

ИЗГОТОВЛЕНИЕ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ ЭНДОПРОТЕЗОВ ИЗ Co-Cr-Mo СПЛАВОВ

Д. И. МАЦИНОВА

Белорусский национальный технический университет

П. Е. ЛУЩИК, канд. техн. наук

РИУП «НТП БНТУ «Политехник»

Л. П. ДОЛГИЙ, канд. техн. наук, **И. В. РАФАЛЬСКИЙ**, канд. техн. наук

Белорусский национальный технический университет

В статье рассмотрены особенности использования металлических материалов для производства изделий медицинского назначения. Обсуждаются возможности применения кобальт-хром-молибденовых сплавов для получения биосовместимых имплантатов. Рассмотрены преимущества и недостатки применения аддитивных и литейных технологий для производства металлических элементов эндопротезов из Co-Cr-Mo сплавов.

***Ключевые слова:** изделия медицинского назначения, Co-Cr-Mo сплавы, импланты, биосовместимость, аддитивные технологии, литье*

MANUFACTURING OF METAL ELEMENTS OF ENDOPROSTHESES BASED ON Co-Cr-Mo ALLOYS

D. I. MATSYNOVA

Belarusian National Technical University

P. E. LUSHCHIK, Ph. D. in Technical Sciences

Science and Technology Park of BNTU "Polytechnic"

L. P. DOLGIY, Ph. D. in Technical Sciences, **I. V. RAFALSKI**, Ph. D. in Technical Sciences

Belarusian National Technical University,

The article discusses the features of using metallic materials for biomedical applications. The possibilities of using cobalt-chromium-molybdenum alloys to produce biocompatible implants are discussed. The advantages and disadvantages of using additive and foundry technologies for the production of metal elements of Co-Cr-Mo alloy endoprostheses are considered.

Keywords: medical devices, Co-Cr-Mo alloys, implants, biocompatibility, additive technologies, foundry

Актуальным направлением научного поиска новых материалов на металлической основе являются исследования, посвященные вопросам разработки перспективных сплавов для производства медицинских изделий. В Беларуси медицинская отрасль развивается достаточно интенсивно, однако в некоторых ее сегментах ощущается определенный дефицит отечественных изделий. В силу таких обстоятельств существует необходимость закупки импортной продукции. Недостаток необходимых изделий и оборудования для травматологии, ортопедии и протезирования существенно снижает количество медицинских операций, которые могут ежегодно проводиться белорусскими специалистами. Это не позволяет в полной мере обеспечить нуждающихся соответствующим лечением.

Эндопротезы представляют собой искусственные биоимплантаты, которые обеспечивают восстановление функции, утраченных или поврежденных суставных поверхностей костей, у больных с дегенеративными заболеваниями и последствиями травм. В настоящее время для их изготовления используются различные классы материалов. К ним относятся металлы, полимеры, а также керамические и композиционные материалы. Функционирование изготавливаемых эндопротезов осуществляется в биологических средах с разной физико-химической природой. Поэтому решение проблем биохимического и механического взаимодействия эндопротезов с органическими тканями и костным материалом является сложной задачей междисциплинарных фундаментальных исследований (в области металловедения и термической обработки материалов, биологии и медицины).

В настоящее время в области изготовления медицинских элементов эндопротезов и медицинских изделий одной из самых важных целей является выбор и разработка эффективной технологии их изготовления. В этом случае следует обратить внимание на то, что оптимальная технология изготовления тех или иных изделий подразумевает под собой спектр важных вопросов, в числе которых можно выделить следующие: основные свойства и особенности применяемых материалов, преимущества и недостатки предполагаемых методов изготовления, стоимость и сложность реализации техноло-

гических процессов и др. При разработке технологических процессов также следует учитывать, что не существует идеального метода изготовления металлических изделий и такого же идеального материала, который будет соответствовать всем требованиям в необходимой степени. Поэтому необходимо выделить наиболее важные пункты, отсеивая при этом те, которые не имеют значения в исследуемом (разрабатываемом) вопросе. Например, когда речь идет об изготовлении сложной ответственной детали, вопросы качества стоят на первом месте, в то время как стоимость изготовления, продиктованная сложностью технологического процесса, а также дороговизна самого материала остаются на заднем плане.

По этой причине при разработке технологии изготовления изделий медицинского назначения исследователи рассматривают многочисленные методы и комбинации существующих технологий, а также, в случае необходимости, проводят большое количество экспериментов для решения поставленных задач. То же касается и изготовления металлических элементов эндопротезов. Очевидно, что данные изделия можно причислить к числу высокоответственных сложных изделий и к ним предъявляются определенные требования. Для изготовления многих биомедицинских имплантатов все чаще используется Co-Cr-Mo сплав, который обладает высокими трибологическими свойствами и биосовместимостью [1].

Биомедицинские сплавы на основе Co по составу обычно делят на два типа. Один из них – сплав Co-Cr-Mo, содержащий 5–7 % Mo и 27–30 % Cr. Этот материал применяется уже более 20 лет и все чаще используется в качестве основного материала для изготовления биоимплантатов [1–4]. Другой разновидностью кобальтового сплава является состав, состоящий из Ni (33–37 %), Cr (19–21 %) и Mo (9–11 %). По сравнению с Co-Cr-Mo он стал использоваться в биомедицинской области позже и нашел свое применение в создании высоконагруженных соединений, в том числе ножек эндопротезов [4, 5]. По данным ряда исследований установлено, что кобальтовые сплавы обладают высокой биосовместимостью и особенно устойчивы к коррозии даже в условиях высокого содержания хлоридов. Считается, что эти свойства обусловлены наличием пассивных оксидных слоев, самопроизвольно растущих на поверхности сплава. В коррозионной среде эти слои выполняют роль барьеров и препятствуют коррозии [3, 5–8].

В настоящее время все большее распространение приобретает использование передовой аддитивной технологии 3D-печати, в то время как классический способ изготовления методом литья упоминается все реже. Однако в этом случае возникает вопрос целесообразности использования вышеупомянутой передовой технологии при изготовлении металлических элементов из Co-Cr-Mo сплавов. Следует отметить, что сам по себе этот сплав является дорогостоящим, а его применение в аддитивных технологиях является весьма затратным.

Принципиальная схема технологии аддитивной 3D-печати представлена на рисунке 1, а.

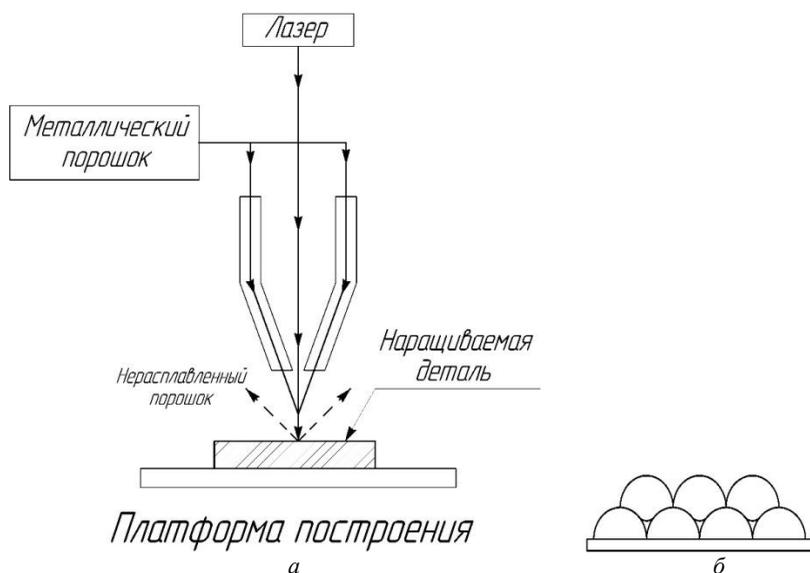


Рисунок 1 – Принципиальная схема технологии аддитивной 3D-печати металлических деталей и схема наслоения расплавляемого материала

Основой данной технологии является выбор состава, свойств и расхода металлического порошка, который подается через специальное сопло и расплавляется в потоке струей лазера при высоких температурах. Безоговорочным преимуществом применения этой технологии является то, что детали любой конфигурации можно

изготовить, не прибегая к дополнительному изготовлению моделей и форм. Особенно важно это в случае, когда детали изготавливаются в единичном экземпляре. Однако существенным недостатком данной технологии можно назвать расход металлического порошка: Co-Cr-Mo сплав является тугоплавким, и температура его плавления превышает 1300–1500 °С и, несмотря на то, что порошок изготавливается специальным образом, так, чтобы все гранулы были одинакового размера и могли расплавиться в нужный момент и приобрести форму (рисунок 1, б), большая часть подаваемого порошка не успевает расплавиться и удаляется под воздействием охлаждающего устройства установки 3D-печати. Также вопросы вызывает структура изготавливаемых деталей, которая представлена внутренними и внешними порами (рисунок 1, б), наличие которых приводит к возникновению преждевременных трещин во время эксплуатации.

При изготовлении металлических элементов эндопротезов необходимо стремиться к достижению максимального срока их эксплуатации пациентами. В настоящее время средний срок эксплуатации эндопротезов пациентами составляет 20–25 лет, а пористая структура в зависимости от особенностей человека (его вес, образ жизни и т. д.) может значительно сократить это время. Необходимо учитывать, что любое хирургическое вмешательство, в том числе и повторное, оказывает негативное влияние на организм человека.

В настоящее время проводятся исследования с целью сравнения разных способов изготовления. В некоторых исследованиях [9, 10] приводится сравнительный анализ изготовления эндопротезов из Co-Cr-Mo сплавов: методом литья по выплавляемым моделям и с применением технологии 3D-печати. Вышеуказанные особенности деталей, полученных методом 3D-печати, также отмечаются исследователями. Следует отметить, что и в процессе литья сплавов на основе Co-Cr упоминаются свои недостатки, в частности при кристаллизации образуются крупные дендритные зерна, наличие которых снижает предел текучести сплава. Однако более подробные исследования показали, что данная проблема остается актуальной при классическом литье и отсутствует в случае применения специальных методов литья (например, вакуумное литье) с последующей термообработкой [11, 12].

Список литературы

1. **A comprehensive** review on surface post-treatments for freeform surfaces of bio-implants / A. W. Hashmi [at al.] // *Journal of Materials Research and Technology*. – 2023. – Vol. 23. – P. 4866–4908.
2. **Scratch** and Wear Behaviour of Co-Cr-Mo Alloy in Ringer’s Lactate Solution / R. Silva [at al.] // *Materials*. – 2023. – Vol. 16. – P. 2923.
3. **Chen, Q.** Metallic implant biomaterials / Q. Chen, G. A. Thouas // *Materials Science and Engineering: R: Reports*. – 2015. – Vol. 87. – P. 1–57.
4. **Patel, N. R.** A review on biomaterials: scope, applications & human anatomy significance / N. R. Patel, P. P. Gohil // *International Journal Emerging Technology Advanced Engineering*. – 2012. – Vol. 2. – Iss. 4. – P. 91–101.
5. **Biomechanics** of hip and knee prostheses / J. Alvarado [at al.] // *Applications Engineering Mechanics Medicine*. – 2003. – P. 6–22.
6. **Evans, E. J.** The in vitro toxicity of cobalt-chrome-molybdenum alloy and its constituent metals / E. J. Evans, I. T. Thomas // *Biomaterials*. – 1986. – Vol. 7. – Iss. 1. – P. 25–29.
7. **Öztürk, O.** Metal ion release from nitrogen ion implanted CoCrMo orthopedic implant material / O. Öztürk, U. Türkan, A. E. Eroglu // *Surface Coatings Technology*. – 2006. – Vol. 200. – Iss. 20–21. – P. 5687–5697.
8. **The design** and manufacture of biomedical surfaces / J. J. Ramsden [et al.] // *CIRP Annals*. – 2007. – Vol. 56. – Iss. 2. – P. 687–711.
9. **Different** Response of Cast and 3D-Printed Co-Cr-Mo Alloy to Heat Treatment: A Thorough Microstructure Characterization / M. Roudnicka [at al.] // *Metals*. – 2021. – Vol. 11. – Iss. 5. – P. 687.
10. **Effect** of heat treatment on the anisotropic microstructural and mechanical properties of Co-Cr-Mo alloys produced by selective laser melting / A. Takaichi [at al.] // *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*. – 2019. – Vol. 102.
11. **Effect** of molybdenum content on structural, mechanical, and tribological properties of hot isostatically pressed b-type titanium alloys for orthopedic applications / M. Fellah [et al.] // *Journal of Materials Engineering and Performance*. – 2019. – Vol. 28. – Iss. 10. – P. 5988–5999.
12. **Nalbant, M.** The effect of cutting speed and cutting tool geometry on machinability properties of nickel-base Inconel 718 super alloys / M. Nalbant, A. Altin, H. Gokkaya // *Materials & Design*. – 2007. – Vol. 28. – Iss. 4. – P. 1334–1338.

References

1. **A comprehensive** review on surface post-treatments for freeform surfaces of bio-implants / A. W. Hashmi [at al.] // Journal of Materials Research and Technology. – 2023. – Vol. 23. – P. 4866–4908.
2. **Scratch** and Wear Behaviour of Co-Cr-Mo Alloy in Ringer's Lactate Solution / R. Silva [at al.] // Materials. – 2023. – Vol. 16. – P. 2923.
3. **Chen, Q.** Metallic implant biomaterials / Q. Chen, G. A. Thouas // Materials Science and Engineering: R: Reports. – 2015. – Vol. 87. – P. 1–57.
4. **Patel, N. R.** A review on biomaterials: scope, applications & human anatomy significance / N. R. Patel, P. P. Gohil // International Journal Emerging Technology Advanced Engineering. – 2012. – Vol. 2. – Iss. 4. – P. 91–101.
5. **Biomechanics** of hip and knee prostheses / J. Alvarado [at al.] // Applications Engineering Mechanics Medicine. – 2003. – P. 6–22.
6. **Evans, E. J.** The in vitro toxicity of cobalt-chrome-molybdenum alloy and its constituent metals / E. J. Evans, I. T. Thomas // Biomaterials. – 1986. – Vol. 7. – Iss. 1. – P. 25–29.
7. **Öztürk, O.** Metal ion release from nitrogen ion implanted CoCrMo orthopedic implant material / O. Öztürk, U. Türkan, A. E. Eroglu // Surface Coatings Technology. – 2006. – Vol. 200. – Iss. 20–21. – P. 5687–5697.
8. **The design** and manufacture of biomedical surfaces / J. J. Ramsden [et al.] // CIRP Annals. – 2007. – Vol. 56. – Iss. 2. – P. 687–711.
9. **Different** Response of Cast and 3D-Printed Co-Cr-Mo Alloy to Heat Treatment: A Thorough Microstructure Characterization / M. Roudnicka [at al.] // Metals. – 2021. – Vol. 11. – Iss. 5. – P. 687.
10. **Effect** of heat treatment on the anisotropic microstructural and mechanical properties of Co-Cr-Mo alloys produced by selective laser melting / A. Takaichi [at al.] // Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials. – 2019. – Vol. 102.
11. **Effect** of molybdenum content on structural, mechanical, and tribological properties of hot isostatically pressed b-type titanium alloys for orthopedic applications / M. Fellah [et al.] // Journal of Materials Engineering and Performance. – 2019. – Vol. 28. – Iss. 10. – P. 5988–5999.
12. **Nalbant, M.** The effect of cutting speed and cutting tool geometry on machinability properties of nickel-base Inconel 718 super alloys / M. Nalbant, A. Altin, H. Gokkaya // Materials & Design. – 2007. – Vol. 28. – Iss. 4. – P. 1334–1338.

Поступила 04.10.2024

Received 04.10.2024