

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН
КАЗАХСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ К. И. САТПАЕВА

ИНСТИТУТ МЕТАЛЛУРГИИ И ОБОГАЩЕНИЯ

МАТЕРИАЛЫ

Международной научно-практической конференции
ЭФФЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ЦВЕТНЫХ,
РЕДКИХ И БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ



Алматы 2018 Almaty

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН
КАЗАХСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ К. И. САТПАЕВА
ИНСТИТУТ МЕТАЛЛУРГИИ И ОБОГАЩЕНИЯ**

**Металлургия ғылымы мен өнеркәсібінің мәселелеріне және белгілі
ғалым металлург, ҚР ҰҒА корреспондент мүшесі,
Қазақстан Республикасы Мемлекеттік сыйлығының иегері
Болат Балтақайұлы Бейсембаевті еске алуға арналған
«Түсті, сирек және асыл металдарды өндірудің тиімді технологиялары»
атты Халықаралық ғылыми-практикалық конференцияның**

МАТЕРИАЛДАРЫ

МАТЕРИАЛЫ

**Международной научно-практической конференции
«Эффективные технологии производства цветных, редких и
благородных металлов», посвященной проблемам металлургической
науки и промышленности и памяти известного ученого-металлурга,
члена-корреспондента Академии наук РК,
лауреата Государственной премии Республики Казахстан
Булата Балтакаевича Бейсембаева**

PROCEEDINGS

**of International scientific and practical conference
“The Effective Technologies of Non-Ferrous,
Rare and Precious Metals Manufacturing” devoted to the metallurgy
science and industry concerns and in memory of well-known scientist
of metallurgy, Associate Member of the National Academy
of Sciences of Kazakhstan, the honoree of the State Prize of the
Republic of Kazakhstan Bulat Baltakayevich Beisembayev**

Алматы 2018

УДК 669
ББК 34.3
Э94

Ответственный редактор: д.т.н., проф. Кенжалиев Б.К.

Жауапты редактор: т.ғ.д., проф. Кенжалиев Б.К.

Редакционный совет: д.т.н., проф. Кенжалиев Б.К., д.т.н., проф. Загородняя А.Н., д.т.н. Квятковский С.А., к.т.н. Кульдеев Е.И., к.х.н. Темирова С.С., PhD Касымова Г.К.

Редакциялық алқа: т.ғ.д., проф. Кенжалиев Б.К., т.ғ.д., проф. Загородняя А.Н., т.ғ.д. Квятковский С.А., т.ғ.к. Көлдеев Е.И., х.ғ.к. Темирова С.С., PhD Касымова Г.К.

«Эффективные технологии производства цветных, редких и благородных металлов»: Материалы Межд. научно-практ. конф. / Сост.: к.х.н. Темирова С.С., к.т.н. Кульдеев Е.И., Садыкова Т.С. – Алматы, 2018. – 440 с.

«Түсті, сирек және асыл металдарды өндірудің тиімді технологиялары»: Халықар. ғыл. практ. конф. материалдары / Құраст.: х.ғ.к. Темирова С.С., т.ғ.к. Көлдеев Е.И., Садыкова Т.С. – Алматы, 2018. – 440 б.

ISBN 978-601-323-132-7

В Материалах конференции «Эффективные технологии производства цветных, редких и благородных металлов» представлены результаты фундаментальных и прикладных исследований в области металлургии цветных, редких и благородных металлов, обогащения минерального и техногенного сырья, получения высокочистых металлов и перспективных материалов, а также разработки новых и усовершенствования существующих технологических схем, процессов и аппаратов.

Материалы конференции предназначены для ученых и специалистов, работающих в области переработки минерального сырья и материаловедения.

«Түсті, сирек және асыл металдарды өндірудің тиімді технологиялары» атты конференцияның материалдарында түсті, сирек және асыл металдар металлургиясы, минералдық және техногенді шикізаттарды байыту, тазалығы жоғары металдар мен келешегі зор материалдарды алу, сонымен қатар жаңа технологиялық схемаларды, үрдістерді және аппараттарды жасап шығару және олардың бұрыннан келе жатқан түрлерін жетілдіру салаларындағы іргелі және қолданбалы зерттеулердің нәтижелері келтірілген.

Конференция материалдары материалтану және минералды шикізаттарды өңдеу саласында жұмыс жасайтын ғалымдар мен мамандарға арналған.

УДК 669
ББК 34.3

ISBN 978-601-323-132-7

© АО «ИМиО», 2018

ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ИНДИВИДУАЛЬНО РАЗРАБАТЫВАЕМЫХ ЭНДОПРОТЕЗОВ ИЗ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ

<https://doi.org/10.31643/2018-7.36>

Кенжалиев Б.К.^{1,2}, *Чукманова М.Т.^{1,2},
ORCID: 0000-0003-1474-8354 0000-0002-9626-3205

¹АО «Институт металлургии и обогащения», г. Алматы, Казахстан,
*chukmanova_m@mail.ru;

²НАО «Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И. Сатпаева», г. Алматы, Казахстан

Аннотация. *Представлен аналитический обзор способов изготовления имплантатов из титановых сплавов. Показаны характеристики таких методов как фрезирование, литье, лазерное спекание порошковых материалов. Сформулированы основные преимущества и недостатки этих методов. Отмечено, что физико-химические свойства титановых сплавов обуславливают широкое применение в изготовлении имплантатов и эндопротезов.*

Современные медицинские имплантаты - это продукты, которые должны отвечать строгим требованиям в отношении материалов, технологий обработки и их функциональности. Они могут использоваться почти в каждом органе человеческого тела. В идеальном случае они должны обладать биомеханическими свойствами, сравнимыми с биогенными свойствами аутогенных тканей без каких-либо побочных эффектов. Основными требованиями всех медицинских имплантатов являются коррозионная стойкость, биосовместимость, биоадгезия, биофункциональность, обрабатываемость и доступность [1].

Технология эндопротезирования постоянно совершенствуется и становится всё более безопасной. На фоне улучшения хирургической техники, постоянно модернизируется состав и конфигурация эндопротезов. Разработки эндопротезов ведутся по различным направлениям конструктивного исполнения элементов имплантата, способов фиксации, использования различных материалов, разнообразных видов обработки поверхности имплантатов[2].

Материалы, используемые для изготовления эндопротезов и имплантатов, должны обеспечивать длительный срок службы изготавливаемых из них деталей и потому их следует легировать только биосовместимыми нетоксичными элементами, тогда как легирующие элементы (ванадий, кобальт и никель) могут образовывать в организме человека токсичные соединения [3]. В настоящее время самыми популярными и востребованными материалами для имплантатов являются «чистый» титан и его сплавы. Благодаря большой механической прочности, коррозионной стойкости и хорошей биосовместимости титан и его сплавы практически не имеют конкурентов в имплантологии. Эти свойства объясняются главным образом образованием стабильного слоя оксида титана на поверхности [4].

Помимо этого титановые сплавы характеризуются высоким сопротивлением усталости, низким модулем упругости и плотностью, хорошей износостойкостью [5]. Это обеспечивает более высокую механическую совместимость имплантата с плотными костными структурами организма, у которых модуль упругости составляет 5,20 ГПа[6]

Реализация высокого комплекса эксплуатационных свойств эндопротезов может быть достигнута выбором оптимальных технологий производства, в частности, методов и режимов формирования структуры и обработки поверхности эндопротезов. Ожидается, что достижения в области технологий производства титана будут играть важную роль в разработке следующего поколения медицинских имплантатов.

Существует несколько способов изготовления имплантатов из титановых сплавов: фрезирование, обработка давлением – штамповка, литье и методы порошковой металлургии.

Современная технология производства имплантатов с помощью фрезерования на станках с числовым программным управлением (ЧПУ) обеспечивает высокую точность изготовления (отклонение размеров – 15–20 мкм в сравнении с 50–70 мкм при литье), высокий уровень автоматизации труда, большую производительность, применение широкого спектра обрабатываемых материалов и компактность оборудования. Однако при изготовлении имплантатов способом фрезерования возникают следующие проблемы:

- сложность получения тонкостенных нежестких изделий;
- невозможность получения пористой структуры имплантата, что является важным требованием для остеоинтеграции с живой тканью.

Лазерное спекание порошковых материалов основано на активно разрабатываемом методе SLS (selective laser sintering) – селективного лазерного спекания. SLS – технология помогает в изготовлении деталей из металлов, сплавов и пластиков путем послойного наплавления, подвергая нагреву тонкий слой порошка лазером или другим лучом высокой энергии. Процесс характеризуется чрезвычайно быстрым спеканием и затвердеванием [7]. В качестве материалов используются полиамид, полистирол и порошки некоторых металлов.

Лазерное спекание порошков представляет собой многократно повторяющийся процесс, включающий несколько стадий:

- нанесение порошкового слоя и выравнивание его роликом;
- программно-управляемая лазерная обработка (сканирование) порошкового слоя с полным проплавлением легкоплавких компонентов порошковой смеси по заданному контуру;
- чистка полученного слоя;
- сдвиг столика с образцом вниз на величину толщины одного слоя;
- повторение всего процесса, то есть нанесение следующего порошкового слоя, лазерное сканирование и т. д. [8].

Метод селективного лазерного спекания позволяет изготавливать с высокой точностью (до $\pm 0,05$ мм) сложнопрофильные детали, учитывающие анатомические особенности конкретного человека, которые превышают по своим физико-механическим характеристикам детали, полученные традиционным формообразованием (точением, фрезированием, литьем и др.). Использование метода селективного лазерного спекания может сократить время изготовления и себестоимость сложнопрофильных деталей при единичном и мелкосерийном производстве за счет отсутствия стадии создания специального инструмента и сокращения количества технологических этапов. Как и у всех аддитивных технологий, у SLS-метода есть недостатки. Во-первых, выращенные модели, как правило, требуют последующей обработки из-за шероховатой или пористой структуры. Во-вторых, предъявляются особые требования к помещению и условиям эксплуатации оборудования. В-третьих, необходимость в крупных первоначальных инвестициях из-за высокой стоимости оборудования и дорогостоящее его постгарантийное обслуживание. В-четвертых очень узкий спектр расходных материалов и крайне высокая их стоимость [2]. Эти недостатки не позволяют в настоящее время SLS-методу 3D-печати быть конкурентоспособным при серийном изготовлении эндопротезов однако индивидуально разрабатываемые эндопротезы уже производятся этим методом.

Технология обработки металлов под давлением подразумевает изменение форм и размеров заготовок за счет воздействия на них внешних сил. С целью увеличения пластичности металл перед началом обработки давлением нагревают до определенной температуры. Для каждого вида материала эта температура определяется индивидуально, в зависимости от его специфических физико-химических характеристик. По сравнению с механической обработкой или литьем рассматриваемая технология имеет безусловные преимущества. Например, она позволяет гарантировать экономное расходование сырья, и отличается впечатляющей производительностью. Штамповку титановых заготовок осуществляют на молотах и прессах (гидравлических и кривошипных). При штамповке на молотах за счёт использования многократных

лёгких ударов можно уменьшить местный перегрев заготовки. Однако это вызывает необходимость одного или нескольких подогревов заготовки, что способствует образованию альфированного слоя на поверхности детали, понижающего пластичность металла, а это опасно для заготовок с тонкими сечениями [9]. Обработкой давлением изготавливаются эндопротезы простой конфигурации, получаемые при этом заготовки подвергаются обработке резанием на ЧПУ-станках.

Литье титановых сплавов на протяжении многих лет используется для получения эндопротезов. В настоящее время используется широкая номенклатура фасонных отливок из титановых сплавов. Применение фасонного литья позволяет существенно сократить расход материалов (коэффициент использования материала при штамповке составляет 0,12, а при фасонном литье: 0,35) и трудоемкость их механической обработки. Технология фасонного литья обеспечивает получение сложных по геометрической форме отливок с высокими характеристиками усталостных свойств. Литье титановых сплавов производится в разовые литейные формы, изготовленные по выплавляемым моделям. Высокая химическая активность и температура плавления титана обуславливают комплекс требований к материалам керамических форм: прочность к воздействию ударных и изгибающих нагрузок, термостойкость и химическая инертность к заливаемому металлу.

Технология литья титановых сплавов по выплавляемым моделям позволяет получать отливки различных форм и размеров с высоким коэффициентом использования металла. В настоящее время разработаны и внедрены в промышленность два различных технологических варианта получения форм по выплавляемым моделям: изготовление форм на основе графитовых материалов и электрокорунда [10].

Электрокорундовые формы для литья титана используют ограниченно, так как жидкий титан взаимодействует с формой и на поверхности отливок образуется газонасыщенный слой. Для уменьшения загрязнения металла примесями содержание SiO_2 в суспензии не должно превышать 10—11%. Использование суспензии, применяемой для изготовления форм стального литья и содержащей 18 % SiO_2 , приводит к значительному повышению содержания кислорода, кремния и других элементов в металле отливки. Соотношение гидролизованного раствора этилсиликата и порошков электрокорунда составляет 400—450 см^3 на 1 кг порошков. Приготовленную керамическую суспензию, выдержав 2—3 ч до удаления пузырьков воздуха, наносят на восковую модель. Послойная сушка оболочки проводится на воздухе или в вакуумно-аммиачных камерах. После нанесения необходимого числа слоев модельную массу удаляют из формы, а форму подвергают тепловой обработке в печах с воздушной средой при температуре 970–1000 °С с выдержкой 2–3 ч.

Графитовые формы получили наибольшее распространение для литья титановых отливок, так как они лучше других противостоят взаимодействию с жидким титаном. Суспензию для графитовых форм готовят на основе фенолформальдегидных смол или фенолборитовых, которые разводят спиртом до плотности 0,95—0,96 $\text{г}/\text{см}^3$; в указанный раствор вводятся порошки графита следующего состава (масс. %): сухого коллоидального графита 20—25 и графитовых порошков 75—80 марок ГМЗ, ЭК зернистостью 0,03—0,1 мм [11]. Использование графитовых форм позволяет производить отливки с улучшенными механическими свойствами (из-за высокой скорости охлаждения) и высокой точностью размеров [12].

Однако использование указанных формовочных смесей не возможно для отливки деталей со сложной конфигурацией поверхности из титановых сплавов. Это делает перспективным дальнейшую разработку формовочных материалов. Совершенствование технологии литья титановых сплавов будут играть важную роль в разработке следующего поколения медицинских имплантатов.

Таким образом, используемые при производстве эндопротезов из титановых сплавов технологии имеют преимущества и недостатки, что необходимо учитывать при способе изготовления. Между тем, наиболее перспективными для изготовления

индивидуально разрабатываемых эндопротезов сложной конфигурации с развитой поверхностью являются методы 3D-принтинга и точного литья по выплавляемым моделям. Это говорит о необходимости дальнейшего развития этих технологий.

ЛИТЕРАТУРА

1 Balažić M., Recek D., Kramar D., Milfelner M., Kopač J. Development process and manufacturing of modern medical implants with LENS technology // Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering (1). – 2009. – P. 31-34.

2 Колсанов А.В., Николаенко А.Н., Иванов В.В., Приходько С.А., Платонов П.В. Обзор материалов и технологических методов, применяемых при изготовлении эндопротезов в травматологии и ортопедии // Science and innovations in medicine 3 (7). – 2017. – С. 13–17.

3 Топольский В.Ф., Ахонин С.В., Григоренко Г.М., Петриченко И.К. Разработка новых титановых биосовместимых сплавов для медицинского применения // Современная электрометаллургия 1 (106) – 2012. – С. 22-25.

4 Schulze C., Weinmann M., Schweigel C., Kebler O. and Bader R. Mechanical Properties of a Newly Additive Manufactured Implant Material Based on Ti-42Nb // Materials 11(1) – 2018.

5 Mishnaevsky L., Levashov E., Valiev R., Segurado J., Sabirov I., Enikeev N., Prokoshkin S., Solov'yov A., Korotitskiy A., Gutmanas E., Gotman I., Rabkin E., Psakh'eS., Dluhoš L., Seefeldt M., Smolin A. Nanostructured titanium-based materials for medical implants. Modeling and development // Materials Science and Engineering: R: Reports (81). – 2014. – P. 1–19.

6 Коллеров М.Ю., Спектор В.С., Мамонов А.М., Скворцова С.В., Гусев Д.Е., Гуртовая Г.В. Проблемы и перспективы применения титановых сплавов в медицине // Титан (2). – 2015. – С. 42-53.

7 Rajesh R., Sudheer S., Mithun V Kulkarni. Selective laser sintering process –a review //International journal of current engineering and scientific research (10). 2015. P. 91-100.

8 Тверской М.М., Петрова Л.Н., Аладин А.С., Сулацкая Е.Ю., Жаринова А.С. Компьютерная технология изготовления медицинских имплантатов методом послыйного лазерного спекания // Вестник ЮУрГУ (23). – 2012. – С. 64-69.

9 Цыдыпов Б.С., Лыгденов Б.Д. Разработка технологии производства титановых эндопротезов // Успехи современного естествознания. № 1-8 – 2015.– С. 1351-1354.

10 Кочетков А.С., Ночовная Н.А., Боков К.А. Особенности процесса получения отливок из экономнолегированного литейного титанового сплава ВТ40Л // Труды ВИАМ 3(39). – 2016. – С. 30-36.

11 Ильин А., Бибииков Е.Л. Литье титановых сплавов //Альфа-М. 2014. С.149-155.

12 Vazhenov V.E., Koltygin A.V., Tselovalnik Yu.V. and Sanniko A.V. Determination of Interface Heat Transfer Coefficient between Aluminum Casting and Graphite Mold // Russian Journal of Non-Ferrous Metals (2). – 2017. – P.114–123.

TECHNOLOGIES FOR MANUFACTURING INDIVIDUALLY DEVELOPED ENDOPROSTESIS FROM TITANIUM ALLOYS

Kenzhaliyev B.K.^{1,2}, ***Chukmanova M.T.**^{1,2}

ORCID: 0000-0003-1474-8354

0000-0002-9626-3205

¹ JSC «Institute of Metallurgy and Beneficiation», Almaty, *chukmanova_m@mail.ru

² NJSC «Kazakh National Research Technical University named after K.I. Satpayev»

Abstract. *An analytical review of the methods of manufacturing implants from titanium alloys is presented. The characteristics of such methods as milling, casting, laser sintering of powder materials are shown. The main advantages and disadvantages of these methods are formulated. It is noted that the physico-chemical properties of titanium alloys cause a wide application in the manufacture of implants and endoprostheses.*