % мас. Ni), вірогідний розпад інтерметалідів типу TiNi з формуванням Ti_2Ni та $TiNi_3$, утворення значних залишкових термо-механічних напружень зварних з'єднань. Згадані зміни структурно-фазового складу можуть призвести до суттєвої зміни температурного інтервалу мартенситного перетворення та ступеня розвитку ефекту пам'яті форми [6]. Наявних в літературі відомостей про перебіг вказаних процесів під час дії термічного циклу зварювання недостатньо, іноді вони носять суперечливий характер, що пов'язано з особливостями характеру розподілу температур при отриманні виробів різної форми та товщини, умовами введення тепла при застосуванні різних джерел нагріву. Це стримує створення технології отримання нерознімних прецизійних з'єднань з дротів малого перерізу для виготовлення складних виробів зі сплавів системи Ti-Ni.

Проведені дослідження свідчать, що у разі з'єднання зварюванням плавленням способами TIG та мікро-PAW (зварюванням вольфрамовим електродом в середовищі інертного газу та мікроплазмовим зварюванням відповідно) дротів з нітинолу між собою та з технічним титаном спостерігається підвищення вмісту в зварному шві розчинних газів, зокрема кисню, водню та азоту, що може бути пов'язане з недосконалістю газового захисту. Виникає нестабільність під час формування зварних швів.

Значно кращі результати отримані за застосування електронно-променевого способу зварювання. Ведення процесу в вакуумі $10^{-2}...10^{-3}$ Па, де парціальний тиск кисню, водню та азоту на декілька порядків менший за їх

парціальний тиск в аргоні найвищої чистоти унеможлиблює потрапляння цих газів в розплав.

Застосування спеціальних способів зварювання в твердому стані, зокрема дифузійного зварювання в вакуумі за глибини вакууму не гірше за 10^{-2} Па, дозволяє отримати зварні з'єднання з високими характеристиками якості та мінімальними змінами структурно-фазового складу. Однак наявні обмеження, зокрема щодо типів зварних з'єднань, тривалості технологічного процесу зварювання не дозволяють рекомендувати цей спосіб для отримання виробів з дротів малого перерізу.

Дослідження ширини зони термічного впливу зразків, отриманих різними способами зварювання, свідчить на користь застосування висококонцентрованих джерел тепла, зокрема електронного та лазерного променів. Однак, лазерне зварювання виконувалось в середовищі високочистого аргону, а електронно-промене в вакуумі, що вплинуло на вміст газів в металі зварних швів.

Добрі результати також були отримані за застосування точкового конденсаторного зварювання як без газового захисту, так і в умовах захисту високочистим аргоном. Формування щільного контакту між з'єднуваними поверхнями та короткочасність процесу забезпечили мінімальний вміст газів в зоні зварного шва, але наявні як і за ДЗВ обмеження по типах зварних з'єднань та особливості виділення тепла в процесі з'єднання дротів різного діаметру дещо обмежують можливості цього способу зварювання для отримання з'єднань тонких дротів.

Висновки.

1. За результатами порівняльного аналізу можливості застосування різних способів зварювання для виготовлення металевих каркасів медичної кліпси з дротів малого перерізу зі сплавів медичного призначення системи Ti-Ni встановлено, що найбільш простими та технологічними способами зварювання є дугові, зокрема зварювання вольфрамовим електродом в середовищі інертного газу та мікроплазмове зварювання. Однак, висока хімічна активність титану призводить до насичення металу зварного шва киснем, воднем та азотом, що погіршує комплекс характеристик пластичності зварних з'єднань та може призводити до втрати надпружності та ефекту пам'яті форми в області зварного шва та в зоні термічного впливу.

2. Застосування дифузійного зварювання в вакуумі та точкового конденсаторного зварювання дозволяє сформувати зварні з'єднання з високими характеристиками якості та мінімальними змінами структурно-фазового складу. Однак наявні для цих способів зварювання обмеження, зокрема щодо типів зварних з'єднань, не дозволяють їх рекомендувати для отримання з'єднань тонких дротів особливо різних діаметрів.



SEZIONE 13.

MECCANICA GENERALE E INGEGNERIA MECCANICA

3. Дослідження особливостей формування структури зварних з'єднань, отриманих різними способами зварювання, свідчать про доцільність використання висококонцентрованих джерел тепла для зварювання плавленням дротів малого перерізу зі сплавів системи Ti-Ni. Однак, в якості захисного середовища необхідно застосовувати вакуум не гірше за 10^{-2} Па з контрольованим натіканням, що забезпечує метал шва від насичення газами, сприяє його рафінуванню та призводить до поліпшення комплексу фізико-механічних властивостей навіть у порівнянні з вихідним основним металом.

Дослідження проведені за фінансування Національного фонду досліджень України з виконання наукового дослідження і розробки на 2024 рік 2023.04/0074 «Прецизійне з'єднання для виготовлення елементів медичних біосумісних імплантів»

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ:

- [1] Kamohara et al (2005) A novel device for left atrial appendage exclusion. *The Journal of Thoracic and Cardiovascular Surgery*. 130, 6, 1639-1644. Вилучено з: <https://doi.org/10.1016/j.jtcvs.2005.08.019>.
- [2] Kamohara et al (2006) Evaluation of a novel device for left atrial appendage exclusion: The second-generation atrial exclusion device. *The Journal of Thoracic and Cardiovascular Surgery*. 132, 2, 340-346. Вилучено з: <https://doi.org/10.1016/j.jtcvs.2006.04.021>.
- [3] Hideyuki Fumoto et al (2008) A novel device for left atrial appendage exclusion: The third-generation atrial exclusion device. *The Journal of Thoracic and Cardiovascular Surgery*. 136, 4, 1019-1027. Вилучено з: <https://doi.org/10.1016/j.jtcvs.2008.06.002>.
- [4] Kiankhooy et al (2022) Hybrid ablation of persistent and long-standing persistent atrial fibrillation with depressed ejection fraction: A single-center observational study. *The Journal of Thoracic and Cardiovascular Surgery*. 12, 137-146. Вилучено з: <https://doi.org/10.1016/j.xjon.2022.08.014>.
- [5] Welding of Metallic Materials: Methods, Metallurgy, and Performance. (2023). Publisher: Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-90552-7.00008-0>.
- [6] Usherenko, S.M., Louchenok, A.R., Zvorykin, L.O. Peculiarities of the formation of TiNi-based compounds in conditions of the shock compression. *EURODYMAT 2000 - 6th International Conference on Mechanical and Physical Behaviour of Materials under Dynamic Loading*. J. Phys. IV France, 10, 2000. P. 143-146. <https://doi.org/10.1051/jp4:2000924>.