

УДК 669.1.017:620.18; 669.2.017:620.18; 615.465

МАТЕРИАЛЫ МЕДИЦИНСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ ДЛЯ ХИРУРГИЧЕСКИХ ИМПЛАНТАТОВ НА ОСНОВЕ ЖЕЛЕЗА И КОБАЛЬТА

П. Е. ЛУЩИК, Д. И. МАЦИНОВА

Научный руководитель И. В. РАФАЛЬСКИЙ, канд. техн. наук, доц.

Научно-технологический парк БНТУ «Политехник»

Минск, Беларусь

Материалы медицинского назначения на основе сплавов железа и кобальта находят все более широкое применение в производстве хирургических имплантатов благодаря сочетанию высокой прочности, коррозионной стойкости и биосовместимости.

Традиционное литье остается одним из базовых методов получения заготовок для металлических имплантатов. В процессе кристаллизации формируется макроструктура материала, которая во многом определяет его эксплуатационные свойства. Характерной особенностью сплавов на основе железа и кобальта является дендритная ликвация, приводящая к неоднородному распределению компонентов по объему отливки. Для снижения ликвации применяют модифицирование расплава и оптимизацию скорости охлаждения. Пористость, возникающая из-за газовыделения и усадки при затвердевании, минимизируется путем дегазации расплава, использования флюсов и подбора оптимальных параметров заливки [1].

Порошковая металлургия предоставляет дополнительные возможности для создания материалов на основе сплавов железа и кобальта с заданными характеристиками. Порошки получают методами распыления расплава (газовым или водяным) либо механическим легированием, позволяющим формировать композиционные частицы с градиентным составом [2]. Спекание прессованных заготовок проводят в защитной атмосфере при температурах 1100 °С...1300 °С, что обеспечивает диффузионное связывание частиц без полного плавления. Дополнительное уплотнение достигается горячим изостатическим прессованием (ГИП), которое устраняет остаточную пористость и повышает плотность материала до 98 %...99 % от теоретической. Контроль пористости и плотности осуществляют методами гидростатического взвешивания, ртутной порометрии и рентгеновской томографии, что позволяет регулировать эти параметры в зависимости от назначения имплантата: например, для улучшения остео-интеграции создают пористые структуры с пораи 100...500 мкм [3].

Аддитивные технологии открывают новые перспективы для изготовления сложных гибридных имплантатов из сплавов на основе железа и кобальта с контролируемой микроструктурой. Селективное лазерное сплавление (SLM) использует порошковый материал, который локально расплавляется лазерным лучом по заданной траектории. Параметры процесса – мощность лазера, скорость сканирования, толщина слоя – напрямую влияют на формирование

мелкозернистой структуры и остаточные напряжения. Электронно-лучевая плавка (EBM) в вакууме снижает окисление и позволяет получать более однородную структуру по сравнению с SLM. Оба метода обеспечивают высокую точность геометрии и возможность создания решётчатых структур, снижающих массу имплантата без потери прочности [4].

Гибридные методы объединяют традиционные и современные подходы для улучшения свойств хирургических имплантатов. Например, литье заготовок из сплавов на основе железа и кобальта сочетают с поверхностным модифицированием – нанесением биоактивных покрытий гидроксиапатита методом плазменного напыления либо электрофоретического осаждения. Это повышает остеокондуктивность поверхности, не ухудшая механических свойств основы. Альтернативой служат износостойкие и коррозионно-стойкие покрытия из нитрида титана (TiN), наносимые методами физического осаждения из газовой фазы (PVD) или химического осаждения (CVD). Такие покрытия формируют на поверхности имплантата тонкий (1...10 мкм) слой с высокой твердостью, что критично для подвижных соединений в ортопедии [5].

Таким образом, выбор метода изготовления гибридных материалов на основе железа и кобальта зависит от требуемых характеристик имплантата. Традиционное литье обеспечивает возможность получения крупноразмерных конструкций, порошковая металлургия – пористых биоактивных структур, аддитивные технологии – сложных индивидуальных форм, а гибридные методы позволяют сочетать преимущества разных подходов для достижения оптимального баланса свойств изделий.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Куликов, С. А.** Влияние кобальта на свойства литейных сплавов / С. А. Куликов, Ф. И. Рудницкий // *Литье и металлургия*. – 2024. – № 4. – С. 17–24.
2. **Baghbaderani, H. A.** Investigation of nanostructure formation mechanism and magnetic properties in Fe₄₅Co₄₅Ni₁₀ system synthesized by mechanical alloying / H. A. Baghbaderani, S. Sharafi, M. Delshad Chermahini // *Powder Technology*. – 2012. – Vol. 230. – P. 241–246.
3. **Lario, J.** Evolution of the microstructure and mechanical properties of a Ti35Nb2Sn alloy post-processed by hot isostatic pressing for biomedical applications / J. Lario, Á. Vicente, V. Amigó // *Metals*. – 2021. – Vol. 11, № 7. – URL: <https://clck.ru/pJhpn> (дата обращения: 02.09.2026).
4. **Николаев, А. И.** Пористые материалы для имплантатов : методы контроля структуры / А. И. Николаев, Л. М. Цепов. – СПб. : ЭЛБИ, 2023. – 312 с.
5. Experimental investigation of tribo-mechanical and chemical properties of TiN PVD coating on titanium substrate for biomedical implants manufacturing / G. M. Uddin, M. Jawad, M. Ghufra [et al.] // *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. – 2019. – Vol. 102. – P. 1391–1404.