

## 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 <sub>ф</sub> , 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.

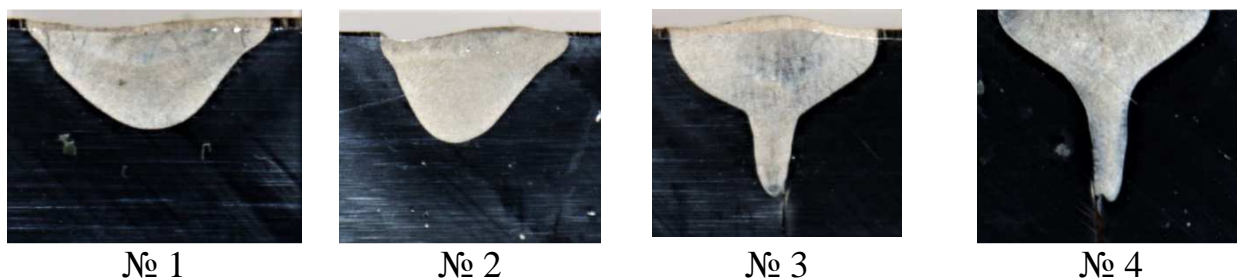


Рисунок 1 – Макроснимки швов, полученных при разных режимах сварки,  $\times 4$

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.

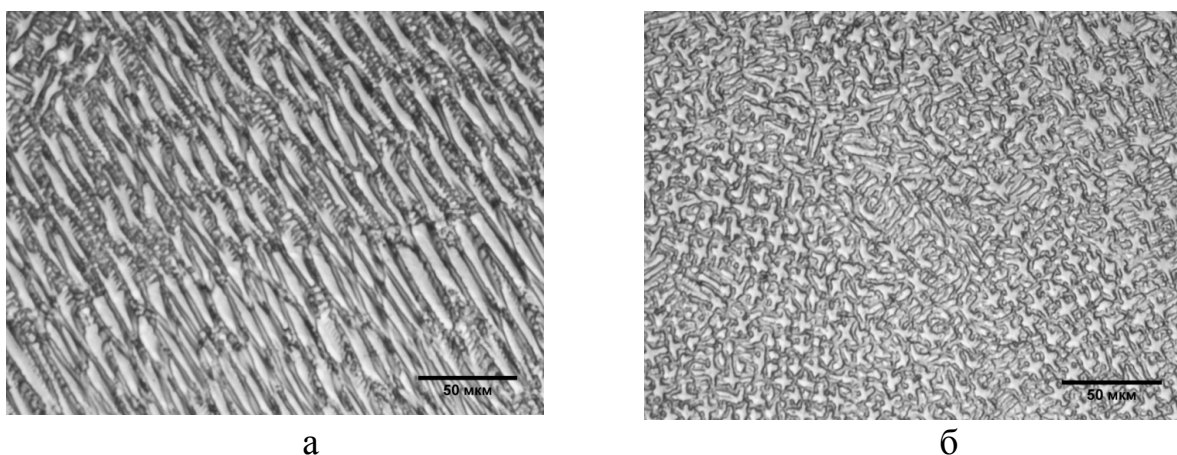


Рисунок 2 – Геометрические параметры сварных швов образцов

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/](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