

# Титан и Тантал в медицине

подготовил: Чапала Ю.И.

верстка: Горелик Н.Е.



## ОГЛАВЛЕНИЕ

1. ВВЕДЕНИЕ .....	3	4.5. Сшивание костей, сосудов и нервных волокон.....	27
1.1 Титан и тантал – «компромиссные» металлы для медицины .....	3	4.6. Пластическая хирургия.....	28
2. ТИТАН И ТАНТАЛ – ОПРЕДЕЛЕНИЕ, АКТУАЛЬНЫЕ СВОЙСТВА .....	5	4.7. Нейрохирургия (наложение микроклипсов) .....	29
2.1 Титан для медицины .....	5	4.8. Стоматологическая ортопедия .....	29
2.1.1. Определение и полезные характеристики.....	5	4.9. Изготовление медицинского инструментария .....	32
2.1.2. Марки титана и титановые сплавы.....	6	5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	33
2.2. Тантал для медицины.....	9	ИСТОЧНИКИ.....	35
2.2.1. Определение и полезные характеристики.....	9	ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСЫ.....	35
2.2.2 Марки тантала и его сплавы .....	11	БИБЛИОГРАФИЯ.....	37
2.2.3 Актуальность применения Ta в медицинских целях .....	12		
3. ИСХОДНЫЕ ПОЛУФАБРИКАТЫ ИЗ ТИТАНА И ТАНТАЛА .....	13		
3.1. Титан – актуальные формы выпуска .....	13		
3.1.1. Титановый лист и плиты.....	13		
3.1.2. Титановый пруток и круг .....	14		
3.1.3. Титановая проволока и нить.....	15		
3.1.4. Титановая лента и фольга .....	16		
3.1.5. Титановая труба и трубка .....	17		
3.2.1. Танталовый лист и полоса.....	18		
3.2.2. Танталовый пруток и круг .....	18		
3.2.3. Танталовая проволока и нить .....	19		
3.2.4. Танталовая фольга и лента.....	20		
3.2.5. Танталовая труба и трубка .....	21		
4. ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ ТИТАНА И ТАНТАЛА В КОНКРЕТНЫХ ОТРАСЛЯХ МЕДИЦИНЫ .....	21		
4.1. Травматология: конструкции для сращения переломов.....	21		
4.2. Эндопротезирование .....	22		
4.3. Титано-никелевые медицинские сплавы с эффектом запоминания формы.....	24		
4.4. Применение Ti и Ta для изготовления сосудистых стентов .....	26		

## 1. ВВЕДЕНИЕ

### 1.1 Титан и тантал – «компромиссные» металлы для медицины.

Использование в медицине различных металлоизделий практикуется издревле. Сочетание таких полезных свойств металлов и их сплавов, как прочность, долговечность, гибкость, пластичность, упругость, не имеет альтернатив, в частности, при изготовлении ортопедических конструкций, медицинского инструментария, приспособлений для скорейшего сращивания переломов. А в последние десятилетия, благодаря открытию эффекта «памяти формы» и внедрению прочих инноваций металлы стали широко применяться также в сосудистой и нейрохирургии для изготовления шовного материала, сетчатых стентов для расширения вен и артерий, крупных эндопротезов, в офтальмологической и стоматологической имплантологии.

Однако далеко не все металлы пригодны для применения в медицинской сфере, и главными деструктивными причинами здесь выступают подверженность коррозии и вступление в реакцию с живыми тканями – факторы, имеющие разрушительные последствия, как для металла, так и для самого организма.

Конечно, вне конкуренции стоят золото и металлы платиновой группы (платина, иридий, осмий, палладий, родий и т.п.). Тем не менее, возможность использования драгметаллов для массового применения практически отсутствует ввиду их запредельно высокой стоимости, да и сочетание полезных свойств, востребованных в тех или иных конкретных клинических ситуациях, присуще благородным металлам далеко не всегда.

Значительное место в этой сфере по сегодняшний день занимают нержавеющие стали, легированные определенными добавками для получения требуемых характеристик. Но подобные металломатериалы, которые в сотни раз дешевле драгметаллов, недостаточно эффективно противостоят коррозии и другим агрессивным воздействиям, что значительно ограничивает возможность их применения для целого ряда медицинских нужд. Кроме того, препятствием для приживления изделий из нержавеющей стали, имплантируемых внутрь организма, является их конфликт с живыми тканями, обуславливающий высокий риск отторжения и других осложнений.

Своеобразным компромиссом между этими двумя полюсами являются такие металлы, как титан и тантал: прочные, ковкие, почти не подверженные коррозии, имеющие высокую температуру плавления, а главное – совершенно нейтральные в биологическом отношении, за счет чего воспринимаются организмом как собственная ткань и практически не вызывают отторжения.

Что же касается стоимости, то у титана она не высока, хотя и значительно превосходит аналогичный параметр нержавеющей сталей. Тантал же, будучи достаточно редким металлом, более чем вдесятеро дороже титана, но все равно обходится намного дешевле в сравнении с драгоценными металлами. При сходстве большинства основных эксплуатационных свойств по некоторым из них он все же уступает

титану, хотя по некоторым превосходит его, что, собственно, и обуславливает актуальность применения.

Именно в силу данных причин титан и тантал, нередко именуемые «медицинскими металлами», а также ряд их сплавов, получили широчайшее распространение во многих врачебных отраслях. Различаясь по ряду характеристик и, тем самым, взаимно дополняя друг друга, они раскрывают перед современной медициной воистину необъятные перспективы.

Ниже будет более подробно рассказано об уникальных характеристиках титана и тантала, основных сферах их использования в медицине, применении различных форм выпуска данных металлов для изготовления инструментов, ортопедического и хирургического оборудования.

## 2. ТИТАН И ТАНТАЛ – ОПРЕДЕЛЕНИЕ, АКТУАЛЬНЫЕ СВОЙСТВА

### 2.1. Титан для медицины

#### 2.1.1. Определение и полезные характеристики

Титан (Ti) – легкий металл серебристого оттенка, внешне напоминающий сталь – является одним из химических элементов Периодической таблицы, размещенным в четвертой группе четвертого периода, атомный № 22 (рис. 1).



Рисунок 1. Титановый самородок.

Имеет атомную массу 47,88 при удельной плотности 4,52 г/см<sup>3</sup>. Температура плавления – 1669 °С, температура кипения –3263 °С. В промышленных марках с высокой устойчивостью является четырехвалентным. Характеризуется хорошей пластичностью и ковкостью.

Будучи одновременно легким и обладая высокой механической прочностью, вдвое превышающей аналогичный показатель Fe и шестеро – Al, титан также имеет низкий коэффициент теплового расширения,

что позволяет применять его в широком температурном диапазоне.

Титан характеризуется низким показателем теплопроводности, вчетверо меньшим по сравнению с железом и более чем на порядок меньше, чем у алюминия. Коэффициент терморасширения при 20°С относительно невелик, но увеличивается по мере дальнейшего нагревания.

Отличается данный материал и весьма высоким показателем удельного электросопротивления, который, в зависимости от наличия посторонних элементов, может варьироваться в диапазоне  $42 \cdot 10^{-8} \dots 80 \cdot 10^{-6}$  Ом·см.

Титан относится к парамагнитным металлам, имея невысокий показатель электропроводности. И хотя у парамагнитных металлов магнитовосприимчивость, как правило, уменьшается по мере разогревания, титан в данном отношении можно отнести к разряду исключений, поскольку его магнитовосприимчивость, напротив, возрастает с увеличением температуры.

За счет суммы вышеперечисленных свойств титан совершенно незаменим в качестве исходного сырья для различных областей практической медицины и медицинского

приборостроения. И все же самым ценным качеством титана для использования с этой целью является его высочайшая устойчивость к коррозионным воздействиям, и, как следствие, гипоаллергенность.

Своей коррозионной стойкостью титан обязан тому, что при температурах вплоть до 530-560 °С поверхность металла покрыта прочнейшей естественной защитной пленкой оксида TiO<sub>2</sub>, совершенно нейтральной по отношению к агрессивным химико-биологическим средам. В отношении устойчивости к коррозии титан сравним с платиной и металлами-платиноидами, и даже превосходит эти благородные металлы. В частности, он исключительно устойчив к воздействию кислото-щелочных сред, не растворяясь даже в столь агрессивном «коктейле», как царская водка. Достаточно отметить, что интенсивность коррозионного разрушения титана в морской воде, имеющей химсостав во многом сходный с человеческой лимфой, не превышает 0,00003 мм/год или 0,03 мм в течение тысячелетия!

Благодаря биологической инертности титановых конструкций к организму человека, при имплантации они не отторгаются и не провоцируют аллергических реакций, быстро обтягиваясь костно-мышечными тканями, структура которых остается

постоянной на протяжении всей последующей жизни.

Существенным преимуществом титана является и его ценовая доступность, обуславливающая возможность массового применения.

#### 2.1.2. Марки титана и титановые сплавы

Марки титана и его сплавов в различных формах выпуска регламентируются отечественными стандартами:

- **ГОСТ Р ИСО 5832-2-2014** «Имплантаты для хирургии. Металлические материалы. Часть 2. Нелегированный титан»;
- **ГОСТ 19807-91** «Титан и сплавы титановые деформируемые. Марки»;
- **ОСТ 90013-81**  
«Сплавы титановые. Марки»;
- **ГОСТ 23755-79**  
«Плиты из титана и титановых сплавов. Технические условия»;
- **ГОСТ 27265-87**  
«Проволока сварочная из титана и титановых сплавов. Технические условия»;
- **ГОСТ 22178-76**  
«Листы из титана и титановых сплавов. Технические условия»;

- **ГОСТ 26492-85**

«Прутки катаные из титана и титановых сплавов. Технические условия»;

- **ГОСТ 24890-81**

«Трубы сварные из титана и титановых сплавов. Технические условия»;

- **ГОСТ 22897-86**

«Трубы бесшовные холоднотемпературные из сплавов на основе титана. Технические условия»;

- **ГОСТ 17746-96**

«Титан губчатый. Технические условия»;

- **ГОСТ 21945-76**

«Трубы бесшовные горячекатаные из сплавов на основе титана. Технические условия»;

- **ОСТ1 90107-73**

«Прутки кованные из титановых сплавов»;

- **ОСТ1 90173-75**

«Прутки катаные из титановых сплавов. Технические требования»;

- **ОСТ1 90218-76**

«Листы из титановых сплавов. Технические требования»;

- **ОСТ1 90266-86**

«Прутки катаные крупногабаритные из титановых сплавов. Технические условия»;

- **ОСТ1 90050-72**

«Трубы из титановых сплавов. Технические требования»;

- **ОСТ1 90065-72**

«Трубы из титановых сплавов повышенного качества. Технические требования»;

- **ОСТ1 90202-75**

«Прутки горячекатаные из сплава марки ВТ16»;

- **ОСТ1 92062-90**

«Прутки катаные из титановых сплавов. Технические условия»;

- **ОСТ1 90027-71**

«Лента из титановых сплавов»;

- **ОСТ 4.021.027-78**

«Крупногабаритные катаные прутки из титановых сплавов»;

- **ОСТ 88.0.021.209-76**

«Прутки из титана и титанового сплава катаные круглые»;

- **ТУ 14-3-161-73**

«Трубы бесшовные малых размеров из сплавов 1М и ВТ1-00. Технические условия»;

- **ТУ 1-5-357-75**

«Листы и плиты из сплавов марок ЗВ и 40. Технические условия».

Наиболее востребованными медициной марками титана являются технически чистые ВТ1-0, ВТ1-00, ВТ1-00св. В них почти не присутствуют примеси, количество которых столь незначительно, что колеблется в пределах нулевой погрешности. Так, в марке ВТ1-0 содержится около 99,35-99,75% чистого металла, а в марках ВТ1-00 и ВТ1-00св, соответственно, – 99,62-99,92% и 99,41-99,93%.

На сегодняшний день в медицине используется широкий спектр титановых сплавов, различных по своему химсоставу, и механотехнологическим параметрам. В качестве легирующих добавок в них чаще всего используются Ta, Al, V, Mo, Mg, Cr, Si, Sn. К наиболее эффективным стабилизаторам можно причислить Zr, Au и металлы платиновой группы. При введении в титан до 12% Zr его коррозионная устойчивость увеличивается на порядки. Достичь же наибольшего эффекта удается при добавлении в титан небольшого количества Pt и платиноидов Pd, Rh, Ru. Введение в Ti лишь 0,25% данных элементов позволяет на десятки порядков уменьшить активность его взаимодействия с кипящими концентрированными H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> и HCl.

Широкое распространение в имплантологии, ортопедии и хирургии получил сплав Ti-6Al-4V, значительно превосходящий по эксплуатационным параметрам «конкурентов» на базе кобальта и нержавеющей сталей. В частности, модуль упругости у титановых сплавов в два раза ниже. Для медицинского применения (имплантаты для остеосинтеза, эндопротезы суставов и т.д.) это является большим преимуществом, так как обеспечивает более высокую механосовместимость имплантата с плотными костными структурами организма, у которых модуль упругости составляет 5,20 ГПа. Еще более низкими показателями в этом отношении (до 40 ГПа и ниже) характеризуются титано-ниобиевые сплавы, разработка и внедрение которых особенно актуальны. Однако прогресс не стоит на месте, и сегодня на смену традиционному Ti-6Al-4V приходят новые медицинские сплавы Ti-6Al-7Nb, Ti-13Nb-13Zr и Ti-12Mo-6Zr, не содержащие алюминия и ванадия – элементов, оказывающих хотя и незначительное, но все же токсичное воздействие на живые ткани.

В последнее время все более востребованными для медицинских нужд становятся биомеханически совместимые имплантаты, материалом для изготовления которых служит никелид титана TiNi. Причиной роста

популярности данного сплава является присущий ему т. наз. эффект запоминания формы (ЭЗФ). Его сущность состоит в том, что контрольный образец, будучи деформированным при пониженных температурах, способен постоянно сохранять вновь обретенные очертания, а при последующем нагревании – восстанавливать изначальную конфигурацию, демонстрируя при этом сверхупругость. Никелид-титановые конструкции незаменимы, в частности, при лечении позвоночных травм и дистрофии опорно-двигательного аппарата.

## 2.2. ТАНТАЛ ДЛЯ МЕДИЦИНЫ

### 2.2.1. Определение и полезные характеристики

Тантал (Ta, лат. Tantalum) – тяжелый тугоплавкий металл серебристо-голубоватого «свинцового» оттенка, которому обязан покрывающей его пленке пентаоксида Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Является одним из химических элементов Периодической таблицы, размещенным в побочной подгруппе пятой группы шестого периода, атомный № 73 (рис.2).



Рисунок 2. Кристаллы тантала.

Тантал имеет атомную массу 180,94 при высокой удельной плотности 16,65 г/см<sup>3</sup> при 20 °С (для сравнения: удельная плотность Fe – 7,87 г/см<sup>3</sup>, Pb – 11,34 г/см<sup>3</sup>). Температура плавления – 3017 °С (более тугоплавкими являются только W и Re). 1669°С, температура кипения – 5458 °С. Тантал характеризуется свойством парамагнитности: его удельная магнитовосприимчивость при комнатной температуре составляет  $0,849 \cdot 10^{-6}$ .

Данный конструкционный материал, сочетая в себе высокие показатели твердости и пластичности, в чистом виде хорошо поддается механообработке любыми способами (штамповка, прокатка, ковка, протяжка, скручивание, резание, и т. д.). При низких температурах обрабатывается без сильного наклепа, подвергаясь деформационным воздействиям (ст. сжатия 98,8%) и не нуждаясь при этом в предварительном обжиге. Тантал не

утрачивает пластичности даже в случае его заморозки до –198 °С.

Значение модуля упругости тантала составляет 190 Гн/м<sup>2</sup> или 190·102 кгс/мм<sup>2</sup> при 25 °С, благодаря чему он легко перерабатывается в проволоку. Осуществляется также выпуск тончайшего танталового листа (толщина примерно 0,039 мм) и других конструкционных полуфабрикатов.

Своеобразным «двойником» Ta является Nb, характеризуемый множеством схожих свойств.

Тантал отличает исключительная стойкость к агрессивным средам. Это является одним из ценнейших его свойств для применения во множестве отраслей, включая медицинскую. Он устойчив к воздействию таких неорганических агрессивных кислот, как HNO<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, HCl, H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>, а также органических кислот любых концентраций. По данному параметру его превосходят лишь благородные металлы, да и то не во всех случаях. Так, Ta, в отличие от Au, Pt и многих других драгметаллов, «игнорирует» даже царскую водку HNO<sub>3</sub>+3HCl. Несколько меньшая устойчивость тантала наблюдается по отношению к щелочам.

Высокая коррозиестойкость Ta проявляется и по отношению к атмосферному кислороду. Процесс окисления начинается только при 285 °С:

на металле формируется поверхностная защитная плёнка пентаоксида тантала Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Именно наличие пленки из этого единственно стабильного из всех окислов Ta делает металл невосприимчивым к агрессивным реагентам. Отсюда – такая особенно ценная для медицины характеристика тантала, как высокая биосовместимость с организмом человека, воспринимающим вживляемые в него танталовые конструкции как собственную ткань, без отторжения. На этом ценнейшем качестве основано медицинское использование Ta в таких сферах, как восстановительная хирургия, ортопедия, имплантология.

Тантал входит в число редких металлов: его запасы в земной коре составляют примерно 0,0002%. Это обуславливает высокую стоимость данного конструкционного материала. Вот почему столь распространено применение тантала в виде наносимых на основной металл тонких пленок защитных антикоррозийных покрытий, имеющих, кстати, в три-четыре раза большую твердость, чем чистый отожженный тантал.

Еще чаще тантал используется в виде сплавов как легирующую добавку в менее дорогостоящие металлы для придания получаемым соединениям комплекса необходимых физико-механических и химсвойств. Стальные, титановые и другие металлические

сплавы с добавлением тантала широко востребованы в химико-медицинском приборостроении. Из них, в частности, практикуют изготовление змеевиков, дистилляторов, аэракторов, рентгеновской аппаратуры, устройств контроля и т.д. В медицине тантал и его соединения применяют также с целью изготовления оборудования для операционных.

Примечательно, что в ряде областей тантал, как менее дорогостоящий, но имеющий множество адекватных эксплуатационных характеристик, способен успешно заменять драгметаллы платиноидной группы.

### 2.2.2 Марки тантала и его сплавы

Марки тантала и его сплавов в различных формах выпуска регламентируются отечественными стандартами:

- ТУ 120РК76224400-205-78. Танталовые слитки. ЭЛП-1, ЭЛП-2, ЭЛП-3
- РК 30054230205-2001ТУ647. Слитки тантала.
- ТУ 95.205-78. Слитки танталовые.
- ТУ 95 2799-2002. Слитки танталовые.
- ГОСТ Р ИСО 13782-2017 «Имплантаты для хирургии. Металлические материалы.

Нелегированный тантал для хирургических имплантатов»

- ТУ 11-78 СУ0.021.041 ТУ «Прутки танталовые. Технические условия»
  - ТУ 11-77 СУ0.021.032 ТУ «Проволока из тантала неотожженная. Технические условия»
  - ТУ 11-77 СУ0.021.016 ТУ «Ленты из тантала неотожженные марки Т. Технические условия»
  - ОСТ 88.0.021.228-76 «Листы из плавленного тантала»
  - ТУ 48-19-258-77 «Фольга танталовая и ниобиевая. Технические условия»
  - ТУ 95.311-82 «Фольга и листы из тантала. Технические условия»
- Основными марками нелегированного титана с содержанием примесей в пределах статистической погрешности являются:
- ТВЧ: Та - 99,9%, (Nb) - 0,2%. Прочие примеси, такие как (Ti), (Al), (Co), (Ni), содержатся в тысячных и десятитысячных долях процента.
  - ТВЧ 1: Химический состав указанной марки на 99,9% состоит из Та. Ниобию (Nb), который всегда

присутствует в промышленном тантале, соответствует всего 0,03%.

- ТЧ: Та – 99,8%. Примеси (не более %): Nb – 0,1%, Fe – 0,005%, Ti, H – по 0,001%, Si – 0,003%, W+Mo, O – по 0,015%, Co – 0,0001%, Ca – 0,002%, Na, Mg, Mn – по 0,0003%, Ni, Zr, Sn – по 0,0005%, Al – 0,0008%, Cu, Cr – по 0,0006%, C, N – по 0,01%.
- Т: Та – 99,37%, Nb – 0,5%, W – 0,05%, Mo – 0,03%, (Fe) - 0,03%; (Ti) - 0,01%, (Si) - 0,005%.

Высокие показатели твердости Та позволяют изготавливать на его основе конструкционные твердые сплавы, например, Та с W (ТВ). Замена сплава TiC танталовым аналогом ТаС существенно оптимизирует механические характеристики конструкционного материала и расширяет возможности его применения.

### 2.2.3 Актуальность применения Та в медицинских целях

На медицинские нужды расходуется примерно 5% производимого в мире тантала. Несмотря на это, значимость его использования в данной отрасли трудно переоценить.

Как уже отмечалось, тантал является одним из лучших металлических биоинертных материалов благодаря самообразующейся на его поверхности тончайшей, но очень прочной и химически стойкой пленки пентаоксида

Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Благодаря высоким показателям адгезии, облегчающей и ускоряющей процесс сращения имплантата с живой тканью, наблюдается низкий процент отторжения танталовых имплантатов и отсутствие воспалительных реакций.

Из таких танталовых полуфабрикатов, как лист, пруток, проволока и прочие формы выпуска, изготавливают конструкции, востребованные в пластической, кардио-, нейро- и ортопедии для наложения швов, сращения костных обломков, стентирования и клипирования сосудов (рис. 3).



Рисунок 3. Танталовая крепежная конструкция в плечевом суставе.

Применение тонких танталовых пластинчатых и сетчатых конструкций практикуется в челюстно-лицевой хирургии и для лечения черепно-мозговых травм. Волокнами танталовой пряжи замещают ткань мышц и сухожилий. С помощью тантала Хирурги используют танталовое волокно при полостных операциях, в частности, с целью укрепления стенок брюшной

полости. Танталовые сетки незаменимы в сфере офтальмопротезирования. Тончайшие танталовые нити используют даже для регенерации нервных стволов.

И, конечно, Та и его соединения, наряду с Тi, повсеместно применяют в ортопедии и имплантологии для изготовления суставных эндопротезов и стоматологического протезирования.

С начала нового тысячелетия обретает все более широкую популярность инновационная сфера

медицины, в основу которой заложен принцип использования статических электрополей для активизации в человеческом организме желательных биопроцессов. Научно доказано наличие высоких электретенных свойств покрытия из пентаоксида тантала Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Титанооксидные электретенные пленки уже получили распространение в сосудистой хирургии, эндопротезировании, создании медицинских инструментов и приборов.

### 3. ИСХОДНЫЕ ПОЛУФАБРИКАТЫ ИЗ ТИТАНА И ТАНТАЛА

#### 3.1. Титан – актуальные формы выпуска

Титан и его сплавы, применяемые в медицине, производятся в виде следующих форм-полуфабрикатов, служащих исходным материалом для последующего выпуска конкретных изделий:

- титанового листа;
- титанового прутка и круга;
- титановой проволоки и нити;
- титановой ленты и фольги;
- титановой трубы и трубки.

Рассмотрим каждую из названных форм более подробно.

#### 3.1.1. Титановый лист и плиты

Титановые листы/плиты являются полуфабрикатами, особенно часто используемыми в промышленных целях. За счет удобства форм-фактора и широкой номенклатуры размерных параметров они повсеместно востребованы как актуальные конструкционные материалы, объединяющие в себе комплекс таких ценных эксплуатационных свойств, как небольшая масса, пластичность, термостойкость, устойчивость к коррозионным и гальваническим воздействиям. Последние два фактора объясняют особую ценность титановых полуфабрикатов для медицинского применения, обуславливая их биоинертность по отношению к агрессивным воздействиям со стороны организма человека.

Для промышленного выпуска листа из Тi и его сплавов используется метод прокатки. Исходя из того, какую окончательную толщину имеет лист, он может быть холодно- или горячекатаным. Для изготовления листов, толщина которых составляет или превосходит 6,2 мм, применяют способ горячей прокатки, а толщиной менее данного цифрового значения – холодной.

#### Марки

Для выпуска листов/плит востребованным является титан высокой чистоты без легирующих добавок (марки ВТ1-0, ВТ1-00), а также деформируемые титановые сплавы следующих марок:

- ВТ5-1, ВТ6, ВТ14, ВТ20;
- ОТ4, ОТ4-0, ОТ4-1;
- ПТ-3В.

Основным легирующим элементом в составе марок ОТ4, ОТ4-0, ОТ4-1 является Al. ВТ6 наряду с Al включает V. В состав марок ВТ5, ВТ14 и ВТ5-1 включены также Mo и Sn. В составе марки ВТ20 наличествуют легирующие добавки Al, V, Mo и Zr. Для легирования сплава ПТ-3В помимо прочих перечисленных элементов применяют добавку Cr.

Химсостав марок Тi регламентирован требованиями ГОСТ 19807-91 («Титан и сплавы титановые деформируемые.

Марки») и ОСТ1 90013-81 («Сплавы титановые. Марки»).

Габариты листового Тi, его механосвойства и особенности поставки обусловлены нормативами ГОСТ 22178-76 («Листы из титана и титановых сплавов. Технические условия») и ОСТ1 90218-76 («Листы из титановых сплавов. Технические требования»). Плит – ГОСТ 23755-79 («Плиты из титана и титановых сплавов. Технические условия»), а также ОСТ1 90024-71 («Плиты из титановых сплавов»).

#### Применение

Сочетание малого показателя удельной плотности (обеспечивающего легкость выпускаемых изделий) с хорошими прочностными и механотехнологическими характеристиками, а также высочайшей устойчивостью к коррозии делают титановый лист незаменимым в различных сферах практической медицины. Более всего они востребованы для эндопротезирования суставов и изготовления дентальных ортопедических конструкций.

#### 3.1.2. Титановый прутки и круг

Титановый прутки и круг – полуфабрикаты универсального назначения. При этом Тi обеспечивает такое значимое преимущество заготовок, как малая масса в комплексе с высокой механопрочностью.

Нередко прутки, имеющие круглое сечение и крупный  $\varnothing$  (61...81 мм и выше), носит обиходное название круга, несмотря на то, что в тексте ГОСТ 25501-82 «Заготовки и полуфабрикаты из цветных металлов и сплавов. Термины и определения» не содержится специального понятия круга.

Размерные параметры, механические свойства, особенности поставок катаных титановых прутков/кругов регламентированы нормативами ГОСТ 26492-85 («Прутки катаные из титана и титановых сплавов. Технические условия»), ОСТ1 90173-75 («Прутки катаные из титана и титановых сплавов. Технические условия»), прутков/кругов из Ti, изготовленных методомковки – ОСТ1 90107-73 («Прутки кованные из титановых сплавов»), прутков, обработанных механически – ОСТ1 90201-75 («Прутки шлифованные и механически калиброванные из титановых сплавов»).

### Марки

Для выпуска прутков/кругов востребованным является титан высокочистый без легирующих добавок (марки BT1-0, BT1-00), а также сплавы следующих марок:

- BT3-1, BT5-1, BT6, BT8, BT9, BT14, BT20, BT22;
- OT4, OT4-0, OT4-1;
- ПТ-3В и др.

Химсостав сплавов Ti отображен в стандартах ГОСТ 19807-91 («Титан и сплавы титановые деформируемые. Марки») и ОСТ1 90013-81 («Сплавы титановые. Марки»).

### Применение

В медицинской сфере круги/прутки из Ti и его сплавов, отличающиеся легкостью и биоинертностью, используются в производстве изделий, контактирующих с агрессивными средами и/или вживляемых в организм человека. Это разнообразный хирургический инструментальный, компоненты искусственных суставов, зубные имплантаты и т.д.

#### 3.1.3. Титановая проволока и нить

Данные полуфабрикаты характеризуются круглым сечением и малым диаметром. Титановая проволока и нить совмещают в себе обширный спектр полезных эксплуатационных характеристик в виде легкости, механической прочности, пластичности, а главное – устойчивости к коррозии, вследствие чего являются биологически нейтральными и воспринимаются организмом как собственная ткань. Благодаря этому проволоку/нить из Ti и его сплавов активно применяют в медицинских целях.

### Марки

Для изготовления проволоки используют высокочистый Ti марки BT1-00св и сплавы марок:

- BT2св, BT6св, BT20-1св, BT20-2св, 2В;
- OT4св, OT4-1св.

Химсостав этих полуфабрикатов регламентирован нормами стандартов ГОСТ 27265-87 («Проволока из титана и титановых сплавов. Технические условия») и ОСТ1 90015-77 («Проволока сварочная из титановых сплавов»).

### Применение

Титановую нить и проволоку чаще всего используют в восстановительной хирургии и стоматологической имплантологии с целью производства шовных материалов, скреп для лечения переломов, нейрохирургических клипсов, сетчатых сосудистых стентов, глазных протезов, дентальных имплантатов и других медицинских изделий.

#### 3.1.4. Титановая лента и фольга

Титановая лента и фольга принадлежат к категории плоского проката, имея значительно меньшие параметры ширины-толщины, чем плита и лист. Фольга имеет ту же ширину, что и лента, но отличается от нее по толщине (обычно 0,12 мм и менее).

Габариты, механические свойства и особенности поставок рассматриваемой продукции обусловлены требованиями ОСТ1 90027-71 («Лента из титановых сплавов»).

### Марки

Для производства ленты/фольги используют высокочистый Ti марок BT1-00 и BT1-0, а также титановый сплав OT4-0.

Химсостав применяемых материалов отображен в ОСТ1 90013-81 («Сплавы титановые. Марки»).

### Применение

Данные полуфабрикаты обладают комплексом полезных характеристик, присущих всем формам выпуска титановой продукции. Это позволяет использовать их по медицинскому назначению соответственно требованиям к размерным параметрам.

Лента из Ti и его сплавов – материал незаменимый в таких медицинских сферах, как эндопротезирование, производство пластин ортопедического назначения для челюстно-лицевой хирургии и устранения последствий черепно-мозговых травм. Может применяться как базовый материал для производства сварных труб и компонентов диагностического оборудования. Титановую фольгу

используют тогда, когда требуется особенно малая толщина материала.

### 3.1.5. Титановая труба и трубка

Титановая труба – один из наиболее востребованных полуфабрикатов благодаря наличию набора полезных качеств, присущих всем изделиям из данного металла и его сплавов: невысокой плотности и легкости, пластичности, биологической инертности и т.д. Трубопродукцию из Ti, характеризующуюся невысокими значениями  $\phi$  и ширины стенок, называют трубкой.

Размерные параметры, механические свойства и особенности поставок отображены в ГОСТ 24890-81 («Трубы сварные из титана и титановых сплавов. Технические условия»).

#### Марки

Для выпуска труб применяется чистый Ti (BT1-0, BT1-00), а также ряд сплавов:

- OT4, OT4-0, OT4-1;
- ПТ-7М, ПТ-3В;
- BT 14.

Химсостав перечисленных марок регламентирован ГОСТ 19807-91 («Титан и сплавы титановые деформируемые. Марки») и ОСТ1 90013-81 («Сплавы титановые. Марки»).

#### Применение

Трубы из Ti и его сплавов, легкие, гигиеничные и устойчивые к коррозии, используются, главным образом, при изготовлении медаппаратуры, производства специальной мебели для операционных, инвалидных колясок и других изделий.

**ВАЖНО!** Вся продукция из чистого Ti, применяемая в имплантологии, помимо вышеперечисленных стандартов регламентируется также нормативами ГОСТ Р ИСО 5832-2-2014 «Имплантаты для хирургии. Металлические материалы. Часть 2. Нелегированный титан»

### 3.2. ТАНТАЛ – АКТУАЛЬНЫЕ ФОРМЫ ВЫПУСКА

Тантал и его сплавы, применяемые в медицине, производятся в следующих формах-полуфабрикатах, служащих исходным материалом для последующего выпуска конкретных изделий:

- танталовый лист и полоса;
- танталовый пруток и круг;
- танталовая проволока и нить;
- танталовая лента и фольга;
- танталовая труба (трубка).

Рассмотрим каждую из названных форм более подробно.

#### 3.2.1. Танталовый лист и полоса

Уникальнейшие характеристики Ta вкупе с удобством форм-фактора (плоский прокат) делают полосу и лист из Ta и его сплавов чрезвычайно востребованными материалами для изготовления широкого ассортимента изделий медицинского назначения.

#### Марки

Для изготовления листов и полос используют марку Ta высокой чистоты (аббревиатура – ТВЧ), в которой масса основного элемента составляет не менее 99,3%. Среди сопутствующих металлических примесей наибольшая массовая доля принадлежит Nb (до 0,22 %). Содержание иных примесей (Ti, Al, Co, Ni и некоторые другие) колеблется в пределах статистической погрешности (от тысячных до десятитысячных долей процента).

Химсостав Ta марки ТВЧ отображен в ТУ 95.311-82 («Фольга и листы из тантала. Технические условия»).

Листовую продукцию из Ta и его сплавов, получаемую в соответствии с ОСТ 88.0.021.228-76 («Листы из плавного тантала») производят методом плавки в вакууме. При изготовлении данных полуфабрикатов согласно требованиям ТУ 95.311-82 («Фольга и листы из тантала. Технические условия») применяют порошковую металлургию.

Габариты листового Ta, его механические свойства и особенности поставки обусловлены целым рядом регламентирующих актов, среди которых наиболее распространенными являются уже указанные выше ОСТ 88.0.021.228-76 и ТУ 95.311-82.

#### Применение

Набор полезных свойств Ta, важнейшее значение из которых для медицины имеет биоинертность, обуславливает возможность применения данного металла для изготовления замещающих отсутствующие ткани хирургических пластин-имплантатов, а также с целью эндопротезирования суставов и внутренних органов.

#### 2.2.2. Танталовый пруток и круг

Танталовые прутки и круги – универсальные полуфабрикаты, из которых выпускают конечную продукцию в виде изделий, имеющих круглое сечение и небольшой  $\phi$ . Изготавливаются обработкой давлением с применением таких способов, как ковка и протяжка. Исходное сырье поставляется в форме штабиков, которые получают, используя методы порошковой металлургии.

В обиходном лексиконе пруток крупного  $\phi$  (61...81 мм и выше), обычно называют кругом, несмотря на то, что в тексте ГОСТ 25501-82 «Заготовки и полуфабрикаты из цветных металлов и

сплавов. Термины и определения» не содержит специального термина «круг».

Размерные параметры прутков/кругов из Та, а также особенности поставки, маркировки, упаковки регламентируются требованиями ТУ 11-78 СУ0.021.041 ТУ («Прутки танталовые. Технические условия»).

### Марки

Для изготовления прутков и кругов применяют марки тантала Т и ТЧ с содержанием чистого металла, соответственно, 99,4% и 99,85%. Количество примеси Nb – металла-«близнеца», который в малых соотношениях всегда присутствует в техническом тантале – не более 0,52% для марки Т и 0,12% – для марки ТЧ.

К наиболее количественно значимым примесям также относятся:

- Fe – 0,032% для марки Т и 0,025% для марки ТЧ;
- W – 0,051%, Mo – 0,034% для марки Т;
- Ti, Si, W и Mo – суммарное количество не более 0,067% для марки ТЧ.

Химсостав рассматриваемых материалов позиционирован в

ТУ 11-78 СУ0.021.041 ТУ («Прутки танталовые. Технические условия»).

### Применение

Проволока и круги из Та незаменимы для медицинского применения, прежде всего, вследствие их высочайшей коррозионной и гальванической стойкости, а значит, полной биологической нейтральности по отношению к тканям человеческого организма. Из них, в частности, изготавливают штифты и спицы для скрепления костей в местах переломов, зубные имплантаты и абатменты, элементы эндопротезов, широкий спектр других медицинских изделий.

#### 3.2.3. Танталовая проволока и нить

Танталовую проволоку, а также нить, изготавливают методом протяжки (волочения) прутков, используемых в качестве исходного материала. Поэтому, сохраняя круглое сечение, они имеют намного меньший  $\emptyset$  в сравнении с прутками.

### Марки

Для выпуска проволоки и нити используют чистый тантал марки Т, основными компонентами которого являются непосредственно Та (99,381 %) и незначительная примесь Nb (до 0,58 %). Содержание прочих примесей не выходит за пределы статпогрешности (Fe – 0,033%, Ti – 0,012%, Si – 0,006%, Mo – 0,037%, W – 0,056%).

Характеристики проволоки и нити из Та, включая химсостав, размерно-

технологические параметры, а также особенности поставок определяются нормативами стандарта ТУ 11-77 СУ0.021.032 ТУ («Проволока из тантала неотожженная. Технические условия»).

### Применение

Танталовая проволока и нить имеют обширный диапазон полезных эксплуатационных свойств в виде механопрочности, ковкости, а главное – устойчивости к коррозии, вследствие чего являются биологически нейтральными и воспринимаются организмом как собственная ткань. Благодаря этому проволоку/нить из Та активно используют в медицинских целях.

Востребованными областями медприменения данных полуфабрикатов являются, в частности, пластическая и нейрохирургия, травматология, стоматологическая имплантология.

#### 3.2.4. Танталовая фольга и лента

Фольга и лента из Та, подобно листу и полосе, принадлежат к категории плоского проката, имея лишь меньшую ширину и толщину при наличии всего комплекса полезных свойств, присущих танталу. Именно малые габариты обуславливают приоритет использования данных материалов для производства миниатюрных устройств различного назначения. Способность же металла сохранять «нейтралитет» по

отношению к живым тканям делает возможным применение фольги и ленты из тантала в медицинских целях.

### Марки

Для выпуска данной продукции применяют чистый тантал марки Т, состав которой был приведен выше.

Документально химсостав танталовой ленты представлен в ТУ 11-77 СУ0.021.016 ТУ («Ленты из тантала неотожженные марки Т. Технические условия»), фольги – в ТУ 95.311-82 («Фольга и листы из тантала. Технические условия») и ТУ 48-19-258-77 («Фольга танталовая и ниобиевая. Технические условия»).

Между лентой и фольгой из Та наблюдается большая схожесть в отношении форм-фактора. И фольга, и лента являются плоскими изделиями, характеризующимися малой толщиной, небольшой шириной и продолжительной длиной. Формы поставки для фольги и ленты, толщина которых превышает 0,045 мм – рулоны и пачки.

Описание размерных и технологических параметров, а также особенностей поставок материалов подробно изложено в ТУ 11-77 СУ0.021.016 ТУ, ТУ 48-19-258-77 и ТУ 95.311-82.

## Применение

Фольга и листы из Та находят медицинское применение в изделиях для регенерации нервных стволов, дентального и эндопротезирования, наложения швов и т.д.

### 3.2.5. Танталовая труба и трубка

Танталовые трубы и трубки малого сечения весьма востребованы в высокотехнологичных промышленных отраслях, в частности, при изготовлении медицинской аппаратуры и инструментария. Благодаря высокой прочности и коррозионной стойкости тантала, в т. ч. в режиме высоких температур, изготавливаемая из него трубная продукция активно применяется для перекачки жидких и газообразных агрессивных реагентов.

## Марки

Трубная продукция выпускается из высокочистого тантала марки ТВЧ (Та – 99,92 %, Nb – 0,036 %, прочее – незначительные примеси Mo, W, Ti и Ni,

содержание которых не превышает тысячных долей процента).

Химсостав продукции, ее размерно-технологические параметры и особенности поставок регламентированы ТУ 14-224-118-87 («Трубы бесшовные холоднодеформированные из тантала марки ТВЧ»).

## Применение

Танталовые трубы совмещают в себе свойства, весьма значимые при изготовлении различного медицинского оборудования – теплообменной аппаратуры, дистилляторов, других изделий специального назначения.

**ВАЖНО!** Вся продукция из чистого Та, применяемая в имплантологии, помимо вышеперечисленных стандартов регламентируется также нормативами ГОСТ Р ИСО 13782-2017 «Имплантаты для хирургии. Металлические материалы. Нелегированный тантал для хирургических имплантатов»

## 4. ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ ТИТАНА И ТАНТАЛА В КОНКРЕТНЫХ ОТРАСЛЯХ МЕДИЦИНЫ

### 4.1. Травматология: конструкции для сращения переломов

В настоящее время для скорейшего сращения переломов все чаще применяют такую инновационную технологию, как металлический остеосинтез. С целью обеспечить

стабильное положение костных осколков используют различные фиксирующие конструкции, как наружные, так и внутренние, имплантируемые в тело. Однако применяемые ранее стальные изделия показывают невысокую эффективность

ввиду их подверженности коррозии под воздействием агрессивной среды организма и явления гальванизации. В результате наступает как быстрое разрушение самих фиксаторов, так и реакция отторжения, вызывающая воспалительные процессы на фоне сильных болевых ощущений вследствие активного взаимодействия ионов Fe с физиологической средой костно-мышечных тканей в электрическом поле организма.

Избежать нежелательных последствий позволяет изготовление титановых и танталовых фиксаторов-имплантатов, обладающих свойством биосовместимости с живыми тканями (рис. 4).

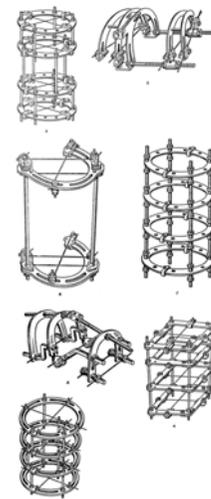


Рисунок 4. Титановые и танталовые конструкции для остеосинтеза

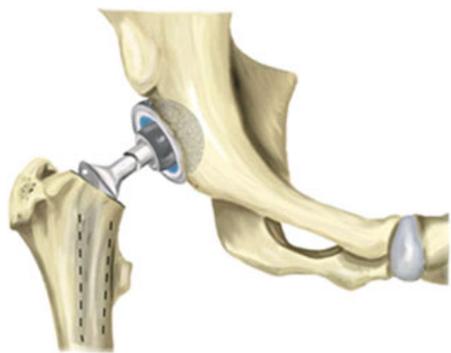
Подобные конструкции простых и сложных конфигураций могут быть использованы для продолжительного или даже постоянного внедрения в организм человека. Это особенно важно для пожилых пациентов, поскольку избавляет их от необходимости операции по удалению фиксатора.

### 4.2. Эндопротезирование

Искусственные механизмы, имплантируемые хирургическим путем в костную ткань, называются эндопротезами. Наибольшее распространение получило эндопротезирование суставов – тазобедренного, плечевого, локтевого, коленного, голеностопного и т.д. Процесс эндопротезирования всегда представляет собой сложную операцию, когда часть не подлежащего естественному восстановлению сустава удаляется с последующей ее заменой на имплантат-эндопротез.

К металлическим компонентам эндопротезов предъявляется ряд серьезных требований. Они должны одновременно обладать свойствами жесткости, прочности, эластичности, возможностью создания необходимой поверхностной структуры, стойкостью к коррозионным воздействиям со стороны организма, исключающей риск отторжения, другими полезными качествами.

Для изготовления эндопротезов могут быть использованы различные биоинертные металлы. Ведущее место среди них занимают титан, тантал и их сплавы. Эти долговечные, прочные и удобные в обработке материалы обеспечивают эффективную остеоинтеграцию (воспринимаются костной тканью как естественные ткани организма и не вызывают с его стороны негативных реакций) и быстрое срастание костей, гарантируя стабильность протеза на длительные сроки, исчисляемые десятилетиями. На рис. 5 представлено применение титана в артропластике бедра.



**Рисунок 5. Титановый эндопротез тазобедренного сустава**

При эндопротезировании как альтернативу использованию цельнометаллических конструкций широко используют метод плазменного напыления на поверхность неметаллических компонентов протеза защитных биосовместимых покрытий на основе оксидов Ti и Ta.

**Чистый титан и его сплавы.** В сфере эндопротезирования находят широкое применение как чистый Ti (напр. CP-Ti с содержанием Ti 98,2-99,7 %), так и его сплавы. Наиболее распространенный из них Ti-6Al-4V при высоких показателях прочности, характеризуется коррозионной стойкостью и биологической инертностью. Сплав Ti-6Al-4V отличается особенно высокой механической прочностью, имея торсионно-аксиальные характеристики, предельно близкие к аналогичным параметрам кости.

К настоящему времени разработан целый ряд современных титановых сплавов. Так, в химическом составе сплавов Ti-5Al-2,5Fe и Ti-6Al-17 Niobium не содержится токсичный V, кроме того, они отличаются низким значением модуля упругости. А сплаву Ti-Ta30 присуще наличие модуля терморасширения, сопоставимого с аналогичным показателем металлокерамики, что обуславливает его устойчивость при длительном взаимодействии с металлокерамическими компонентами имплантата.

**Тантало-циркониевые сплавы.** В сплавах Ta+Zr совмещаются такие важнейшие для эндопротезирования свойства, как биосовместимость с тканями организма на основе коррозионной и гальванической стойкости, поверхностная жесткость и

трабекулярная (пористая) структура металлической поверхности. Именно благодаря свойству трабекулярности возможно значительное ускорение процесса остеоинтеграции – наращивания на металлической поверхности имплантата живой костной ткани.

#### **Эластичные эндопротезы из проволочной титановой сетки.**

Благодаря высокой пластичности и легкости в современной восстановительной хирургии, других медицинских отраслях активно используются инновационные эластичные эндопротезы в виде тончайшей проволочной титановой сетки-«паутины». Упругая, прочная, эластичная, долговечная и сохраняющая свойство биоинертности, сетка является идеальным материалом для эндопротезов мягких тканей (рис. 6).



**Рисунок 6. Сетчатый эндопротез из титанового сплава для пластики мягких тканей.**

«Паутину» уже успешно опробовали в таких сферах, как гинекология, челюстно-лицевая хирургия и травматология. По мнению специалистов, сетчатые титановые эндопротезы не знают себе равных в плане стабильности при практически нулевом риске побочных проявлений.

#### **4.3. Титано-никелевые медицинские сплавы с эффектом запоминания формы**

Сегодня в различных сферах медицины находят широкое распространение сплавы из никелида титана, имеющие т. наз. с эффект запоминания формы (ЭЗФ). Данный материал применяют для эндопротезирования связочно-хрящевой ткани опорно-двигательного аппарата человека.

Никелид титана (международный термин нитинол) представляет собой интерметаллид TiNi, который получают путем сплавления в равных пропорциях Ti и Ni. Важнейшей характеристикой никелид-титановых сплавов является свойство сверхупругости, на котором и базируется ЭЗФ.

Сущность эффекта состоит в том, что образец при охлаждении в определенном диапазоне температур легко деформируется, причем деформация самоустраняется при повышении температуры до первоначального значения с возникновением сверхупругих свойств.

Другими словами, если пластину из сплава нитинол изогнуть при пониженной температуре, то в этом же температурном режиме она будет сохранять свою новую форму сколь угодно долго. Однако стоит лишь повысить температуру до исходной, пластина вновь выпрямится подобно пружине и обретет первоначальную форму.

Образцы продукции медицинского назначения из сплава нитинол показаны на представленных ниже рисунках.



**Рисунок 7. Набор имплантатов из никелида титана для травматологии (в виде скоб, скреп, фиксаторов и т.д.)**



**Рисунок 9. Образцы пористых материалов и имплантатов из никелида титана для вертебрологии (в виде эндопротезов, изделий пластинчатой и цилиндрической конфигурации).**



**Рисунок 8. Набор имплантатов из никелида титана для хирургии (в виде зажимов, дилататоров, хирургического инструментария).**



**Рисунок 10. Материалы и эндопротезы из никелида титана для челюстно-лицевой хирургии и стоматологии.**

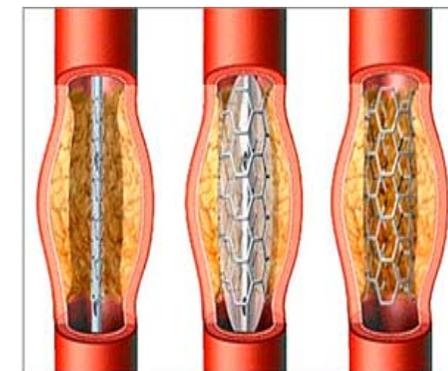
Помимо этого, никелид-титановые сплавы, как и большинство изделий на титановой основе, биоинертны вследствие высокой коррозионной и гальваностойкости. Таким образом, это идеальный по отношению к организму человека материал для изготовления биомеханически совместимых имплантатов (БМСИ).

#### 4.4. Применение Ti и Ta для изготовления сосудистых стентов

**Стентами** (от англ. *stent*) — в медицине называют специальные, имеющие вид упругих сетчатых цилиндрических каркасов, металлоконструкции, помещаемые внутрь крупных сосудов (вен и артерий), а также прочих полых органов (пищевод, кишечник, желче-мочевыводящие протоки и др.) на патологически суженных участках с

целью их расширения до необходимых параметров и восстановления проходимости.

Наиболее востребовано применение метода стентирования в такой сфере, как сосудистая хирургия, и, в частности, коронарная ангиопластика (рис 11).



**Рисунок 11. Образцы титановых и танталовых сосудистых стентов.**

На сегодняшний день научно разработаны и внедрены в реальную практику сосудистые стенты более чем полутысячи различных типов и конструкций. Они различаются между собой по составу исходного сплава, длине, конфигурации отверстий, виду поверхностного покрытия, другим рабочим параметрам.

Требования, предъявляемые к сосудистым стентам, призваны обеспечить их безупречную функциональность, а потому многообразны и весьма высоки.

Данные изделия должны быть:

- биосовместимыми с тканями организма;
- гибкими;
- эластичными;
- прочными;
- рентгеноконтрастными и т.д.

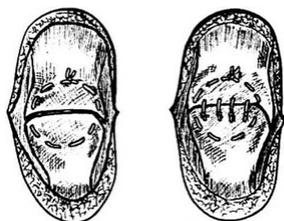
Основными материалами, используемыми сегодня при изготовлении металлосетов являются композиции благородных металлов, а также Ta, Ti и его сплавы (BT6С, BT8, BT 14, BT23, нитинол), полностью биоинтегрируемые с тканями организма и сочетающие в себе комплекс всех прочих необходимых физико-механических свойств.

#### 4.5. Сшивание костей, сосудов и нервных волокон

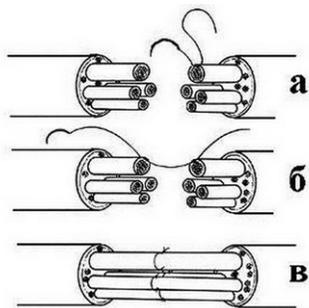
Периферические нервные стволы, поврежденные в результате различных механических травм или осложнений тех или иных заболеваний, нуждаются для восстановления в серьезном хирургическом вмешательстве. Положение усугубляется тем, что обычно подобные патологии наблюдаются на фоне травмирования сопутствующих органов, таких, как кости, сосуды, мышцы, сухожилия и др. В этом случае разрабатывается комплексная программа лечения с наложением специфических швов. В качестве же

исходного сырья для изготовления шовного материала – нитей, скреп, фиксаторов и т.д. – используются титан, тантал и их сплавы, как металлы, обладающие химической биосовместимостью и всем комплексом необходимых физикомеханических свойств.

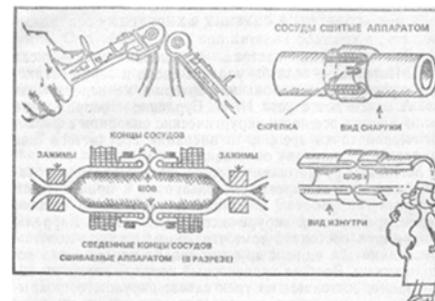
На представленных ниже рисунках изображены примеры подобных операций.



**Рисунок 12. Сшивание кости титановыми скрепками**



**Рисунок 13. Сшивание пучка нервных волокон с применением тончайших танталовых нитей**



**Рисунок 14. Сшивание сосудов с применением танталовых скрепок.**

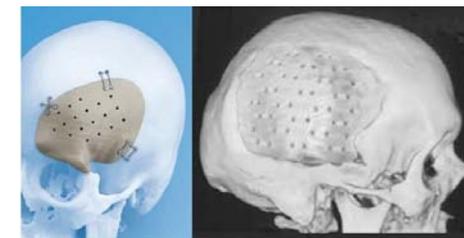
В настоящее время разрабатываются все более совершенные технологии нейро-остео- и вазопластики, однако применяемые для этого титано-танталовые материалы продолжают удерживать пальму первенства перед всеми прочими.

#### 4.6. Пластическая хирургия

Пластической хирургией называют устранение хирургическим путем дефектов органов с целью воссоздания их идеальных анатомических пропорций. Часто при этом подобные реконструкции выполняются с использованием имплантируемых в ткани различных металлических изделий в виде пластин, сеток, пружин и т.д.

Особенно показательна в данном отношении краниопластика – операция по исправлению деформации черепа. В зависимости от показаний в каждой конкретной клинической ситуации краниопластика может выполняться посредством наложения на

оперируемый участок жестких титановых пластин или эластичных сеток из тантала. В обоих случаях допускается применение как чистых металлов без легирующих добавок, так и их биоинертных сплавов. Примеры краниопластики с применением титановой пластины и танталовой сетки представлены на приведенных ниже рисунках.



**Рисунок 15. Краниопластика с использованием титановой пластины.**



**Рисунок 16. Краниопластика с применением танталовой сетки.**

Титано-танталовые конструкции могут применяться также при косметическом восстановлении лица, груди, ягодиц и многих других органов.

#### 4.7. Нейрохирургия (наложение микроклипсов)

Клипированием (англ. clip зажим) называется нейрохирургическая операция на сосудах головного мозга, имеющая целью остановить кровотечение (в частности, при разрыве аневризмы) либо выключить из кровообращения травмированные мелкие сосуды. Сущность метода клипирования заключается в том, что на поврежденные участки накладываются миниатюрные металлические зажимы — клипсы.

Востребованность метода клипирования, прежде всего, в нейрохирургической сфере объясняется невозможность перевязывания мелких мозговых сосудов традиционными способами.

В связи с разнообразием и спецификой возникающих клинических ситуаций, в нейрохирургической практике используется обширная номенклатура сосудистых клипсов, различающихся по конкретному назначению, способу фиксации, размерным и другим функциональным параметрам (рис. 17).



Рисунок 17. Клипсы для выключения аневризм головного мозга.

На фотографиях клипсы кажутся крупными, на самом же деле по размерам они не больше ногтя ребенка и устанавливаются под микроскопом (рис. 18).



Рисунок 18. Операция по клипированию аневризмы сосуда головного мозга.

Для изготовления клипсов, как правило, используют плоскую проволоку из чистого титана или тантала, в некоторых случаях из серебра. Такие изделия абсолютно инертны по отношению к мозговому веществу, не вызывая реакций противодействия.

#### 4.8. Стоматологическая ортопедия

Широкое медицинское применение титан, тантал и их сплавы нашли в стоматологии, а именно в сфере протезирования зубов.

Ротовая полость — особенно агрессивная среда, негативно воздействующая на металлические материалы. Даже такие традиционно используемые при дентальном протезировании драгметаллы, такие как золото и платина, в ротовой полости не

могут совершенно противостоять коррозии и последующему отторжению, не говоря уже о высокой стоимости и большой массе, вызывающей дискомфорт у пациентов. С другой стороны, легкие ортопедические конструкции из акриловой пластмассы также не выдерживают серьезной критики в силу своей недолговечности. Подлинной революцией в стоматологии стало изготовление отдельных коронок, а также мостовидных и съемных протезов на базе титана и тантала. Данные металлы, ввиду таких присущих им ценных качеств, как биологическая инертность и высокая прочность при относительной дешевизне успешно конкурируют с золотом и платиной, а по ряду параметров даже превосходят их.

Большой популярностью, в частности, пользуются штампованные и цельнолитые титановые коронки (рис. 19). А коронки с плазменным напылением из нитрида титана TiN по внешнему виду и функциональным свойствам практически неотличимы от золотых.



Рисунок 19. Цельнолитая титановая коронка и коронка с напылением из нитрида титана

Что же касается протезов, то они могут быть несъемными (мостовидными) для восстановления нескольких рядом стоящих зубов или съемными, используемыми при утрате всего зубного ряда (полная адентия челюсти). Наиболее распространенные протезы — бюгельные (от нем. der Bogen «дуга»).

Бюгельный протез выгодно отличается наличием металлического каркаса, на котором крепится базисная часть (рис.20).



Рисунок 20. Бюгельный протез нижней челюсти

1. Дугообразный металлический каркас-бюгель с участками для крепления базиса;

2. Базис протеза, имитирующий десну с расположенными на ней зубами;

3. Металлические петлевидные фиксаторы-кламмеры для крепления протеза к рядом стоящим здоровым зубам.

Сегодня бюгельная часть протеза и кламмеры выполняются, как правило, из чистого медицинского титана высокой чистоты марки ТВЧ.

Подлинной революцией в стоматологии явилась становящаяся все более востребованной технология имплантационного зубного протезирования. Протезирование на имплантатах – самый надежный способ крепления ортопедических конструкций, которые в этом случае служат десятилетиями или даже пожизненно.

Дентальный (зубной) имплантат – служащая опорой для коронок, а также мостовидных и съемных протезов двусоставная конструкция, базовая часть которой (собственно имплантат) представляет собой конусный штифт с резьбой, ввинчиваемый непосредственно в кость челюсти. На верхнюю платформу имплантата устанавливается абатмент, служащий для фиксации коронки или протеза (рис. 21).



**Рисунок 21. Зубной имплантат Nobel Biocare из чистого медицинского титана класса 4(G4Ti)**

Чаще всего для изготовления винтовой части имплантата служит чистый медицинский титан с поверхностным тантал-ниобиевым напылением, способствующим активизации процесса остеоинтеграции – сращивания металла с живыми костными и десневыми тканями.

Однако некоторые производители предпочитают изготавливать не двусоставные, а цельные имплантаты, в которых винтовая часть и абатмент имеют не отдельную, а монолитную структуру. При этом, например, немецкая компания Zimmer производит цельные имплантаты из пористого тантала, который, в сравнении с титаном, обладает большей гибкостью и внедряется в ткань кости с практически нулевым риском осложнений (рис. 22).



**Рисунок 22. Цельные зубные имплантаты Zimmer из пористого тантала**

Тантал, в отличие от титана – более тяжелый металл, поэтому пористая структура существенно облегчает изделие, не вызывая, к тому же, необходимости в дополнительном внешнем напылении остеоинтегрирующего покрытия.

Примеры имплантационного протезирования отдельных зубов (коронки) и путем установки на имплантаты съемных протезов показаны на рисунке 23.



**Рисунок 23. Примеры применения титано-танталовых имплантатов в зубном протезировании.**

Ныне, в добавление к уже существующим, разрабатываются все новые методики протезирования на имплантатах, показывающие высокую эффективность в различных клинических ситуациях.

#### 4.9. Изготовление медицинского инструментария

Сегодня в мировой клинической практике используется сотни разновидностей различных хирургических и эндоскопических инструментов и медицинской аппаратуры, изготавливаемых с применением титана и тантала (ГОСТ 19126—79 «Инструменты медицинские металлические. Общие технические условия»). Они выгодно отличаются от прочих аналогов по показателям прочности, пластичности и коррозионной устойчивости, обуславливающей биологическую инертность.

Титановые медицинские инструменты по легкости почти вдвое превосходят стальные аналоги, являясь при этом более удобными и долговечными.



**Рисунок 24. Хирургические инструменты, изготовленные на титано-танталовой основе.**

Основными медицинскими отраслями, в которых более всего востребован титано-танталовый инструментарий, являются офтальмологическая, стоматологическая, отоларингологическая и хирургическая.

В составе обширной номенклатуры инструментов представлены сотни наименований шпателей, клипсов, расширителей, зеркал, зажимов, ножниц, щипцов, скальпелей, стерилизаторов, тубусов, долот, пинцетов, всевозможных пластин.

Биохимические и физикомеханические характеристики легких титановых инструментов имеют особую ценность для военно-полевой хирургии и различных экспедиций. Здесь они совершенно незаменимы, поскольку в экстремальных условиях буквально каждые 5-10 граммов лишнего груза являются существенной обузой, а устойчивость к коррозии и максимум надежности – обязательные требования.

Титан, тантал и их сплавы в виде монолитных изделий или тонких защитных покрытий активно применяют в медицинском приборостроении. Их используют при изготовлении

дистилляторов, насосов для перекачки агрессивных сред, стерилизаторов, компонентов наркозо-дыхательной аппаратуры, сложных устройств для дублирования работы жизненно важных органов типа «искусственное сердце», «искусственное легкое», «искусственная почка» и др.

Титановые головки аппаратов для УЗИ имеют самый продолжительный эксплуатационный ресурс, при том, что аналоги из прочих материалов даже при нерегулярном воздействии ультразвуковых колебаний быстро приходят в негодность.

В дополнение к выше сказанному можно отметить, что титан, как и тантал, в отличие от многих других металлов, имеют способность к десорбированию («отталкиванию») излучения радиоактивных изотопов, в связи с чем активно применяются в производстве различных защитных устройств и радиологической аппаратуры.

тантал, которые со всеми на то основаниями можно назвать конструкционными материалами нового тысячелетия.

Значение титана в современном врачевании просто невозможно переоценить. Несмотря на относительно непродолжительную историю использования в практических целях, он стал одним из лидирующих материалов во множестве медицинских отраслей. Титан и его сплавы обладают для этого суммой всех необходимых характеристик: коррозиестойкостью (и, как следствие, биоинертностью), а также легкостью, прочностью, твёрдостью, жёсткостью, долговечностью, гальванической нейтральностью и т.д.

Не уступает титану в плане практической значимости и тантал. При общем сходстве большинства полезных свойств по некоторым качествам они уступают, а по некоторым – превосходят

друг друга. Вот почему трудно, да и вряд ли разумно объективно судить о приоритетности какого-то одного из этих металлов для медицины: они, скорее, органично дополняют друг друга, чем конфликтуют между собой. Достаточно отметить, что ныне активно разрабатываются и находят реальное применение медицинские конструкции на основе титано-танталовых сплавов, объединяющих в себе все преимущества Ti и Ta. И далеко не случайно в последние годы предпринимаются все более успешные попытки создания имплантируемых непосредственно в организм человека полноценных искусственных органов из титана, тантала и их соединений. Близится время, когда, скажем, понятия «титановое сердце» или «танталовые нервы» уверенно перейдут из разряда фигур речи в сугубо практическую плоскость.

## 5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработка и производство изделий медицинского назначения – одно из наиболее интенсивно развивающихся направлений научно-технического прогресса. С началом третьего тысячелетия медицинская наука и техника вошли в число основных движущих сил современной мировой цивилизации.

Значение металлов в человеческой жизнедеятельности неуклонно возрастает. Революционные изменения происходят на фоне интенсивного развития научного материаловедения и практической металлургии. И вот уже в последние десятилетия «на щит истории» подняты такие промышленные металлы, как титан и

### ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСЫ

- [www.metotech.ru](http://www.metotech.ru)
- <https://specmetal.ru>
- <http://wolframoff.com/product/metally/tantal>
- <http://www.mif-ua.com/archive/article/27697>
- [http://studbooks.net/2294288/matematika\\_himiya\\_fizika/primenenie\\_titana\\_tantal\\_a\\_medicsine](http://studbooks.net/2294288/matematika_himiya_fizika/primenenie_titana_tantal_a_medicsine)
- <http://kursovaya.sokolbank.ru/titan-i-titanovye-splavy-primenenie-v-medicine.html>
- <http://www.evek.org/reference/titan-v-mediczine.html>
- [https://www.implants.ru/files/Science/articles\\_technology/38.pdf](https://www.implants.ru/files/Science/articles_technology/38.pdf)
- <http://www.cniga.com.ua/index.files/tantalum.htm>
- [http://i-think.ru/wikimet/?type=metall&section\\_id=372](http://i-think.ru/wikimet/?type=metall&section_id=372)
- <https://cyberleninka.ru/article/n/biosovmestimye-materialy-primenyaemye-dlya-izgotovleniya-stentov-obzor>
- <https://www.bsu.by/Cache/pdf/364223.pdf>
- [http://studbooks.net/2133852/matematika\\_himiya\\_fizika/primenenie\\_medicsine](http://studbooks.net/2133852/matematika_himiya_fizika/primenenie_medicsine)
- <http://www.medicus.ru/stomatology/specialist/sravnitel'naya-harakteristika-titanov-ispolzuemyh-v-sovremennyh-dentalnyh-implantatah-25792.phtml>
- <http://ximik.biz/himiya-i-medicina/59-splav-titana-primeneniye-v-medicine>
- <http://titangalant.com.ua/titan-v-medicsine/>
- <http://www.auremo.org/reference/titan-v-mediczine.html>
- <http://steel-guide.ru/primenenie-stali/titan-i-ego-splavy-kak-biomaterialy.html>
- <http://www.br.susu.ru/scan/Многопрофильная%20инженерная%20олимпиада%20%22Будущее%20России%22/Технологии%20материалов/к/Колупаева%20Мария%20Андреевна.pdf>

0%22Будущее%20России%22/Технологии%20материалов/к/Колупаева%20Мария%20Андреевна.pdf

- <https://aviatitan.net/109-primenenie-titana-v-medicine.html>
- <https://www.dr.arut.ru/nauchnaya-rabota/diplomnie-proekty/osobennosti-primeneniya-titana-v-stomatologii/>
- <https://tech.wikireading.ru/3163>
- <http://stroyres.net/metallicheskie/vidyi/tsvetnyie/titan/ponyatie-osobennost.html#i-4>
- <http://medbe.ru/materials/biomekhanika-i-biosovmestimost/>
- [ren.tv/novosti/2017-08-16/pautina-iz-titana-spaset-rossijskih-pacientov](http://ren.tv/novosti/2017-08-16/pautina-iz-titana-spaset-rossijskih-pacientov)
- <http://perelomu.net/stati/titanovye-plastiny-pri-perelomax.html>
- <http://mst.ru/products/spine/body/tm/test/>
- [http://xn--90aw5c.xn--c1avg/index.php/%D0%9A%D0%9B%D0%98%D0%9F%D0%98%D0%30A0%D0%9E%D0%92%D0%90%D0%9D%D0%98%D0%95\\_%D0%A1%D0%9E%D0%A1%D0%A3%D0%94%D0%9E%D0%92](http://xn--90aw5c.xn--c1avg/index.php/%D0%9A%D0%9B%D0%98%D0%9F%D0%98%D0%30A0%D0%9E%D0%92%D0%90%D0%9D%D0%98%D0%95_%D0%A1%D0%9E%D0%A1%D0%A3%D0%94%D0%9E%D0%92)

## БИБЛИОГРАФИЯ

- Иголкин А.И. Титан в медицине. / Титан. 1993. №1. с. 86-90.
- Гриб С.В., Илларионов А.Г., Попов А.А., Ивасишин О.М. Разработка и исследование структуры, физико-механических свойств низкомодульных сплавов системы Ti-Zr-Nb / Физика металлов и металловедение. 2014.Т.115. № 6, с. 638.
- Хачатрян Г.В., Михальченко А.Ю. Изготовление конструкций из титана: металловедение и особенности литья // Панорама ортопедической стоматологии 2006 - №2 - С. 18-27
- Чеховский С.В., Андреев В.В., Клинов И .Я. Электрохимическое поведение циркония, тантала и их сплава при зачистке поверхности под раствором электролита // Защита металлов 1967 - Т.3 - №5 - С. 616-618
- Петржик М.И., Филонов М.Р., Печёркин К.А., Левашов Е.А., Олесова В.Н., Поздеев А.И. Износостойкость и механические свойства сплавов медицинского назначения // Цветная металлургия 2005 - № 6 - С. 33-41
- Печеркин К.А. Материалы и процессы получения и применения литых изделий из сплавов медицинского назначения // Дисс. канд. тех. наук -Москва-2006- 157 с.
- Клиническая имплантология: Теория и практика // Под ред. профессора А.А. Кулакова Москва - 2006 - 368 с.
- Жук Н.П. Курс теории коррозии и защиты металлов// М.: Металлургия -1976 146 с.
- Гутман Э.М. Взаимосвязь коррозионных процессов с механическим воздействием на металл // Физико-химическая механика материалов. 1967 - № 5 - С. 548-558
- Гюнтер В.Э., Дамбаев Г.Ц., Сысолятин П.Г., Зиганыпин Р.В., Темерханов Ф.Т. Медицинские материалы и имплантаты с памятью формы // Томск: Изд-во Том. ун-та 1998 - 487 с.
- Гюнтер В.Э., Ходоренко В.Н., Ясенчук Ю.Ф., Чекалкин Т.Л. Никелид титана. Медицинский материал нового поколения // Томск: Изд-во МИД -2006 296 с.
- Гусев Ю.П., Акользина М.И., Федоренко А.Г., Дурдыев С. А. Износостойкие покрытия из нитрида титана как заменитель золота // Неотложные проблемы стоматологии. Т.П. М., 1982 - С. 185-186

- Биосовместимые материалы и имплантаты с памятью формы // Под. ред. В.Э. Гюнтера Томск - 2001 - 256 с.
- Биосовместимые материалы с памятью формы и новые технологии в медицине // Под. ред. В.Э. Гюнтера Томск - 2004 - 440 с.
- Рудаков С.С., Коллеров М.Ю., Королев П.А.. Радикальная торако-пластика из малых доступов при воронкообразной деформации грудной клетки у взрослых. Хирургия. Журнал им. Н.И. Пирогова. № 7. 2011, с. 36-42.
- Мамонов А.М., Скворцова С.В., Спектор В.С., Нейман А.П., Лукина Е.А., Митропольская Н.Г. Принципы построения комплексных технологических процессов производства имплантатов из титановых сплавов, включающих вакуумные ионно-плазменные нанотехнологии / Титан. 2012. №3, с. 45-50.
- Мамонов А.М., Спектор В.С., Лукина Е.А., Сарычев С.М. Применение вакуумного ионно-плазменного напыления для повышения износостойкости медицинских имплантатов. / Титан. 2010. № 2, с.23-30.
- Коллеров М.Ю., Шляпин С.Д., Сенкевич К.С., Казанцев А.А., Рунова Ю.Э. Использование термоводородной обработки при изготовлении пористых материалов и изделий из титановых волокон и проволоки. Металлург. №3. 2015. С. 61-66
- Артель Х.М., Дрожжина В. А., Федоров Ю.А. Современные стоматологические материалы и их применение в лечебной практике // СПб, Куксхауен 1996 -139 с.
- Безгина Е.В. Кулаков О.Б., Чиликин Л.В., Головин К.И. Цирконий и титан // Институт стоматологии 2001 - №3 - С. 50-52
- Гарамов Л. Сплавы металлов в современной стоматологии// Зубной техник 2004 -№2 - С. 66-69
- Гветадзе Р.Ш., Матвеева А.И. Использование титановых имплантатов в ортопедической стоматологии // Российский стоматологический журнал -2000 №4 - С.23-24
- Амираев У.А., Рузуддинов С. Металлы в ортопедической стоматологии // Методические рекомендации в помощь медицинским работникам Фрунзе - 1980-9 с.
- Драпал С. Коррозия дентальных сплавов // «Новое в стоматологии» для зубных техников 2001 - №1(13) - С. 43-53

- Жулев Е.Н. Материаловедение в ортопедической стоматологии // Нижний Новгород-2000- 135 с.
- Жусев А.И., Ремов А.Ю. Дентальная имплантация. Критерии успеха // М.: Центр дентальной имплантации 2004 - 224 с.
- Зубкова Я.Ю. Зависимость коррозии стоматологических сплавов от их физико-механических свойств в имплантологии // Дисс. канд. мед. наук -Москва-2007- 118 с.
- Иванов С.Ю., Базилян Э.А., Бизяев А.Ф. Стоматологическая имплантология // М.: ГЕОСТАР-МЕД, 2004 - 295 с.
- Шишкин А. Металлы и их свойства // Зубной техник 2005 - №3 - С. 16-17
- Филонов М.Р., Печеркин К.А., Левашов Е.А., Олесова В.Н., Поздеев А.И. Электрохимическая совместимость дентальных сплавов // Цветная металлургия 2006 - №1 - С. 72-80
- Манфреди Д. Имплантаты, лазер и титан: триумвират современной стоматологии // Зубной техник 2007 - №3 - С. 48-50
- Назаров Г.И., Спиридонов Л.Г. Гальваноз у больных, пользующихся зубными протезами из серебряно-палладиевого сплава // Стоматология -1982-№2-С. 60-61
- Парунов В.А., Лебедеко И.Ю., Степанова Г.С., Васекин В.В. Сплавы благородных металлов и формованные титановые базисы // Зубной техник- 2004 №3 - С. 14-17
- Лебедеко И.Ю., Перегудов А.Б., Быкова М.В., Урусов К.Х. Взаимодействие различных сплавов металла в контактной паре с титановым сплавом ВТ 14 in vitro// «Новое в стоматологии» для зубных техников 2001 - № 2 - С. 48-54
- Лебедеко И.Ю., Рытвин Е.И., Парунов В.А., Степанова Г.С., Турушев Е.И. Изготовление зубных протезов с титановыми базисами методом сверхпластической формовки // Панорама ортопедической стоматологии -2001 №4 - С. 36-38
- Лебедеко И.Ю., Манин О.И., Урусов К.Х., Быкова М.В., Дашкова М.С. Взаимодействие стоматологических сплавов в контактной паре с титановым имплантатом in vitro // Современная ортопедическая стоматология 2007 - №8 - С. 94-96
- Максимовский Ю.М., Гринин В.М., Горбов С.И., Карагодин Ю.А. Биосовместимость сплавов, используемых в стоматологии // Стоматология 2000 - №4 - С. 73-76

- Козин В.Н. Использование стоматологических сплавов с минимальным риском возникновения проявлений непереносимости // Зубной техник -2006 №3 - С. 42-44
- Колотыркин Я.М. Металлы и коррозия // Стоматология 1999 - №3 - С. 52
- Конюхова С.Г. Экспериментально-клиническое исследование эффективности титановых конструкций при замещении дефектов твердых тканей и зубных рядов // Дисс. докт. мед. наук Пермь - 2004 - 269 с.
- Копейкин В.Н. Пономарева В.А., Миргазизов М.З. Ортопедическая стоматология // М.: Медицина 1998 - С. 411-422