

ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВАЯ СВАРКА ЗАГОТОВОК ЭНДОПРОТЕЗОВ ТИПА ОСТИНА МУРА ИЗ СПЛАВА СИСТЕМЫ Co-Cr-Mo

Бакиновский А.А., Губко А.Д., Олешук И.Г.,

Поболь И.Л., Предко А.А.

Физико-технически институт НАН Беларуси, Минск

Введение. Однополюсной эндопротез головки бедра типа Остина Мура предназначен для восстановления двигательной функции сустава. Его достоинства - простота и малоинвазивность операции. Невысокая стоимость такого импланта дает возможность выполнять эндопротезирование малообеспеченным пациентам. Эндопротез представляет собой цельнометаллическую конструкцию из ножки и большой шарообразной головки. В ножке имеются отверстия, предназначенные для лучшей фиксации импланта костным цементом, изделиями для остеосинтеза, либо благодаря естественному процессу остеоинтеграции [1].

Эндопротез состоит из двух деталей, получаемых литьем: ножка с полусферой головки и ответная полусфера головки. Самым эффективным методом получения соединения этих деталей является электронно-лучевая сварка (ЭЛС). Ширина стенок полусфер составляет 5,0 мм. При ЭЛС необходимо обеспечить глубину проплавления не менее 3,5 мм и минимальную усадку вершины шва, так как после сварки с поверхности головки механически удаляется слой в 1,0 мм и полируется до зеркального блеска с целью снижения скорости износа импланта при эксплуатации.

Цель исследования - оптимизация технологического режима ЭЛС образцов из сплава Co-Cr-Mo, обеспечивающего получение бездефектного сварного соединения глубиной 3,5-5,0 мм с усадкой шва не более 1,0 мм.

Оборудование, материалы и методы исследования.

Состав сплава Co-Cr-Mo, из которого изготавливали экспериментальные образцы и реальные эндопротезы, соответствует стандарту ISO 5832/4 [2].

Эксперименты по ЭЛС образцов цилиндрической формы диаметром 35 мм проводили на установке ЭЛА-15 при остаточном давлении $5 \cdot 10^{-3}$ Па по режимам, представленным в табл. 1. Ускоряющее напряжение во всех экспериментах постоянное - 60 кВ.

Таблица 1 - Режимы сварки образцов

№ образца	Ток сварки I, мА	Ток фокусировки I _ф , мА	Скорость сварки v, мм/с
1	50	645	15
2	40	645	10
3	40	635	10
4	45	635	10

Для проведения металлографических исследований сварных соединений вырезали образцы с двумя плоскопараллельными плоскостями с помощью прецизионного отрезного станка с водяным охлаждением Micracut 151. Шлифовку и полировку осуществляли на пробоприготовительном оборудовании Metcon. Металлографическое травление образцов проводили электролитическим методом в 10%-ном водном растворе азотной кислоты (20 с сварной шов и 5 мин основной металл). Фотографии микроструктур получены на оптическом микроскопе Planar МИ-1 с CCD камерой. Микродюрометрические свойства образцов определяли на микротвердомере ПМТ-3 (нагрузка на индентор 100 г). Дефектоскопию полученных сварных соединений проводили на рентгеновском оборудовании фирмы GE Sensing & Inspection Technologies модели X-cube Compact.

Результаты. Макроснимки сварных соединений, полученных при различных режимах ЭЛС, показаны на рисунке 1.

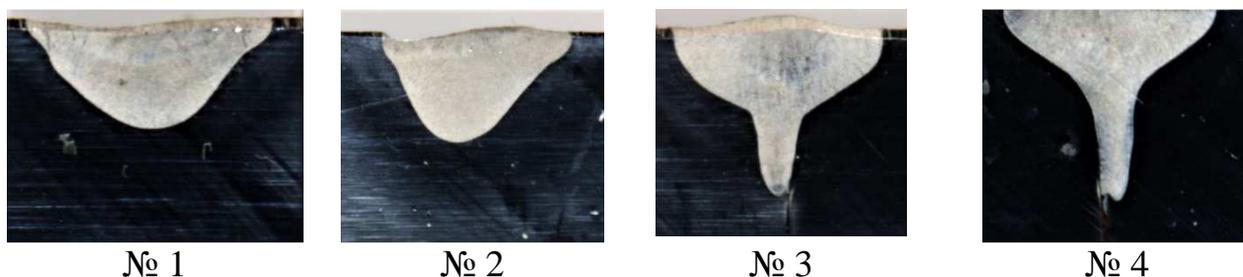


Рисунок 1 – Макроснимки швов, полученных при разных режимах сварки, $\times 4$

На образцах № 1 и № 2 шов имеет близкую к сферической форму, в то время как на образцах № 3 и № 4 наблюдаются кинжальные швы, характерные для ЭЛС с эффектом глубокого проплавления. Анализ макроснимков и результатов рентгеновской дефектоскопии показал отсутствие пор, трещин или других дефектов сварных соединений.

На рисунке 2 представлены геометрические параметры сварных соединений, полученных на образцах.

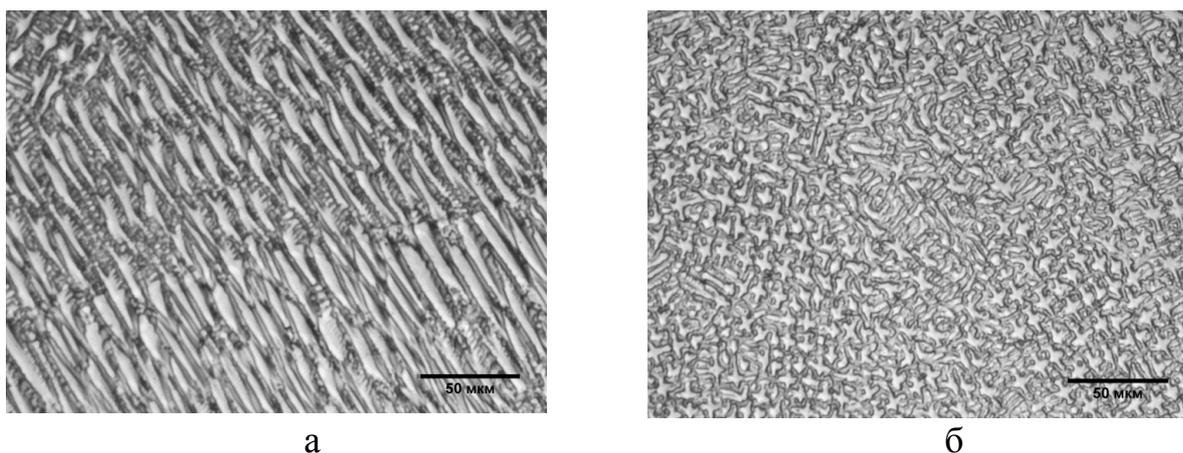


Рисунок 2 – Геометрические параметры сварных швов образцов

Сварные швы на всех образцах имеют незначительную усадку, глубина сварного соединения в образце № 1 недостаточная. Глубина шва на образце № 2 равна требуемой, однако при ЭЛС с неполным проплавлением возможны небольшие изменения глубины проплавления вдоль шва, поэтому режим № 2

также является нежелательным. Глубина проплавления образца № 4 превышает толщину стенки полусферы, что может привести к образованию нежелательных дефектов при сварке изделия. Режим сварки образца № 3 является предпочтительным ввиду максимального соответствия требованиям к геометрическим параметрам сварного соединения.

Микроструктурный анализ также не выявил микротрещин или зарождающихся трещин. Структура материала в верхней части шва, а также в периферийной зоне представляет собой дендриты, вытянутые в направлении отвода тепла при кристаллизации (рисунок 3, а). В центре шва наблюдается более равноосная и мелкодисперсная структура (рисунок 3, б).



а – верхняя часть сварного шва; б – центральная часть шва
Рисунок 3 – Микроструктура сварного шва в образце № 3 из сплава
Co-Cr-Mo после ЭЛС

МикродюрOMETрический анализ показал, что твёрдость металла в сварном шве (4,4-4,8 ГПа) незначительно превышает твёрдость основного металла (4,4-4,5 ГПа), но в верхней части шва может достигать до 4,8-5,4 ГПа из-за более высокой скорости охлаждения металла благодаря дополнительной потере тепла излучением. Незначительное снижение микротвёрдости в основном металле до 3,7-4,0 ГПа, обнаруженное на расстоянии 50-100 мкм от линии сплавления, вероятно, обусловлено наличием зоны термического влияния.

Выводы. Опробованные режимы ЭЛС сплава системы Co-Cr-Mo позволяют получить сварные соединения, не содержащие трещин, пор или других дефектов, с минимальным градиентом микротвёрдости в зоне шва и зоне термического влияния. Сварной шов, наиболее удовлетворяющий требованиям к геометрическим характеристикам при сварке полусфер эндопротеза типа Остина Мура, образуется при ЭЛС по режиму $I = 40$ мА, $I_{\phi} = 635$ мА, $v = 10$ мм/с. Микротвёрдость материала сварных швов составила 4,4-5,4 ГПа, что незначительно превышает микротвёрдость основного металла (4,4-4,5 ГПа).

Работа выполнена в рамках отдельного проекта ФТИ НАН Беларуси «Исследование и разработка методов послойного аддитивного изготовления деталей и получения соединений материалов с использованием электронно-лучевого воздействия» (2017-2019 гг.).

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Однополюсной эндопротез Остин-Мура [Электронный ресурс] - Режим доступа: http://www.altimed.by/products/hips/stems/austin_moore/ – Дата доступа: 03.05.2019.
2. ISO 5832-4:2014 Implants for surgery – Metallic materials – Part 4: Cobalt-chromium-molybdenum casting alloy, 2014.

УДК 621.7

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ПОВЕРХНОСТНОГО ПЛАЗМЕННОГО УПРОЧНЕНИЯ КРУПНОГАБАРИТНЫХ ЧУГУННЫХ МАТРИЦ

Батрак В.В., Веремейчик А.И., Сазонов М.И., Хвисевич В.М., Дорофеев П.Е.

Брестский государственный технический университет
Брест, Республика Беларусь

Поверхностная плазменная термообработка деталей (ПУ) наиболее полно обеспечивает оптимальное сочетание величины вязкости сердцевины детали с высокой поверхностной твердостью. Такое упрочнение реализуется путем локальной закалки с помощью быстро перемещающегося высокоинтенсивного высококонцентрированного источника тепла, а именно – плазменной дуги, генерируемой плазмотроном постоянного тока мощностью до 1,0 кВт с высоким тепловым КПД.

Плазменное упрочнение деталей характеризуется рядом преимуществ:

- соответствующей расчетной глубиной закалки детали лишь в зоне износа;
- при ПУ твердость поверхностного слоя заметно выше, чем при объемной закалке;
- отсутствие термических деформаций изготавливаемой детали благодаря локальности и кратковременности взаимодействия плазмы с поверхностью металла;
- закалка производится в одну стадию без необходимости последующей механической обработки.

Создана установка, которая состоит из плазмотрона постоянного тока, силового источника питания дуги, устройства ВЧ-поджига дуги, систем газоснабжения плазмотрона аргоном и азотом, а также его водоохлаждения. Для разработки процесса поверхностного плазменного упрочнения были изготовлены образцы из высокопрочного чугуна марки ВЧ 100 (рис. 1).

Химический состав образца представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Химический состав чугуна ВЧ 100, %

Fe	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	V	Cu	Mg	Ti	Al
93.56	3.296	3.410	0.438	0.081	0.001	0.176	0.100	0.009	0.014	0.162	0.026	0.001	0.024