

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
**«БЕЛГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**
(НИУ «БелГУ»)

ИНСТИТУТ ИНЖЕНЕРНЫХ И ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
КАФЕДРА МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ И НАНОТЕХНОЛОГИЙ

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА МЕХАНИКО-ТЕРМИЧЕСКОЙ
ОБРАБОТКИ УЛЬТРАНИЗКОФОНОВОГО ТИТАНА С ЦЕЛЬЮ
СОХРАНЕНИЯ ИСХОДНОЙ ЧИСТОТЫ**

Выпускная квалификационная работа
обучающейся по направлению подготовки
22.04.01 Материаловедение и технологии материалов
очной формы обучения
группы 12001739
Ждановой Натальи Сергеевны

Научный руководитель:
К.ф.-м.н. доцент Никулин И. С.

БЕЛГОРОД 2019

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
ГЛАВА 1 ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ.....	5
1.1 Обзор литературы.....	5
1.2 Способы получения титана.....	7
1.3 Сплавы на основе титана.....	8
1.3.1 Классификация сплавов.....	10
1.3.2 Технологически чистый титан ВТ1-00 и ВТ1-0.....	11
1.3.3 Сплавы типа ВТ6.....	12
1.4 Повышение чистоты сплавов.....	13
1.5 Титан с ультранизким содержанием радиоактивных элементов.....	14
1.6 Физические и механические свойства титана.....	16
1.7 Термическая обработка титановых сплавов.....	19
1.8 Структура и свойства титановых сплавов.....	22
1.9 Влияние примесей на титановые сплавы.....	35
1.10 Области применения титана.....	37
ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	42
ГЛАВА 2 МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКИ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	44
2.1 Материал исследования и методика изготовления экспериментальных образцов сплавов.....	44
2.2 Методика проведенияковки.....	44
2.3 Методика подготовки образцов к металлографическим исследованиям.....	45
2.4 Травление титана.....	47
2.5 Измерение макротвердости.....	47

2.6	Сканирующая электронная микроскопия	49
2.7	Определение размера зерен и частиц по методу случайных секущих	49
2.8	Техника безопасности на рабочем месте	50
ГЛАВА 3 РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ.....		51
3.1	Исследование микроструктуры титана.....	51
3.2	Механические свойства	54
3.3	Титановые образцы полученные методом литья	56
3.4	Исследование микроструктуры титана	58
ВЫВОДЫ		63
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ		64

ВВЕДЕНИЕ

Титан является прочным, легким и гибким металлом, который имеет наибольшее отношение к весу всех строительных материалов, и это не только из-за его качеств является перспективным металлом, но и потому, что его запасы в земной коре очень велики. Титан широко распространен в природе, его содержание в земной коре составляет 0,61% (масс.). Это выше, чем содержание таких широко используемых в технике металлов, как медь, свинец и цинк. Значение металлов в человеческом обществе растет. Эволюция в технологии происходит с интенсивным развитием алюминиевой и магниевой промышленности.

Титан, это материал будущего этот материал конечно в будущем также будет создавать новое применение красивых прочных материалов сплавов с более невероятными свойствами. Но будущее начинается сегодня будущее и настоящее не отделены.

Сплавы на основе титана являются одним из основных строительных материалов в настоящее время в различных отраслях промышленности, они имеют широкое применение и его неотъемлемые свойства это -высокая прочность, коррозионная стойкость, хорошая термостойкость, жаропрочность при температурах эксплуатации до 500–600 °С, но с помощью этих уникальных свойств характеристики мирового рынка титана составляют 75000 тонн в год (главная причина высоких цен на титан, то что он в 1000 раз дороже стали, и до 200 раз дороже, чем алюминий); Более эффективное использование сплавов возможно за счет снижения стоимости производства почти готовой продукции. Технические операции для производства полуфабрикатов, в том числе литья под давлением, деформации, сварки, обработки и термообработки слишком важны. Титан -это объект нашего времени-драгоценный, важный и необходимый. широкое, его повсеместное применение во всех областях как раз позволит скорее приблизить то светлое и прекрасное будущее, о котором мы все мечтаем.

ГЛАВА 1 ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

1.1 Обзор литературы

Титан-легкий металл серебристо-белого цвета. Существуют две кристаллические модификации: гексагональная плотноупакованная сетка (α -Ti) и кубическая объемно-центрированная упаковка (β -Ti)[1].

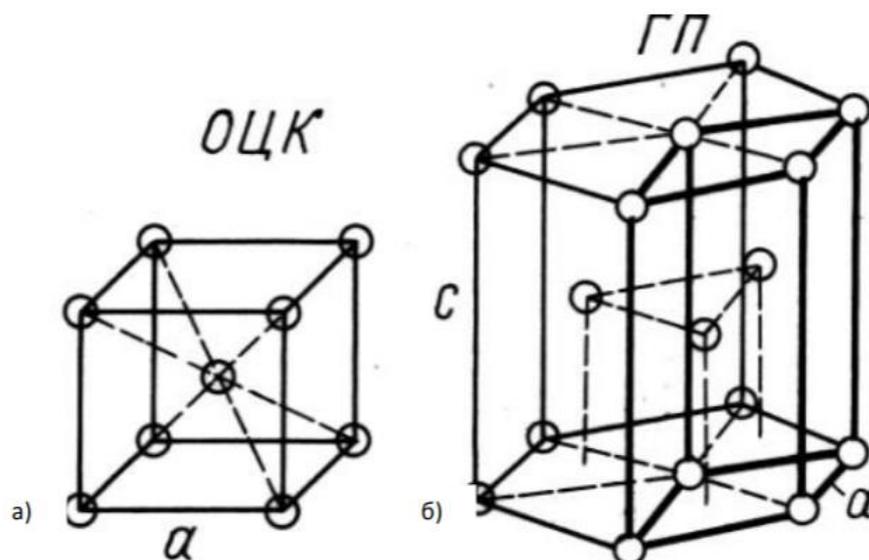


Рис. 1.1 Кристаллическое строение титана: а) β модификация с кубической объёмно-центрированной упаковкой; б) α -модификация с гексагональной плотноупакованной решёткой

Температура перехода от одной модификации кристалла к другой составляет 883°C , энтальпия фазового превращения составляет - 3,8 кДж / моль. Температура плавления $1660\pm 20^{\circ}\text{C}$, температура кипения 3260°C , плотность Альфа-титана при 20°C составляет $4,505 \text{ г/см}^3$, бета-титана при 900°C $4,32 \text{ г/см}^3$, атомная плотность $5,71 \cdot 10^{22} \text{ Ат/см}^3$ и удельное сопротивление $0,42 \text{ мкм}\cdot\text{м}$ при 20°C , атомный радиус 147. Титан довольно пластичен и сваривается в инертной атмосфере. Он обладает высокой вязкостью, при обработке подвержен адгезии к режущему инструменту, в связи с чем необходимы специальные покрытия на инструменте, структурно-

фазовая модификация поверхностного слоя детали, использование различных смазочных материалов [2]. При температуре упаковки на Титане устойчив к коррозии в различных средах, но не для щелочной он находится на новом высоком оксидном слое, за исключением щелочного. Титановая пыль обладает особой способностью и тем не менее, она может взорваться, если температура у пламени около 400°C, титановая пыль оседает на образцах, в связи с этим он может сгореть при точении. Взаимодействие титана с Br₂ и I₂. В пришествии на комплексообразователи происходит реакция с кислотами, например, плавикового кислотой реагирует благодаря [TiF₆]. Когда происходит нагрев до 1200°C Титан загорается ярко белым пламенем, в связи с чем происходит образование оксидной фазы в меньшей степени подверженные при взаимодействии с оксидом. Из раствора соли титана амфотерного TiO (OH)₂ при тщательном обжиге образуется азот и SiO₂·h₂O.

Оксид титана действует при непрерывном кипячении серной кислоты и при нагревании во взаимодействии с галогенами. Оксид TiO₂ образует титанаты при сплавлении с Na₂CO₃ или K₂CO₃:



В нормальных условиях тетрахлорид титана (TiCl₄) представляет собой бесцветную жидкость, которая обусловлена их гидролизом на воздухе водяным паром в воздухе и образованием мелких HCl - капель и суспензии гидроксида титана при воздушном копчении.

Трихлорид (TiCl₃) и дихлорид (TiCl₂) титана — твердые вещества с сильными восстановительными свойствами получают восстановлением TiCl₄ водородом, алюминием, кремнием и другими сильными восстановителями.

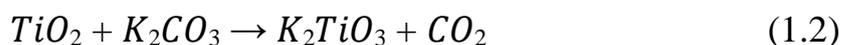
При температурах выше 400°C Титан образует нитриды при взаимодействии с азотом. Также образует карбиды при взаимодействии с углеродом.

При нагревании Титан поглощает водород с образованием соединения изменяющегося состава типа Ti_nH. При нагревании эти гидриды разлагаются

14 с выделением H₂. Титан используется в промышленности в виде сплавов с различными металлами.

1.2 Способ получения титана

Помимо магнитного способа изготовления в периодических приборах, которые широко используются в мире, существуют и другие. Немаловажное значение имеет производство по термическому натриевому методу, применяемому за рубежом, особенно в Англии. Этот метод основан на следующей экзотермической реакции (т. е. свободно установленная тепловая реакция):



Процесс термического равновесия, плавление натрия, для всего этого существует ряд преимуществ магния (простой перенос натрия где низкая температура, высокая скорость реакции и моментальная скорость 100% при скорости утечки; процесс не сложный, и работа, преобразованная в энергию между вакуумной дистилляцией; есть возможность поддерживать полупостоянный процесс, и т. д.). В то же время этот метод характеризуется важными слабостями. Натрий-это вещество, которое используется в промышленности: оно быстро окисляет образец на воздухе и достаточно быстро реагирует с водными растворами. все это требует специальной системы безопасности. Процесс представляет собой большое количество сокращенной продукции реакции, что приводит к сложным потребностям в качестве оборудования, чтобы узнать другой способ получения оксида кальция, он может сделать гидроксид натрия с реакцией кальция



Реакция Гидрида Кальция



Способ получения меди, которую можно использовать для получения высокоточного Титана

$$Tij_4 = Ti + 2J_2 \quad (1.5)$$

Весь этот метод используется с ограничением объемов продукции, чем магний и натрий. Электролитический способ изготовления, как и было обещано, является большим преимуществом, готовым к использованию металла где значительный прогресс был достигнут в разработке и разборке метода [3]. Идея метода уже используется в производственной практике для электролитической обработки металлов (например, низкое качество пористой пропускаемости звука металла, плавки металла и титановые-сплавы).

В этом процессе анод загрязненного металла погружают в расплавленный электролит. Хлориды щелочного металла и хлориды титана ($TiCl_2$, $TiCl_3$). При электролизе, при 800-850 °C тело взаимодействует с электролитами и прилипает к тому, что находится на катоде. Осадочный катод после гидрометаллургического прохода фильтруют и получают отличное сырье для дальнейшего использования в металлургии.

1.3 Сплавы на основе титана

Титановые сплавы являются одним из основных строительных материалов в различных отраслях промышленности, на сегодняшний день это лучший материал, из-за титановых свойств присущих только ему, мы можем наблюдать высокую прочность, жесткость, коррозионную стойкость и высокая коррозионная стойкость и хорошую термическую стабильность до 500-600°C. В диапазоне температур для более эффективного использования сплавов в производстве, в то время как назначение полуфабрикатов и комплектов очень востребовано в производстве.

Технические операции для производства полуфабрикатов, в том числе литья под давлением, пластические деформации, сварки, обработки и термообработки слишком важны. каждая из этих операций производится техником, который видит эту работу, плавления, деформируемость,

свариваемость; проницаемость машины, с постепенным охлаждением деталей на воздухе или в воде.

Рациональный выбор охлаждения на воздухе некоторых титановых сплавов во множестве того, что современное производство неразрывно связано с анализом их поведения в нужных условиях. Таким образом, принцип показывает свойства сплавов, которые могут быть использованы, рассмотрены все криогенные температуры термического сопротивления при высокой температуре и усталости в желаемых условиях [4]. Это должно улучшить свойства титана и сплавов на его основе где проявления морозостойкости и анти-тепла, способны только улучшить такой материал.

Титановых сплавов несравнимо больше, чем других материалов, и на рынке потребления они находятся гораздо дольше чем другие материалы и сплавы. титановые массы которые на протяжении 3-4 лет имеют гидрофобную структуру и сталь не удалось в 2 месяцев, то, когда модуль извлечения, газы, производство магнитных и парамагнитных материалов. ни одно приспособление не будет использовано для 5-летнего железа-но и не более 1-2 месяцев, срок службы магнитных газов в будущем составляет еще в 20-30 раз срок службы стали.

В 1969 году по заказу сплавов было введено в эксплуатацию около 120 метров дымовых газовых труб, произведенных на высоком уровне. Sactus tube - использовали для изготовления газовых труб, но со временем видимо, ничего особенного не поменялось, а заводские трубки всего немного, стали многофункциональными: и впервые в мире. он изготовлены из титана [5]. Сегодня это единственное в этом мире изобретение, созданное в Запорожье из титана, этот завод куда поставляется титан, для изготовления труб различных диаметров, также такое производство планируется построить на другом заводе подобное этому чтобы расширить возможности использования титана. Титан успешно используется для производства и за рубежом, как сообщает журнал tmca, что титановые заводы готовы быть использованы для извлечения магния и калия, хлорид, магний из титановой губки (в США

чистая губка титана, не нагревается в барабане и происходит следующий этап очистки), который состоял из более чем десятка промышленных предприятий и составлял годовой доход в размере 370 тысяч долларов. При производстве магния, машина будет использоваться из расплавленного магниевых сырья, где в тиглях, с использованием газового оборудования, будет также изготовлен и титан.

Титан, это материал для изготовления пресс-форм, используемых в электролитических отложениях меди. Увеличение производительности на 30% увеличивает жизнь таких материалов в 3 раза, это имеет гораздо лучшее качество, для того чтобы купить немного алюминиевой фольги, меди и чтобы аккуратно удалить из барабана катод титана, в то время как катод из нержавеющей стали плавно идет на пути к большому количеству брака. Очень эффективное титановое оборудование для очистки и удаления газовых конструкций, плавки и обжига печей при изготовлении навигационных отложений и цинковых добавок, а также деталей реакторов, катушек и многих других приборов из нового промышленного производства

Основными преимуществами таких сплавов по сравнению с другими строительными материалами являются высокая коррозионная стойкость, удельная прочность и жаропрочность. Кроме того, титан и его сплавы хорошо свариваются и парамагнитны. Сплавы на основе титана имеют большие перспективы для использования в различных технических областях. Особенно это касается авиации, ракетостроения, судостроения, химического оборудования, пищевой и транспортной техники. Представляет также большой интерес как материал для аэрокосмической промышленности [6].

1.3.1 Классификация сплавов

Титановые сплавы делятся на три группы:

- Конструкционные и высокопрочные сплавы представляют собой твердый раствор, который дает оптимальное соотношение прочности.

- Жаропрочные сплавы представляют собой твердые растворы с большим или меньшим химическим составом, что обеспечивает повышенную жаропрочность при низких потерях пластичности.
- Титановые сплавы на основе химического соединения считаются низкоплотными жаропрочными материалами, сопоставимыми с жаропрочными никелевыми сплавами в определенном температурном диапазоне.

Сегодня титан является одним из важнейших и перспективных строительных металлических материалов, но 200 лет назад он считался непригодным для строительных целей [7].

1.3.2 Технически чистый титан ВТ1-00 и ВТ1-0

Таблица 1.1

Элементный состав титана марки ВТ1-00

Fe	C	Si	N	Ti	O	H
до 0.15	до 0.05	до 0.08	до 0.04	99.58 - 99.9	до 0.1	до 0.008

Таблица 1.2

Элементный состав титана марки ВТ1-0

Fe	C	Si	N	Ti	O	H
до 0.25	до 0.07	до 0.1	до 0.04	99.24 - 99.7	до 0.2	до 0.01

Металлургия обеспечивает технико-экономические показатели двух марок: ВТ1-00 и ВТ1-0, разницу в содержании примесей (кислород, азот, углерод, железо, кремний и др.). Эти материалы характеризуются низкой прочностью. Основным преимуществом технически чистого титана является его высокая пластичность, что дает возможность изготавливать из него пленку. Прочность титана может быть увеличена применением, но это уменьшает свою продуктивность. В этом случае пластичность уменьшается

быстрее, чем сопротивление увеличивается. Таким образом, помещение не является лучшим способом расширения возможностей программного обеспечения. По мере увеличения содержания водорода титан становится хрупким, поэтому содержание водорода не должно превышать 0,008% или 0,01% титан VT1-00 и VT1-0 [8].

1.3.3 Сплав типа VT6

Сплавы VT5 широко используются за рубежом для производства широкого спектра типов конструкционных элементов (авиационные конструкции, цилиндры и многое другое). Причиной широкого применения этого сплава является его сплав. Алюминиевый сплав типа в-6 повышает прочность и термостойкость, а ванадий-не только прочность, но и пластичность [9].

Таблица 1.3

Элементный состав титана марки VT-6

Fe	C	Si	V	N	Ti	Al	Zr	O	H
до 0.6	до 0.1	до 0.1	3.5 - 5.3	до 0.05	86.45 - 90.9	5.3 - 6.8	до 0.3	до 0.2	до 0.015

Сплавы легко деформируются в теплом состоянии. Сплавы VT2 используются для изготовления прутков, труб, профилей,ковки, уплотнений, плит, листов. Благоприятным отличием этих сплавов является то, что они свариваются всеми обычными видами сварки, а сила сварки Элс практически равна прочности основного материала. Сплавы типа VT6 могут применяться в отожженном и термически Упрочненном состояниях, так как после отжига повышается вязкость разрушения и сопротивление, при этом высокие пластические свойства сохраняются при формировании смешанной структуры с большим процентом пластинчатых компонентов, а отжиг затем проводят воздушным охлаждением или печным, предотвращая большие

участки изгиба и мелкие участки частичной закалки. Двойной отжиг также повышает вязкость растворения и коррозионную стойкость.

1.4 Повышение чистоты сплавов

Увеличивая ресурсы титановых сплавов, требования к качеству промежуточных продуктов будут расти, в частности, к чистоте металлических примесей. Одним из самых вредных примесей в титановых сплавах является кислород, потому что высокое содержание кислорода может привести к хрупкости [10]. Отрицательное влияние кислорода проявляется в исследовании жаропрочных сплавов: чем выше содержание кислорода в сплаве, тем быстрее и при более низкой температуре наблюдается слабость.

Некоторые потери сопротивления, вызванные уменьшением вредных примесей титана, компенсируются высоким содержанием легирующих элементов.

Дополнительные для сплава ВТ 3-1 (с увеличением чистоты пористости титана), улучшить свойства сопротивления жаропрочности сплава, укрепление материала: ограничить долгосрочное 100 часов сопротивление до $400\text{ }^{\circ}\text{C}$, в связи с чем увеличивается в $60 \cdot 10^6$ $78 \cdot 10^6$ может, и предел текучести, $30 \cdot 10^6$ до $50 \cdot 10^6$, а тепловое сопротивление сплава увеличивается.

В настоящее время титановая губка-MZ-100, используется как элемент губки использовался для этой цели в прошлом десятилетии в связи с этим значительно сократились примеси, а именно кислород в 2,5 раза, железо в 5 раз, диоксид кремния, углерод, азот в 2 раза. Можно предположить, что если губка еще больше улучшит его качество, то в скором будущем она станет перспективным материалом с твердостью Бринелла $80 \cdot 10^6 - 90 \cdot 10^6$ HV.

Установлено, что содержание кислорода не должно превышать 0,15% сплава, w 3-1 и 0,12% - в сплавах, W 8, W 9, w 18 для повышения

теплостойкости этих сплавов, при температурах и продолжительности 2000 часов и более [11].

1.5 Титан с ультранизким содержанием радиоактивных элементов

Производство в промышленных масштабах возможно. К такому выводу пришли российские ученые, которые впервые провели такие исследования. Произведенный Титан может быть новым масштабным видом строительного материала для перспективных детекторов темной материи и других глубоких ионных экспериментов.

Кажется, что детекторы изготовлены из нержавеющей стали с исследованием низкого содержания радиоактивных компонентов, ученые до сих пор не показывают-это невозможно в промышленных условиях, но некоторые люди коммерчески изготавливают, если работы минимизированы в присутствии радиоактивных компонентов, таких как торий или уран при проектировании, который также может быть заинтересован в карьере исследования, и даже влиять на формирование естественного распада процесса моделирования сигнала, вряд ли можно ожидать от взаимодействия с темной стороной, те свойства, которые окрашены цветами, это следует ожидать от того, каково количество атомов в цепи [12].

Часть экспертов считают, что наиболее вероятные кандидаты на роль темной материи, то чем можно взаимодействовать с минимальной частотой, то что слабо взаимодействует с гигантом материи. Слабое исследование было проведено в серии экспериментов за последние 20 лет, но еще не обнаружено, хотя мы окружены миллиардами этих вдыхаемых частиц. Показанные косвенные данные из экспериментов

Материалы настолько велики, что латентная масса попадает в галактики - их образование и необычайно высокие обороты во внешних областях галактик. Хотя земля, которая вращается вместе с Солнечной системой в центре Млечного Пути, летает сквозь массы, ученые обнаружили

из эксперимента что же влияет на свойства частиц. Эти загадочные частицы настолько маловероятны для столкновения с обычным веществом, что для записи необходимы большие и большие детекторы.

В ближайшем будущем, если встроенные детекторы найдут темную материю, они значительно увеличат размер, дешевой нержавеющей стали, произвольно изготовленной, будет недостаточно. Например, исследователи планируют разумно увеличить число детектора Darkside / Дарксайд, чтобы найти темную материю, вероятность обнаружения увеличения Vimp. Он должен весить 3 тонны жидкого аргона, а не 50 кг, как сейчас.

"Если сейчас вам нужно несколько сотен килограммов дешевых стройматериалов, то в будущем вам понадобится несколько десятков тонн. Если производство ультранизкофонового титана может быть создано и экономически эффективно с использованием известных промышленных технологий производства титана, его можно использовать вместо нержавеющей стали для всех будущих экспериментов с низкой частотой. Сейчас Титан примерно в 4 раза дороже нержавеющей стали", - рассказал сотрудник Института ядерной физики МГУ Александр Чепурнов [13].

Проект DarkSide - это международный проект, осуществляемый при участии итальянских, французских, польских, украинских, российских научных учреждений и 17 американских университетов.

Эксперимент DarkSide проводится в Национальной лаборатории Gran Sasso Low-End, глубоко в горах, куда можно добраться из туннелей длиной 12 км. Опыт и знания темной стороны участников той же лаборатории, что и создание и проведение эксперимента, являются ключевым фактором ожидаемого успеха.

В экспериментах DarkSides российские ученые теперь считают вероятным кандидатом в качестве строительного материала для будущего крупнейшего детектора чистый титан. Такое решение было принято после получения результатов исследований по производству титана, проведенных на заводе по производству магния. Российскими учеными доказано, что

можно получить ультрачистый титан, который является сырьем для производства полуфабрикатов. Для производства губок, которые широко используются в промышленности, в процессе может быть использован титан, а материал из металлургического передела и способы очистки позволяют получать из них губки.

"Титан-это строительный материал с детектором темной материи, который может быть радиоактивным до нулевой чистоты. Учитывая это и то, что Россия является крупнейшим в мире производителем, мы можем его производить. Тесное сотрудничество в области магниевого завода по производству самого передового в России титана дает реальную идею о том, что в будущем они постараются найти в России темную материю сверхчистого Титана", - говорит Александр.

Он также рассказал о других планах: "на следующем этапе исследования мы должны разработать технологии для производства титановых компонентов без введения радиоактивных материалов. Как материалы, так и с использованием лазерной резкой."

Интерес к добыче титана с низким содержанием радиоактивных элементов не ограничивается основной физикой частиц [14]. Производство высокочистых огнеупорных металлов является научным приоритетом твердой физики и металлургии высокочистых металлов. Спрос на высокочистые огнеупорные металлы встречается в микроэлектронике, физических материалах и медицине.

1.6 Физико-механические свойства титана

Титан является огнеупорной стали британский Deardorff и Хейс стоял между ним и решил, что точка плавления чистого элементарного титана. Выстрел анти ионом является только второй фазой металла, таких как вольфрам, тантал, ниобий, рений, молибден.

Главной особенностью металла являются уникальные физические и химические свойства: низкая плотность, высокая прочность, твердость и т. д.

Титан -это сплав с плотностью 4,517 г /см³, единственный 0. С от 100 С до 4,506 г / см³. Титан -это группа металла, имеющий удельный вес менее 5 г / см³. Это в том числе, щелочные металлы (натрий, кадмий, кальций, карбонат, лития, рубидия - цезия) с плотностью 0,9–1,5 г/см³, магния (1,7 г/см³), алюминия (2,7 г/см³) и т. д. титан более чем в 1,5 раза тяжелее, чем алюминий и безопасной потери, но в 1,5 раза легче, чем стальной (7.8 г/см³). Однако свойства обработки удельной плотности между положением алюминия и стали часто выше.

Каковы свойства титана, которые могут широко использоваться в качестве основы материалов, или сопротивление поломки и деформации, это возвращение (пластическая деформация). титановые шипы в 12 раз сильнее, чем алюминиевые, в 4 раза больше, чем сталь и медь. еще одной важной особенностью металла является то, что сила обмена с тем больше, тем больше часть металла анти-рабочее пространство поддается ночью, почти в 18 раз больше, чем у алюминия, удельная мощность титановых сплавов будет увеличиваться в 1,5-2 раза выше характеристики машины человека при температуре до сотни.

Титановые слитки подходят для всех видов горячих и холодных деформаций обрабатывающая способность, которая может резать, растягивать, тянуть и делать выпады, как толщина с 0,01 мм, которая кажется довольно тонкой [15].

При увеличении кислорода - и содержание азота сразу же применяется к машине, свойства действия водорода сложны и не могут быть более непосредственными, но во время работы оценки продукта этого эффекта на первой стадии использования титана, что приводит к серьезной аварии, водород теперь вводится в сплавы. В частности, если временный или постоянный сплав, который позволяет это ряд технологических операций в производстве титана, продукт (горячая обработка, способ сварки,

штамповки) и улучшает свойства. Водород, при необходимости, удаляется с помощью специальной вакуумной машины и испарением с поверхности.

Другой особенностью титана служит освобождение от анти-кавитации, то есть, когда металл "бомбардирует" пузырьки, усиленные в жидкой среде, образованной в жидкой среде для ускорения движения или вращения металлической части. Пузырьки на металлической поверхности, делают его не жидкими с помощью микроударов на поверхности движущегося тела быстро разрушают многие материалы, в том числе металл гравитационный методов.

Испытания быстро меняющихся пластин из титана и других металлов в морской воде показали, что люди не теряют титановую пластину на земле в течение почти двух месяцев, ожидая спина. Внешний край, от скорости вращения и сделать максимум кавитации не может быть изменен, то другие пластины не удалось в тесте: внешний край был ранен и многие пучки разрушены

У титана есть еще одна особенность, память формы. В случае некоторых металлических изделий (например, монет, центов), форму изделия, иногда температура. При изменении формы продукта, например, при вращении пружины, попробуйте, он будет оставаться в этом положении до тех пор, пока после выпуска продукта до его температуры, он должен использовать это свойство титана, оно часто используется в космических технологиях (большие антенны на транспортных средствах, которые появляются в комнате еще до того, как они свай в, которые находятся в компактном). Недавно врачи начали использовать его характеристики бескровных операций в титане, сосуд вторичный: ограниченный сосуд из титанового сплава вводится в пациента, затем нагревается до температуры тела, становится похожим на пружину и расширяется [16].

1.7 Термическая обработка титановых сплавов

Титан и α -Титан, сплавы, которые не являются термостойкими и могут быть прокалиброваны только путем термической обработки при температуре размягчения $\alpha+\beta$ -сплавов, должны быть выше договорной температуры, но не должны превышать общую температуру преобразования $\alpha + \beta \rightarrow \beta$, поскольку гранулы добавляют в кнопку β -диапазона. Тепловыделение при температуре β , что мало влияет на σ_b и σ_0 , δ и диаметр очень сильный, как нарушение вязкости K_{1s} увеличивается в диапазоне $\alpha+\beta$, сильное увеличение температуры обработки, в то время как он должен увеличить значения для δ и диаметра. Для воспламенения высокого сопротивления конструкции применяют при 20-30. С при переходе $\alpha+\beta \rightarrow \beta$ (β замачивания) [17].

В прошлом году все еще находят использование вакуумной коробки, которая снижает содержание водорода в титановых сплавах, что приводит к значительному увеличению вязкости разделения, разрушению разрушения и решению тенденции к образованию коррозионных трещин на стене, что это значит?

Чтобы облегчить его. внутренние напряжения из-за активности α -и $\alpha + \beta$ - сплавов ненасыщенные при 550-600 °C $\alpha + \beta$ -сплавы могут быть усилены и улучшены физическими свойствами.

Рассмотрим преобразования в амортизации в $\alpha + \beta$ -сплавах. Для ускоренного охлаждения сплавов применяют β -ступенчатую область (рис. 1.2) с изменением мартенсита конструкции. как и в стали, происходит трансформация мартенсита в титане, сплавах, температурный диапазон-МН-МК. Высокое содержание β -стабилизаторов в сплаве при повышенной температуре перехода Мартенсита Мн и МК [17].

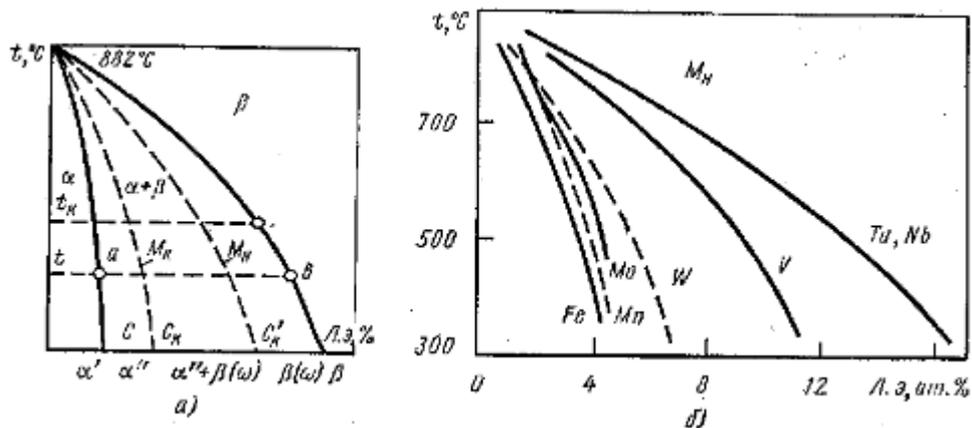


Рис. 1.2 Структура сплавов титана после закалки из β – области (а) и влияние концентрации легирующих элементов (л.э.) на точку M_H (а и б)

После застывания из низколегированных сплавов стали α' – фазы (рисунок 1.2) созданные мартенситным переходом, размер, раствор компонентов сплава в α -Титане. Это довольно искаженная гексагональная решетка и характерная кислотная мартенситная структура (рис. 1.3(б))

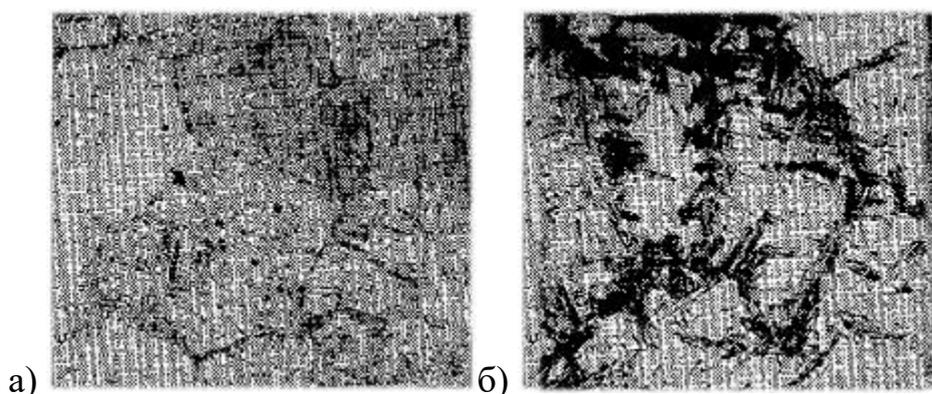


Рис. 1.3 Микроструктуры сплавов титана ($\times 100$) а – α' - фаза;
б – $\alpha' + \beta$ - фазы (β - фаза – темные участки)

Когда этот метод при легирующих элементах находятся выше точки С (рисунок 1.3(а)) мартенситных α' -ромбические решетки фазы. Появление фазы α привело к прохождению в мыс: и сильнейших сплавов, к увеличению мягкости. После затухания сплавов с β -стабилизатора, SC, α' и β -фазы, С'к те же данные через сеть β а β имеет, как на рисунке 1.2. где показано что мартенситная гексагональная фаза ω может быть изготовлена, которая

соответствует матрице мысли, и не проверяется в анализе микроструктуры. Внешний вид фазы ω добавляется к сплаву.

Ингибирование $\alpha + \beta$ -сплавов для предотвращения роста нездоровых привычек происходит при температуре, соответствующей $\alpha + \beta$ (рис. 1.2). В этом случае фаза α' неизменным и β -этапом является превращение в сплав с таким же составом. β -шаг, вытащить из β -опасных мест, например, рисунок 1.2 при применении T-комнатной температуры, состав α -ступеньки через проблемы, состав β -фазы и β -фазный состав уточняются в обновлении [18]. Таким образом, структура сплавов после вакцинации находится при температуре. Соответствующий к фазам $\alpha + \beta$, требует фаз $\alpha + \beta$ (ω). Температура выше ω (рис. 1.2.) В-фазы меньше, чем SC и мартенсит-трансформация управляется полностью или частично за счет ускоренного охлаждения. Структура сплавов по $\alpha + \alpha' + \beta(\omega)$ и $\alpha + \alpha'$ и $\alpha + \alpha'$ (рис. 1.2).

Между древними процессами I был до сплавов, где α -терминал и мыс: родился от остальной β -уровень, который был разрушен при матовой скорости фазы α , чтобы заложить низкий. Ω -фазовую мощность, которая не может использоваться из-за высокой хрупкости сплавов. Чтобы избежать хрупкости ω это выше, чем старше проблемы должны быть использованы: 450-600 °C [18].

Этот металлургический порошок, редко используется в большинстве титановых сплавов. Этот небольшой титановый сплав у которого прочность на растяжение (K1C) и крепежная часть перфорации. из-за β -эффект сложна при легирующих элементов(W9, WTZ, W22), и в связи с применением регулируемых холодильных скорость фильтрации(WTZ-1, W9 20. C/Секунд).

Структура высокая производительность для "мягкой обработки", что уменьшает его до тепла в диапазоне $\alpha + \beta$. Охлаждение до 700 до 600 C происходит с последующим воздушным или водяным охлаждением. После него в диапазоне температур 450-500. C после обработки частиц α' . β -фазы вместо зарегистрированной формы имеет лунную форму, которая повышает надежность компонентов.

Помощь сплавов с анти разными свойствами и химической обработкой в фрикционных единицах [9]. Для повышения износостойкости титановых нитратов проводят на уровне температур от 850-950. С в течении 30-60 часов в атмосфере азота.

По толщине диффузионного слоя из титановых сплавов при температуре 950 °С в течение 30 ч составляет 0,05-0,15 мм., после HV750-900.

1.8 Структура и свойства титановых сплавов

Периодическую таблицу титановых элементов Д. И. Менделеева можно найти в IV группе 4 периода. В наиболее важных и стабильных соединениях металл является четырехвалентным. Похоже, что титановая сталь как временная организация, этот металл тает при относительно высокой температуре (4 связанных авторских прав и кипит при 3300°С. скрытое тепло от плавления и испарения ночи, стали почти в два раза

Два аллотропных условия Титана неизвестны (два типа титана с таким химическим составом, но разные, и структура характеристик). Низкотемпературная процедура будет 882,5°С и высокая температура другой редактирует сделать стабилизированное от 882,5°С.

Плотность титана, и определить его тепло в качестве подарка между двумя основными строительными материалами, алюминия и железа. стоит также отметить, что прочность работающей машины в два раза выше, чем у чистого железа, почти в шесть раз выше, чем у алюминия, но титан, активно поглощает кислород, азот и водород, что резко снижает пластические свойства металла с образованием углерода, титана, огнеупорных карбидов высокой твердости [19].

Теплопроводность ниже, что в 13 раз меньше теплопроводности алюминия, затем в 4 раза выше, чем коэффициент теплового расширения при

комнатной температуре относительно небольшой, что увеличивает температуру.

Открытый модуль может запоминать важную анизотропию. Открытый модуль отличается способностью материала под углом, когда приложено напряжение. Анизотропия – это разница между эластичной и пластичной частями: свойства ее зависят от направления силового действия. Когда температура наконец -350°C – модуль сдвига снимает почти как прямая линия. После того, как значение титановых оболочек открытого модуля являются основным недостатком, так как в некоторых случаях требуется большое сечение продуктов, по сравнению с теми, в соответствии с условиями прочности, чтобы удалить, что достаточно жестким.

Титан имеет достаточно высокое электрическое сопротивление, которое находится между $42 \cdot 10^{-8}$ и $80 \cdot 10^{-6}$ ом*см в зависимости от содержания загрязнения. При более низкой температуре $0,45\text{K}$ он становится сверхпроводником.

Титан является парамагнитный Железный аппарат имея магнитную чувствительность парамагнитных материалов, в целом, новый эпизод показывает тепло. Магнитная чувствительность обозначает взаимосвязь между намагничиванием материала и магнитным полем материала. Исключением титана из правила является чувствительность к повышению температуры.

Механические свойства титана в значительной степени зависят от содержания металлических примесей. При введении есть примеси-кислород, азот, углерод, водород и замена примесей, включая железо и кремния. Хотя примеси повышают прочность, но в то же время значительно уменьшают пластичность, тем сильнее негативный эффект является введение примесей, особенно газа. Введением только $0,003\%$ азота, $0,02\%$ Н или $0,7\%$ над титаном полно теряет способность деформировать пластик и ломает хрупкие части образца.

Водород особенно вреден, он приводит к охрупчиванию материала из титановых сплавов. Водород поступает в металл с дополнительными операциями литья и обработки, особенно при фрезеровании заготовок. Водород нерастворим в титане, но он образует гибридные частицы, снижающие вязкость, и имеет особенно отрицательные свойства при отложенных манипуляциях [20].

Поэтому содержание примесей титана и титановых сплавов, особенно в газах, строго ограничено.

Промышленный процесс получения титана заключается в обогащении титановой руды и хлорировании с последующим его извлечением из тетрахлорированного титана металлическим магнием (магнийевый термический метод). По данному способу получают титан губчатый (ГОСТ 17746-79) в зависимости от химического состава и механических свойств следующих марок: ТГ-90, ТГ-100, ТГ-110, ТГ-120, ТГ-130, ТГ-150, ТГ-Т. производят по твердости Бринелля HV, ТВ — фиксированное среднее.

Монолитная Титановая губка измельчается, прессуется и сжимается или плавится в дуговых печах в вакуумном или инертном газовом контуре.

Механические свойства титана отличаются хорошей комбинацией прочности и пластичности. Например, чисто технический Титан марки W1-0: $SV = 375-540$ МПа, $C0, 2 = 295-410$ МПа, $D 20\%$, при этом эти свойства не уступают у многих коррозионно-стойких сталей и Cr-Ni.

Высокая пластичность титана по сравнению с другими металлами, (Zn, Mg, Cd) отличается большим количеством различных свойств и полезные коэффициенты удваиваются из-за его низкой плотности $\rho=1,587$. Получается, что это связано с холодом прочности титана и его сплавов.

При повышении температуры до 250 °C прочность титана снижается почти в 2 раза. Однако термостойкие титановые сплавы имеют одинаковое удельное сопротивление в диапазоне температур от 300 до 600 °C; при температуре выше 600 °C титановые сплавы находятся под сплавами на основе железа и никеля.

Нормальный модуль упругости титана ($E = 110.25$ ГПа) - почти в 2 раза ниже, чем у железа и никеля, что затрудняет изготовление твердых структур.

Титан является одним из металлов, химически активных, но имеет высокую устойчивость к коррозии, так как его поверхность форма пассивной пленки TiO_2 более прочным, что очень сильно привязан к металлической основе, и находится в непосредственном контакте с агрессивной средой, что не является частью композиции. Пленка обычно имеет толщину 5-6 нм [21].

Для слоя оксида титана и его сплавов, любой коррозии в атмосфере, пресной и соленой воды, коррозии, кавитация к коррозии под напряжением, и химический состав не должен иметь никакого эффекта.

Производство титана и его сплавов имеет ряд технологических характеристик. Высокая химическая активность титана часовом поясе, приводит к слиянию, к слиянию и к дуговой сварки в вакууме или инертных газов.

В случае технологического и эксплуатационного нагрева, в частности выше 550-600 °C, должны быть приняты меры по защите титана от окисления и насыщения газона (Альфа-слоя).

Титан обработан с теплым давлением и удовлетворительным холодом. Легко выковать, проштамповать. Титан и его сплавы хорошо известны контактной и аргонодуговой сваркой, что обеспечивает высокую прочность и гибкость сварки. Недостатком титана является склонность к адгезии, низкая теплопроводность и плохая режущая способность из-за плохих характеристик морозостойкости.

Основной задачей титанового сплава является повышение прочности, термостойкости и коррозионной стойкости. Широко используются титановые сплавы алюминия, хрома, молибдена, ванадия, марганца, олова и других элементов. Легирующие элементы оказывают большое влияние на полиморфные превращения титана.

Металлы IVA группы периодической системы Д. И. Менделеева титан, цирконий и гафний образуют замечательную тройку химически активных

металлов. Его промышленное применение связано с развитием новых технологий: в химической и аэрокосмической промышленности, атомной энергетике и др., их химические свойства близки, что приводит к определенной трудности, отделить друг от друга, но их применение обусловлено свойствами, физические свойства которых принципиально отличаются. Титан-это легкий металл с плотностью 4,5 г / см³ [22]. Титановые сплавы имеют низкий удельный вес, что делает их незаменимыми в сочетании с высокими прочностными свойствами в аэрокосмической технике. Цирконий с малым сечением захвата тепловых нейтронов, относительно высокой температурой плавления, высокой радиационной и коррозионной стойкостью является одним из основных металлов, используемых в качестве легирующих компонентов для тепловых элементов ядерных реакторов-фитилей. Гафний имеет большое сечение поглощения нейтронов и недавно использовалась для регулирующих стержней и стержней аварийной защиты ядерных реакторов.

Все три металла имеют высокую коррозионную стойкость в различных агрессивных средах. Их коррозионная стойкость значительно выше, чем у нержавеющей сталей и находится в непосредственной близости от тантала. Поэтому все три металла успешно используются в химической технологии: морская вода и сильные окислители для Титана, сильные окислители для циркония и гафния. Кроме того, все эти металлы широко используются в качестве легирующих элементов при производстве жаропрочных сплавов специального назначения.

По данным Института геологии НАНУ, Украина обладает колоссальными запасами, а именно 20% мировых запасов титановых руд по отношению к чистому титану. Во времена СССР Украина обеспечивала 90% титансодержащих руд для нужд титановой промышленности Союза. При СССР здесь строились "Запорожский титаномагниевого комбинат ЗТМК", "Крымский Титан", "Сумыхимпром". После распада СССР "ЗТМК" простоял 5 лет, другие титановые предприятия сократили производство в несколько раз.

В результате Россия, импортировавшая титановую руду из Украины, стала крупнейшим поставщиком титана на мировой рынок. Объединение двух российских титановых компаний " ВСПМО и АВИСМА " - и масштабные инвестиции в технологии позволили наладить производство титановой губки и более дорогих изделий (титановый прокат, авиация). В настоящее время в Украине производится высококачественная Титановая губка, которая производится путем восстановления тетрахлорида титана-магния. Цирконий и гафний получают восстановление своих тетрафторидов на основе кальция. После восстановления технические металлы содержат значительное количество примесей, и требуют дополнительной переработки. Наибольшую сложность при рафинировании представляет очистка от примесей введения дар-кислорода, азота и углерода. В промышленном производстве титана, циркония и гафния и их сплавов для получения и рафинирования компактных слитков используются вакуумно-дуговые (СвДП) и электронно-лучевые (ЭЛП) связи. Результаты рафинирования титана, циркония и гафния в таблице 1 показывают, что использование электронно-лучевой плавки для рафинирования этих металлов более эффективно, чем использование других методов, например дуговой плавки [23]. Электронный пучок расплавляет поверхность расплавленного металла за счет наличия градиентов температуры, концентрации и давления, потока паров и газов металла. При определенных условиях направление потока будет либо к поверхности расплава, либо от нее. В условиях вакуумной плавки поток вещества взаимодействует с остаточными газами вакуумной среды, что приводит к образованию парогазовой фазы над поверхностью жидкого металла.

Содержание газовых примесей в титане, цирконии и гафнии после ВДП
и ЭЛП

Металл	Способ плавки	Содержание примеси, мас.%		
		Кислород	Водород	Азот
Титан	ВДП	0,068	0,0015	0,0177
	ЭЛП	0,066	0,0006	0,0066
Цирконий	ВДП	0,025	0,0010	0,0100
	ЭЛП	0,016	0,0004	0,0060
Гафний	ВДП	0,044	0,0175	0,0080
	ЭЛП	0,014	0,0013	0,0020

Процессы соударения играют большую роль в испарении металла и взаимодействии поверхности расплава с остаточными газами. Если она равна радиусу поверхности расплава, то существует область, ограниченная удельной поверхностью, где атомы металла испытывают большое количество столкновений. Эта поверхность выполняет роль источника пара вместо поверхности расплава, во-вторых, служит защитным экраном поверхности расплава от прямого взаимодействия с остаточной атмосферой вакуумной камеры. Длина свободного пробега атомов металла при температуре плавления зависит от многих факторов и может быть рассчитана по формуле

$$\lambda = \frac{kT}{4\sqrt{2}\pi pr^2} = 5,8 \times 10^{-21} \left(\frac{T}{r^2 p} \right) \quad (1.6)$$

где Т-температура; Р-давление пара металла; r-молекулярный радиус, $r = 1,33 * 10^{-8}(M/p)^{1/3}$, где М-атомная масса, ρ -плотность металла. Расчетные значения длины свободного пробега (l), а также значения упругости пара (p_{par}) при температуре плавления (t_{pl}) и скорости испарения металлов IVA-группы приведены в таблице 4 и на рисунке 1.4. Из таблицы 1.4 видно, что длины свободного хода для паров металлов сильно различаются при

температурах их расплава. Оценка давления паров металла, при котором на расстоянии от поверхности расплава $a = 20$ мм образуется "защитный" слой, показала, что необходимо, чтобы атомы паров металла претерпевали хотя бы одно столкновение, т. е. $l/a < 1$. Изменение длины свободного пробега атомов металла в зависимости от давления пара в таблице 1.4 показано на рис. 1.4, где значение давления пара на $l/A < 1$ должна быть не менее 10^{-2} мм рт.ст [24].

Реальные температуры поверхности металла при электронно-лучевой плавке зависят от многих факторов (тип металла, мощность, диаметр кристаллизатора, электронно-лучевой угол и др.) и может значительно превышать температуру плавления. В таблице 1.5 приведены максимальные значения температуры поверхности расплава при электронно-лучевой плавке, где для этой температуры задано равновесное давление пара. Из таблицы 1.5 следует, что значения паров металлов во время электронно-лучевого расплава (более 10^{-2} мм рт.ст.), который образует защитный слой.

Таблица 1.5

Величины длин свободного пробега, упругостей паров и температур плавления металлов 4 А группы

Металл	$T_{пл}, K$	$p_{пар},$ Мм рт.ст.	$\lambda, см$	$p_{пар}=10^{-2}$ мм рт.ст. при T, K
Титан	1940	$3,7 \cdot 10^{-3}$	3,6	2010
Цирконий	2125	$1,4 \cdot 10^{-5}$	857	2670
Гафний	2495	$1,0 \cdot 10^{-3}$	14,4	2670

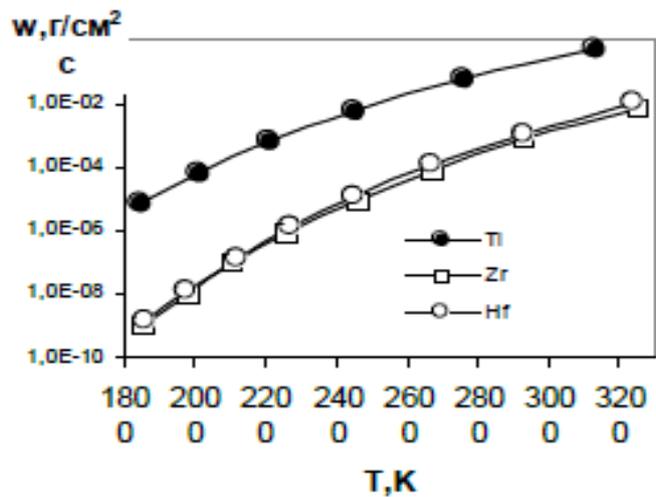


Рис.1.4 Изменение скорости испарения титана, циркония и гафния в зависимости от температуры

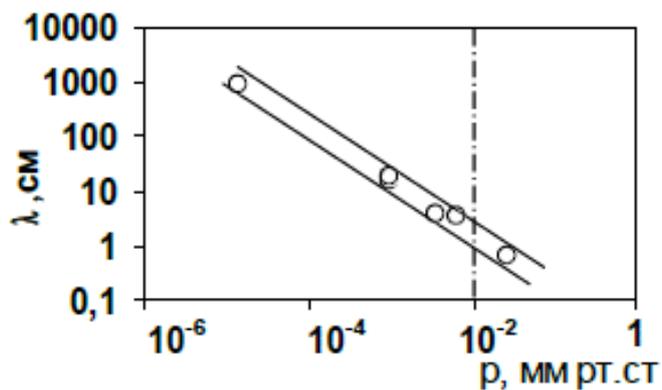


Рис. 1.5 Изменение длины свободного пробега в зависимости от давления пара

Формирование защитного слоя приводит к следующим возможностям взаимодействия металлической поверхности, паров металла и остаточных газов вакуумной камеры:

- давление активного газа в камере больше, чем равновесное давление же газов на поверхности расплава, то защитный слой будет играть роль для защиты поверхности металла от остаточной загазованности ;

– давление активного газа в камере меньше, чем равновесное давление же газов на поверхности расплава, затем защитный слой служит барьером для прохождения процесса обезуглероживания металла [25].

Таблица 1.6

Максимальное значение температуры поверхности расплава при ЭЛП металлов и равновесное давление паров при комнатной температуре

Металл	Температура расплава, К	Давление пара, мм рт.ст.
Титан	2200	$8,5 \cdot 10^{-2}$
Цирконий	2900	$8,5 \cdot 10^{-2}$
Гафний	3100	$8,0 \cdot 10^{-2}$

Плотность облака пара над жидким металлом в процессе плавки электронным пучком также играет важную роль в защите металла от проникновения газовых примесей на его поверхности. Плотность парового облака зависит от удельной производительности электронного нагрева. Зависимость скорости испарения некоторых металлов в электронно-лучевого нагрева по диаметру фокального пятна показано на рис. 1.5. Увеличение удельной мощности (уменьшение диаметра фокального пятна) увеличивает скорость испарения и усиливает защитный эффект парового облака, одновременно уменьшая выход соответствующего металла в слитки.

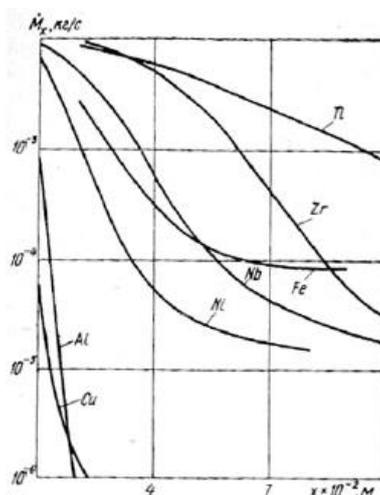


Рис.1.6 Зависимость скорости испарения некоторых металлов при электронно-лучевом нагреве от диаметра фокального пятна

Ниже приведены результаты экспериментальных исследований по рафинированию титана, циркония и гафния электронно-лучевой плавкой на сверхвысоковакуумной установке с без масляной насосной системой.

При исследовании процесса очистки титана электронно-лучевой плавкой в качестве исходных материалов использовали губку тг-90 и иодид титана. Плавку губчатого титана проводили в два этапа. В первой фазе кристаллизатора печи спали куски губчатого титана ELP, которые затем спекались и плавлись. В процессе спекания и плавления газы интенсивно удалялись из металла. Количество газовых примесей в губчатом металле было настолько высоким, что наблюдалась "пузырьковая" фаза газовыделения. Дальнейшая плавка осуществлялась классическим капельным методом с вытягиванием слитка [26]. После проведения ЭЛП получены титановые слитки чистотой > 99,99 %. Содержание примесей в металле после двух электронно-лучевых сварных швов приведено ниже:

Al- $8,0 * 10^{-5}$; P- $1,0 * 10^{-5}$; S- $8,0 * 10^{-5}$; K- $6,0 * 10^{-5}$;
Ca- $2,0 * 10^{-4}$; V- $3,0 * 10^{-4}$; Cr- $3,0 * 10^{-4}$; Mn < $9,0 * 10^{-5}$;
Fe- $1,5 * 10^{-3}$; Ni- $5,0 * 10^{-3}$; Cu- $3,0 * 10^{-4}$; Zn- $2,0 * 10^{-4}$;
As- $8,0 * 10^{-5}$; Sn < $8,0 * 10^{-4}$ МАС. % .

Следует отметить, что высокая чистота ELP титана благоприятно влияет на вакуумные условия установки за счет хороших геттерных возможностей слоев титана, нанесенных на стенки камеры испарением при ELP.

Высокочистая промышленная медь является привлекательным материалом для производства приборов измерения сверхнизкого фонового излучения. Если требуется еще более высокая чистота, дополнительная электролитическая и химическая очистка могут быть объединены с конечной фазой производства. Этот процесс приводит к получению "гальванических" медных деталей с высокой степенью чистоты. Гальванопластику меди можно проводить под землей, при этом в меди наблюдается способ элиминации продуктов космогенной активации, оказавших надземное действие [27].

Высокочистая промышленная медь является привлекательным материалом для получения сверхнизкого фонового излучения. Интенсивно низко в первичных радиоизотопах (U, Th) и не с прочными радиоизотопами, медь извлекает пользу из процесса "электролиза" используемого во время постобработки. Этот этап обработки гальванизирует материал от раствора сульфата к катодам. Большинство примесей не следуют этой электрохимической стадии, и в результате материал, известный как "электролитическая твердая смола", является довольно чистым.

Дальнейшая обработка, включая выплавку и горячую прокатку, приводит к получению меди с отличной радиоустойчивостью и привлекательными механическими, электрическими и тепловыми свойствами. Если требуется еще более высокая чистота, дополнительная электролитическая и химическая очистка могут быть объединены с заключительным этапом производства, в результате чего "гальванические" медные детали с высокой степенью чистоты. Этот процесс гальванопластики может проводиться под землей и обеспечивает возможный способ устранения продуктов космогенной активации, наблюдаемых в меди с эффектом Земли.

Электрохимическая медь создавалась как материал для отбора чистоты, так как она позволяла удалять медь-космогенные изотопы.

После первого производства гальванического пластика для спектрометров с низким фоном производство урана и тория значительно сократилось. Этот прогресс в области радиохимии был обусловлен тремя основными улучшениями.

Во-первых, чистота H_2SO_4 была улучшена путем кипячения дистилляции и сохранена после обработки без контакта с посудой.

Во-вторых, $CuSO_4$ перекристаллизовывали, тем самым повышая его чистоту.

Ионы Ba^{+} , которые обмениваются с ионами Ra в ванной комнате, были введены в химический гальванический пластик.

Для того чтобы обеспечить всестороннее представление о процессе гальванопластики, параметрах процесса гальванической ванны, приведено описание технологических элементов, а также этапов окончательной очистки и пассивации. На рис. 1.7 приведена схема гальванической установки.

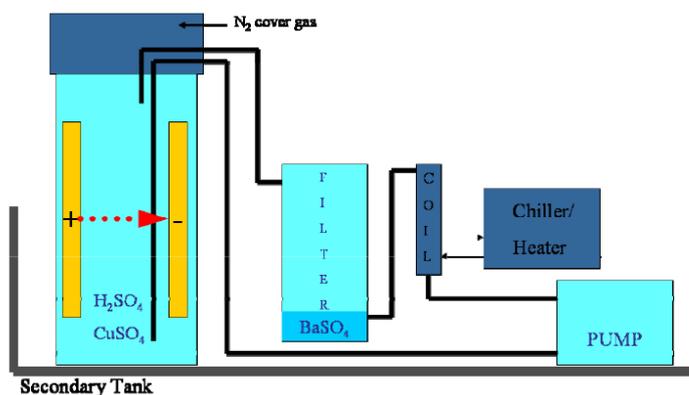


Рисунок 1.7 Принципиальная схема электроформования.

Процесс покрытия требует нескольких ключевых элементов для производства чрезвычайно чистой меди:

1. Применение полупроводниковых кислот
2. Обработка и переработка без использования стекла

3. Перекристаллизованный медный купорос для улучшения чистоты
4. Непрерывная микрофльтрация ванны для удаления оксидов и осадка
5. Непрерывное извлечение бария для удаления Радия.
6. Инертный газ в контейнерах покрытия для уменьшения образования окисей.
7. Периодическая обработка поверхности в процессе производства для минимизации роста дендритов.
8. Очистка и подготовка поверхности необходимы для обеспечения высокого качества и чистоты медных деталей. Окончательная обработка часто нежелательными фрагментами меди, затрудняющими сборку.

Кроме того, оксиды меди легко образуются на поверхности в процессе обработки продукта. Наконец, изотопы радона на хранение на поверхности и должны быть удалены для того, чтобы достичь наилучших радио-допусков готовой детали. Традиционно с сильным азотнокислым травлением. Это был очень проблематичный процесс, так как азотная кислота будет атаковать медный металл и, следовательно, критические механические допуски изменяются [28].

Электроформирование под землей позволяет избежать космогенных радионуклидов меди, обнаруженных после очистки с эффектом верхнего слоя. Поскольку подземные операции обычно требуют более детального планирования инфраструктуры, чем типичные лабораторные операции.

1.9 Влияние примесей на титановые сплавы.

Кислород и азот, которые образуются при введении титановых сплавов, таких как твердые растворы и металлические фазы, значительно уменьшить пластичность титана и вредных примесей. Азот и кислород, в пластичности титана вредных примесей углерода, железа и кремния.

Из перечисленных примесей азота, кислорода и углерода для повышения температуры аллотропные преобразования титана и железа и кремния ниже. Полученный эффект примесей выражается в том, что технический Титан подвергается аллотропному превращению при постоянной температуре (882°C), но в течение определенного температурного интервала, например, 865 – 920°C (при содержании кислорода и азота не более 0,15%) [29].

Разделение исходной губки на сорта различной твердости основано на различном содержании этих примесей. Влияние этих примесей на свойства сплавов настолько важно, что их необходимо учитывать при расчете ели для получения механических свойств в заданных пределах.

Что же касается максимальной жаропрочности и жаропрочности сплавов, то все эти примеси, помимо вероятного кремния, следует считать вредными и их содержание следует свести к минимуму. Дополнительное армирование, обеспечивающее загрязнение, абсолютно не оправдано из-за резкого снижения термостойкости, сопротивления ползучести и прочности. Чем больше должно быть сплавов и жаропрочных сплавов, тем меньше должно быть содержание примесей, образующих твердые растворы типа введения (кислород, азот) с примесями.

При рассмотрении металла как основы для производства жаропрочных сплавов необходимо учитывать увеличение химической активности этого металла под воздействием атмосферных газов и водорода. При астатической поверхности, способной поглощать водород при комнатной температуре и при 300 ° С, скорость поглощения астатического водорода очень высока. Оксидная пленка, которая всегда находится на поверхности металла, защищает металл от проникновения водорода. При затоплении изделий причину накопления водорода можно устранить с помощью вакуумной пайки металла. При температурах выше 600 °С титан сильно взаимодействует с кислородом, а выше 600 ° С-с азотом.

1.10 Применения титана

Нынешняя высокая стоимость титана в основном используется для производства военной техники, в которой стоимость играет главную роль и производительность. Они всегда находятся в гражданском обществе. Если цены на металлы и их производство будут продолжать расти, поскольку металлы увеличат использование в военных и гражданских целях.

Удельный удельный вес и прочность для сплавов и (особенно при высоких температурах) приводит к производству дорогих материалов таких как алюминий, титан в повседневной жизни и производстве. Он стал разработчиком и поставщиком для снаряжения техники, оборудования и прочих материалов. Когда температура быстро растет, теряются прочность алюминия. Опять же, потому что он имеет различные преимущества в сопротивлении при 430 °C тепла при высоких температурах и значениях аэродинамического нагрева образцов на высокой скорости. Бронзовая комфортность снята потерю веса повышающую температуру при одновременном увеличении диапазона веса и маневренности приборов самолета. Затем, когда строительная техника в Армении и сборочная станция попробовали строительные панели и детали для роста конструкции компрессора турбинного двигателя, в основном для производства титановой фольги, много оболочек. Замените титан на нержавеющую сталь и получите тепло из легированной стали, около 10 кг веса на килограмм веса тела, соревнование по раздавливанию здоровья В дополнение к этому стол используется для изготовления корпуса двигателя внутреннего сгорания. Конструкция антенны убийства, которая широко используется в условиях высоких температур Стальные плиты, используемые для производства зданий, для которых характерны и рекомендуются канаты для домов, силиконовое покрытие, канаты для направляющих, канаты из титанового сплава, подходят для применения в вибрационных трубах и защитных стенах. Титан, который все чаще используется в конструкциях F-86-B и C. В

будущем крылья шасси изготавливаются из титана, гидравлических шлангов и выхлопных труб длиной выступа, балки и опоры, а также Сталь может быть изготовлена из оружия, оружия и боеприпасов Теперь покрытие для военных применений, таких как Silicon X-3, разработчики Douglas, Ripablick F-84F, Curtiss Wright J-65 и Boeing B-52 Titanium, будет использоваться для 600-7 гражданских космических советом. Дуглас исключает место производства алюминия, стали, титана. Конфигурация межсетевое экрана пассажира за счет экономии денег в совете не тронута клиентами около 90 килограммов, тогда весовая составляющая самолета составляет 2%, что составляет около 20% от общего веса конкурентов. Использование титана для снижения веса на вертолете Металлическая плитка титана для покрытия пола, 30 кг людей из листа нержавеющей стали для покрытия его пропеллера [29]

Морские сплавы и коррозионностойкие материалы, которые будут наиболее полезны для водоемов Для коррозионной стойкости кораблей и МИДа морского заказа тоже стараюсь отработать газ, воду, нефть и морскую воду. Практически одинаковое значение во флоте, много титановых уплотнений. Мелкий металл, большие размеры и вес, коррозионная стойкость в сочетании значительно повышают маневренность и снижают расход масла, а также расходы на техническое обслуживание и ремонт материалов. В судостроении промышленность связана с производством титана, применением погружных амортизаторов, дизельного топлива, испытанием на вождение с тонким слоем обменной трубки конденсатора и нагревом. По словам экспертов титана, а также другие вещи, которые можно увидеть в жизни подводных амортизаторов. Для инструментов, соприкасающихся с солью, вода, масло и масло титана обеспечивают лучшее состояние души. Катушка используется для производства теплообменников, которые устойчивы к морской воде, а внешние ножки труб противостоят действию существующего конденсата. Будет возможно изготовить зарезервированный цех и антенну, которая будет сопротивляться сплаву,

который использовался, чтобы утверждать, что он сможет доставить. Титан имеет такие элементы, как винты, турбины и другие.

И кажется, что самая большая пушка потребителя находится в том месте, где она сейчас проводится посредством интенсивных исследований, чтобы попытаться по-другому. Но производство каждой части вселенной и ее компонентов полностью интегрировано в выход из этой области. Некоторые из них ограничены применением большого количества артиллерийского огня из-за высокой стоимости больших количеств. Различные части устройства, такие как пытки delostreleckého изучены, чтобы заменить обычные материалы, при условии снижения стоимости оружия. Основное внимание было уделено каждому значительному ущербу. (И игры, и запчасти) Титан держал не подлежит замене, особенно когда есть какие-то изменения и вместо стальной пластины комплекты золотых сережек, весом около 22 кг, весом 11 кг. Не смогу сделать зависит от количества работников. Это может быть уменьшено до двух третей. Использование из титана следует учитывать при производстве шерстяных ружей. И она бросила ведро опыта, запирая их в конструкции поперечной машины; Тенденция широко используется при производстве ракет и ракет. Первое исследование металлов и сплавов имеет шанс получить вооруженный лист. Замените стальную броню (12,7 мм) с сопротивлением боеприпасов одной рукой (толщина 16 мм). Результаты испытаний позволяют сэкономить до 25% веса. И то же самое, чтобы сделать тот факт, что вес надежды на после устранения дыма в небо, пластина 44% экономии в использовании в магнитной промышленности, чтобы быть более гибким и устойчивым. Но в случае света уровень полета, который затоптан под ногами и другими видами транспорта, основан на преимуществах их собственной жизни, которые город увеличит. [30] Штык, миномет и пулемет Первый смешивающий инструмент постепенно разворачивается, производятся поршни из некоторых видов оружия.

У поставки есть много преимуществ Бога, который находится в хорошо используемом автомобиле с мощностью бронированного автомобиля от производства частей. Буквы, найденные в строительных материалах, используемых в настоящее время в транспортных средствах компании, позволяют снизить расход топлива, увеличить водопроницаемость и увеличить срок службы деталей картера и Использование титана снижает общий вес автомобиля, снижая скорость, уменьшая размеры и натяжение двери. Много веса вокруг, вот тогда и при производстве колес и осей взвесить вопросы, которые налажены. В этой ситуации результатом этого является то, что за счет снижения скорости титана возрастают с 15 до 23 долларов титановые центы на килограмм пустого [31].

Химическая промышленность Химическое производство оборудования для коррозии металла имеет первостепенное значение. Кроме того, важно похудеть и увеличить показатели оборудования, что на предприятии очень полезно, ведь причиной является производство кислот, щелочей и неорганических солей. Кроме того, использование оборудования для производства титана используется в резервуарах, колоннах, фильтрах и всех сосудах под давлением. Сосредоточив внимание на эффективности обмена лабораторных труб, пропаривания титана и тепла Использование титана для производства резервуаров, которые хранятся под давлением для длинных трубок из мягкой воды и тяжелых стеклянных трубок, обнаружило вместо этого Microanalysis, продукт сгорания. (Как показано выше) Максимальный вес для уровней низкой плотности, уменьшая размер труб, которые можно сбалансировать с помощью критического анализа это сочетание коррозионной стойкости для улучшения прозрачности и точного химического анализа. [32]

Другие области применения Нефтяное масло в продуктах питания и электроэнергии также используется для производства дипломатии, инструментов и энергии. Обеденный стол с двумя титановыми столами из стали лучшего качества Контроль коррозии в нефтяных и газовых скважинах

очень велик, менее вероятно использование титана для замены коррозионных устройств. Рекомендованный катализатор для производства из титана по эксплуатационным и маслостойким свойствам и хорошей коррозии и высокой температуре Будет ли титан может быть в хорошем состоянии в результате электрических проводов для промышленности, в силу соответствующих элементов и принципа электрического сопротивления немагнитных свойств, различные отрасли программного обеспечения начинают быть частичными группа Дальнейшее расширение инструментов, используемых для дипломатического производства, часто вызвано коррозионной стойкостью. В этом смысле различные органы устройства, тела лучше, чем традиционные навыки и лечение снова. В титановых сплавах и отсутствие физических упражнений Появление солнца дома не допускается. Зафиксируйте винты в серебряных костях на несколько месяцев, а кости животных прорежут отверстия для прорастания. Преимущества использования титановых пластин, которые образованы мышечной тканью [33]

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Титан со сверхнизким содержанием радиоактивных элементов также может быть получен на промышленном уровне. Произведенный Титан может стать новым низкофоновым структурным материалом для передовых детекторов темной материи и других низкофоновых экспериментов.

Интерес к производству титана с низким содержанием радиоактивных элементов не ограничивается фундаментальной физикой частиц. Производство тугоплавких металлов высокой чистоты является одной из основных научных задач физики твердого тела и металлургии высокой чистоты. Титановые сплавы являются одними из основных конструкционных материалов, используемых в настоящее время в различных отраслях промышленности.

В качестве материала для исследования был выбран материал из титана. Главной задачей являлось изучение и получение ультранизкофонового титана высокой чистоты, т.е. без внесения радиационных загрязнений. Проблемой при изучении ультранизкофонового титана является необходимость максимально снизить температуруковки, для получения наименьшего количества примесей урана и тория. А также для исследования использовали кованный чистый титан после деформации 5,10,15%. Химический состав представлен в таблице 4. Материал соответствовал спецификации по ГОСТ 17746-96.

Целью данной работы является

- Исследование механических свойств ультранизкофонового титана после различных температурных режимовковки и изменение микроструктуры после механико-термической обработки.
- Исследование структуры титана после деформации 5,10,15 %
- Исследования структуры деформированного титана после отжига 700 °С

Задачами являлось

- Провести механические испытания
- Определить влияниековки на структуру и механические свойства ультранизкофонового титана после различных температурных режимов
- Изучить макро- и микроструктуру титановых слитков послековки при $T=700, 800, 900\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Изучить изменение макротвердости слитков после всестороннейковки в интервале температур $700-900\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- Изучить структуру титана после деформации 5,10,15 %
- Изучить структуру деформированного чистого титана после отжига $700\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Определить влияние отжига на структуру и механические свойства чистого титана

ГЛАВА 2. МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКИ ИССЛЕДОВАНИЯ

2.1 Материал исследования и методика изготовления экспериментальных образцов сплавов

В качестве исходного материала использовали экспериментальные образцы по 25кг из чистого титана. Химический состав представлен в таблице 4. Материал соответствовал спецификации по ГОСТ 17746-96. А также для исследования использовали кованный чистый титан после деформации 5,10,15%. Химический состав представлен в таблице 4. Материал соответствовал спецификации по ГОСТ 17746-96.

Таблица 2.1

Обозначение и номинальный состав сплавов в ат.%

Химический состав

Ti, ат.%	Fe, ат.%	Cl, ат.%	N, ат.%	O, ат.%	Si, ат.%	Ni, ат.%	C, ат.%
>=99.56	0.010	0.093	0.007	0.032	0.003	0.011	0.004

2.2 Методика проведенияковки.

Была проведена всесторонняяковка трех выплавленных экспериментальных цилиндрических слитков диаметром 150 мм по 25кг из титановой губки на ковочном прессе при T=700, 800 и 900°C в течение 7 часов с нагрузкой в 4 тонны и последующим охлаждением на воздухе. После чего диаметр слитков стал 80 мм.

Также для исследования была проведена всесторонняяковка выплавленного экспериментального образца размером 100*100 мм из чистого титана на ковочном прессе при комнатной температуре 25°C в течение 5 часов с нагрузкой в 4 тонны и последующим охлаждением на воздухе. После чего размер стал 25*25 мм.

2.3 Методика подготовки образцов для металлографического исследования

Обязательным условием для всех исследований металлов является получение тонких срезов, которые могут быть использованы для микроскопического исследования с помощью светового и электронного микроскопов, для определения микрометров и для количественного определения структурных компонентов и электронов высокой твердости EDX. Правильный продукт подсвечивается очень важно, потому что это зависит от правильной интерпретации микроструктур.

Подготовка поверхности образцов осуществлялась шлифованием и последующей полировкой. Шлифование осуществляется на плоском основании или вращается по кругу, на поверхности которого, подобно куску бумаги или неподвижному фиксирующему кольцу. Чтобы получить качественный шлиф, необходимо постоянно менять одну шкурку на другую во время шлифовки и т.д. при переходе на мелкозернистую бумагу необходимо изменить направление обработки поверхности на 90° . Абсолютно не допускается переход от грубой шкурки к более тонкой, так как жесткие мазки от предварительной обработки забиваются мелким абразивом и металлическим порошком, создавая ложное впечатление хорошего шлифа. Для равномерного износа бумаги и однонаправленного разъединения шлифовальный круг должен медленно перемещаться между центром и периферией вращающегося диска.

После шлифования поверхность образца должна быть отполирована, что должно исключить оставшиеся риски воздействия абразивных частиц. Полировка тонкой детали осуществляется для устранения неровностей существующей поверхности без деформации металла. Полировка шлака может осуществляться механическим, электролитическим или химическим методами. Механическая полировка осуществляется на специальном оборудовании станка, где подошва покрыта войлоком, тканью или бархатом

или вручную. Сплавы, структура которых легко окрашивается пятнами, рекомендуется полировать на безворсовых тканях, таких как войлок. Полировальный диск увлажняют жидкостью, в которой взвешены очень мелкие металлические частицы полировальной пыли: оксид хрома, оксид алюминия, оксид железа или другие соединения. Можно использовать ил для полировки пыли и органических жидкостей (спирт, газы, глицерин).

Полирование образцов проводили с использованием полировальных дисков, суспензии ДП размером абразивных частиц 20 мкм и коллоидной Кремниевой суспензии ОП-с размером абразивных частиц 20 мкм. Таким образом, на поверхности всех образцов готовились измерительные микрометры, электронные микроскопы для исследования металлов.

В некоторых случаях, когда ручная полировка не дает удовлетворительных результатов (очень мягкие металлы и сплавы) или не может быть нанесена из-за упрочнения поверхностного слоя, ее выполняют жидкостной или химической полировкой.

Отполированный образец следует в первую очередь исследовать под микроскопом. Изучение необработанных объектов позволяет определить наличие дефектов (пор, трещин и др.). поверхность полированного образца необходимо промыть, обезжирить и высушить. Для обезжиривания этила (C_2H_5OH), спирта метилового (CH_3OH), этилового эфира ($C_4H_{10}O$), ацетона (C_3H_6O). В некоторых случаях образцы промывают той же жидкостью, что и обезжиренные, но чаще водой (из-под крана или дистиллированной). После полоскания образец протирают бумажным полотенцем или оставляют на воздухе.

Большинство методов обнаружения микроструктуры сводятся к определению границ между фазами, обеспечивающих рельеф на поверхности зерен и фазовых точек или структурных составляющих. Можно определить качественную разницу в фазах, в неделю производится формирование, структура и отчетность зерновых единиц относительно плана и происходящей ориентации зерна.

2.4 Травление титана

Существует три способа травления: химическое, электрохимическое и ионное. В данной работе мы использовали способ химического травления. Химическое травление заключается в обработке поверхности металла подложки в травильном растворе соответствующей концентрации в течении определенного времени и при определенной температуре. Химическое травление производится многократным погружением металла в травильную смесь с последующей промывкой в воде. Может происходить как в жидкой среде – в водных и безводных растворах, расплавах солей и металлов, так и в газовой. Единственное условие, которое должно соблюдаться – достаточная легкость образования и удаления с поверхности продуктов взаимодействия. Химическая обработка заключается в направленном и контролируемом разрушении окисной пленки и металла под действие травильных растворов. Травильные растворы могут быть кислотные или щелочные, так же применяется комбинированный метод.

2.5 Измерение макротвердости

Для оценки свойств небольших количеств или даже отдельных структурных компонентов крупы разработан метод определения твердости материала для испытания на долговечность, который проникает на относительно большую глубину в зависимости от величины приложенной нагрузки и свойств металла. Выбор формы и размера верхней части и объем нагрузки зависит от цели исследования, структуры, ожидаемых свойств, состояния поверхности и размеров испытываемого образца.

Макротвердость измеряется для определения твердости отдельных зерен, фаз и структурных составляющих сплава, а также свойства очень мелких деталей. При этом объем металла, деформируемого инжекцией, должен быть меньше объема (поверхности) измеряемого зерна. Состояние

поверхности испытуемого материала оказывает существенное влияние на результаты испытаний на твердость. Если поверхность неровная-кривая или выпуклость, отдельные участки сопротивляются давлению и деформации в различной степени, что приводит к погрешностям измерения. При печати наносится незначительная нагрузка, поверхность должна быть тщательно подготовлена.

При измерении макротвердости следует регулировать горизонтальное положение, а при измерении микротвердости, глянецовую поверхность (в этом случае нельзя допускать наклеивания песчинок и прочего мусора на поверхностный слой). Измеряемая площадь устанавливается горизонтально, т. е. на горизонтальной поверхности, перпендикулярно к действию прессованного тела. Противоположная сторона образца защищена потому что когда образец заполнен это ухудшает результаты теста.

В данной работе твердость измеряется по методу Бринелля, этот метод используется для определения твердости металлов и полимерных материалов. Макротвердость была измерена на полутвердом Volpertvilsoninstrumentstm инструменте в соответствии с ГОСТ 9450-76. Измерения производятся с фиксированным шариком. Образец помещается на подвижный столик в нижней части стойки держателя, отполированной стороной вверх. Поверните маховик вручную по часовой стрелке, стол поднимается до упора. Нажмите кнопку и включите счетчик. Под действием нагрузки шарик прижимается к образцу. Нагрузка действует в течение определенного времени, в зависимости от твердости материала, после чего вал двигателя, вращаясь назад, перемещает рычаг и сбрасывает давление. Когда двигатель автоматически выключится, поверните маховик против часовой стрелки, опустите стол и снимите образец. Испытательным полем образца остается давление (отверстие). Измерения проводились в двух направлениях, перпендикулярных друг другу. Индекс твердости-среднее из полученных значений. Во время испытаний нагрузка и время выдержки не превышали 588н и 5сек.

2.6 Сканирующая Электронная микроскопия

Микроструктуру образцов изучали с помощью электронного микроскопа СЭМ. Образцы регистрировали в режиме заднего электронного дисплея с помощью электронного микроскопа Quanta 600 и Quanta 200 с пультом edax analysis console. Напряжение ускорения на момент записи составляло 20 кэВ. Исследование проводится в двух режимах: во вторичном электронном режиме (when, secondary electrons) и в обратном рассеянном электронном режиме (BSE, backscatter electrons).

2.7 Определение размера зерен и частиц по методу случайной секущей

Для определения среднего размера зерна / структурных элементов использовался метод подсчета пересечений границ / структурных элементов, состоящий из подсчета зерна / структурных элементов, пересекающих плоский сегмент, и определения среднего номинального диаметра.

Для определения среднего размера зерна / структурных элементов на изображениях, полученных электронными микроскопами Slav, рисуются вертикальные и горизонтальные линии. Вы подсчитали количество пересечений границы зернами / столбами с линиями трубопроводов. На основании полученных результатов рассчитывают средний размер зерен / структурных элементов по формуле (2.1):

$$D_{cp} = L / N, \quad (2.1)$$

где L-длина линии резания (мм); N-количество пересечений зерна с линией пересечения.

2.8 Техника безопасности на рабочем месте

Целью охраны труда на предприятиях является снижение и ликвидация производственного травматизма и профессиональных заболеваний путем принятия мер, включающих систему законодательных, нормативно-правовых, организационно-технических документов, а также лечебно-профилактических методов и средств охраны труда и способностей человека.

Безопасность и охрана-комплекс мер, направленных на обеспечение здоровья работников на рабочем месте в рабочее время при исполнении своих функций при работе с оборудованием. Работать в лаборатории следует в одежде, защищающей одежду и кожу от попадания и коррозии реагентов. Рабочее место должно храниться, не перегружайте его посудой и побочными эффектами. Студенты не допускаются к работе в лаборатории без присутствия преподавателей или рабочих, а также в неопубликованное время без разрешения преподавателя. В случае выхода из строя прибора (например, освещения в микроскоп), необходимо проконсультироваться с преподавателем. Категорически запрещается самостоятельно ремонтировать устройство.

ГЛАВА 3. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

3.1 Исследование микроструктуры титана

В качестве исходного материала использовали экспериментальные слитки по 25кг из чистого титана, кованный ультранизкофоноый титан после вакуумного дугового переплава. Химический состав титановой губки представлен в таблице 4. Материал соответствовал спецификации по ГОСТ 17746-96.

Слитки изготовлены для определения режимовковки ультранизкофонового титана с минимальным загрязнением урана и тория. Слиткам были присвоены номера 17044, 17045, 17046. Далее была проведенаковка слитков при температурах: 900°С слиток №17044; 800°С слиток №17045; 700°С слиток №17046. После чего был проведен отбор образцов №17044, №17045, №17046. Для дальнейшего изучения, образцы слитков вырезались из центральной части и края, для анализа состояния структуры после деформации.

Структура и термическая обработка существенно влияют на механические свойства титана высокой чистоты. Отжиг в α -области наряду с ростом ячменя приводит к увеличению относительного удлинения, относительного сжатия одновременно с незначительным снижением твердости, прочности на растяжение и предела текучести.

Предел прочности титана можно повысить введением примесей до уровня соответствующего пределу прочности не легированной стали. Высокое содержание примесей, особенно кислорода, служило причиной того, что до 1925г. титан считался не деформированным металлом в холодном состоянии. Только сведения о влиянии примесей на механические свойства дают возможность надежно управлять технологическими свойствами титана.

Для исследования структуры использовались кованные образцы отожжённые при различных температурных режимах 1)700°C, 2) 800°C и 3)900°C.

На рисунке 3.1 представлены макро- и микроструктуры отожженного сплава при различных режимах в диапазоне температур от 700 - 900°C. На рисунке 3.1 а), представлена структура титанового слитка №17046, виден макро -и микрорельеф, сплав однофазный, структура при ковке неоднородно-деформирована. При 700°C средний размер зерен ~ 23,46 мкм, средний размер частиц ~ 1,91 мкм (таблица 3.1). С ростом температуры при 800 и 900°C (титановые слитки №17045и №17044) мы видим уменьшение размера зерна 18,87 мкм и 13,53 мкм, а также частиц, 1 мкм и 1,26 мкм соответственно. а также можно заметить выделение черных частиц, которые имеют идентичный химический состав Уменьшение размера частиц и зерен связано с уменьшением загрязнения исследуемого материала ураном и торием при ковке. С ростом температуры структура слитков становится более однородной.



а)



б)



в)

Рис. 3.1 Макро и микроструктура титановых слитков после ковки + отжиг при температуре: а) 700°C (№17046), б) 800°C (№17045), в) 900°C (№17044)

Таблица 3.1

Размер зерен и частиц

	№17046 – режим 1 T=700 °C	№17045 – режим 2 T=800 °C	№17044 – режим 3 T=900 °C
Средний размер частиц	1,9± 0,9мкм	1± 0,4мкм	1,3± 0,5мкм
Средний размер зерен	23,5± 9,7 мкм	18,9± 5,7 мкм	13,5 ± 4,3 мкм

Анализ структуры слитков 17046,17045 и 17044 прошедших горячую ковку показал, что измельчение структуры происходит не равномерно по всей толщине слитка и не одинаково при разных температурных режимах.

3.2 Механические свойства

Механические свойства титана сильно зависят от наличия примесей, особенно урана и тория. Небольшое количество кислорода, азота, и углерода обладают высокой растворимостью в α -титане и поэтому могут в наибольшей степени повысить предел прочности и уменьшить пластичность. Поэтому содержание этих примесей в титане ограничено тысячными долями процента. Аналогичным образом, но и в меньшей степени, влияют на его свойства железо и кремний, образующие с титаном твердый раствор замещения, однако при содержании железа <0,5% его влияние на механические свойства слабее, чем влияние азота и кислорода.

Из рисунка 3.1 видно, что в слитке №17044 деформация распределена равномерно, нет видимых концентраторов напряжений. В слитках №17045 и №17046 наблюдается ярко выраженная неравномерность деформирования, причем в слитке №17046 это заметно сильнее.

Была измерена макротвердость данных образцов при различных температурных режимах. Исходное значение макротвердости титановых слитков составило 55 HRB. Из таблицы 7 видно, что с повышением температуры, при режиме 3, сплав имеет минимальную макротвердость равную 55,19 HRB. При температурном режиме 1 значение макротвердости максимальное и составляет 73,02 HRB. А макротвердость после режима 2 составляет 65,06HRB. Можно заметить, что при повышении температуры кованных слитков макротвердость приближается к исходному значению.

Таблица 3.2

Полученные данные по макротвердости (HRB)

	№17046 – 700 °С	№17045 –800 °С	№17044 – 900 °С
Среднее значение	73,02HRB	65,06 HRB	55,19 HRB
Стандартное отклонение	1,85HRB	1,54HRB	1,08HRB

3.3 Титановые образцы полученные методом литья

Так же для исследования были взяты образцы титана VT1.0 они были получены методом литья и подвержены механической обработке. Образцам были присвоены номера, образец 17037033 обозначили как 1D, образец 17037028 обозначили как 2D.

Была проведена деформация методом прессования с боковой стороны. Перед каждым сжатием образца производился замер исходного диаметра, а после деформации – конечного диаметра. Результаты замеров занесены в таблицу 1 и 2. По полученным данным диаметров была рассчитана относительная деформация в процентах и суммарная деформация.

Формула для расчета деформации 1:

$$\varepsilon_i = \ln \frac{D_{\text{конеч}}}{D_{\text{исх}}} \quad (3.1)$$

Формула для расчета суммы общей деформации 2:

$$\varepsilon_{\text{общ}} = \sum_{i=1}^n \varepsilon_i \quad (3.2)$$

Таблица 3.3

Данные о размерах и деформации образца 1D

Номер замера	Начальный диаметр, мм	Конечный диаметр, мм	Деформация, %
Среднее значение	64,52	64,12	-0,62

Таблица 3.4

Данные о размерах и деформации образца 2D

Номер замера	Начальный диаметр, мм	Конечный диаметр, мм	Деформация, %
Среднее значение	65,14	64,84	-0,46

После деформации на образцах была замерена твердость по Роквеллу HRF на боковой (цилиндрической) и торцевой (плоской) поверхности. Данные по твердости занесены в таблицу 3 и 4.

Исходная твердость до деформации равна 83 HRF у обоих образцов.

Таблица 3.5

Данные о твердости образца 1D

Номер замера	Твердость HRF	
	Боковая сторона	Торцевая сторона
Среднее значение	88,8	87,78

Таблица 3.6

Данные о твердости образца 2D

Номер замера	Твердость HRF	
	Боковая сторона	Торцевая сторона

Среднее значение	92	91,48
------------------	----	-------

3.4 Исследование микроструктуры титана

В качестве исходного материала использовали кованный чистый титан после деформации 5,10,15%. Химический состав представлен в таблице 4. Материал соответствовал спецификации по ГОСТ 17746-96.

Образец изготовлен для исследования структуры титана после деформации 5,10,15 % а также для исследования структуры деформированного титана после отжига 700 °С

В ходе исследования была проведена ковка при комнатной температуре. Для дальнейшего изучения, образец подвергался механическим обработкам для анализа состояния структуры после деформации 5,10,15%.

Титан успешно поддается ковке в открытых штампах на таком же оборудовании, которое применяется дляковки стальных изделий, но при более высоких рабочих давлениях и более низких значениях температуры. Ковка титана при более низких значениях температуры приводит к увеличению чистоты поверхности и предотвращению чрезмерного роста зерна, чем обеспечивается высокая пластичность кованого изделия. Более низкие температуры, естественно, требуют применения и более высоких значений давления для необходимой деформации металла.

Предел прочности титана можно повысить введением примесей до уровня соответствующего пределу прочности не легированной стали. Высокое содержание примесей, особенно кислорода, служило причиной того, что до 1925г. титан считался не деформированным металлом в холодном состоянии. Только сведения о влиянии примесей на механические свойства дают возможность надежно управлять технологическими свойствами титана.

Титан, как и металл, обладает важнейшими свойствами с точки зрения своих уникальных физико-химических свойств: высокой прочностью, низкой

плотностью, твердостью и др. Для исследования структуры использовался кованный образец отожжённый при 700°C .

На рисунках представлена эволюция структуры кованного титана.

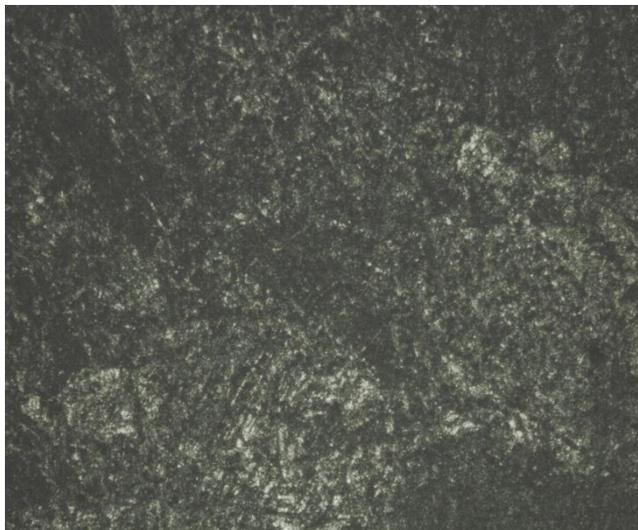


Рис 3.2 Титан после первой деформации (5%)

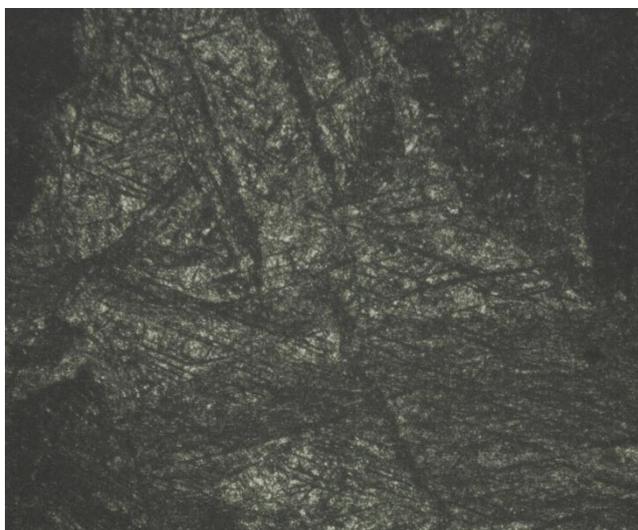


Рис. 3.3 Титан после второй деформации (10%)



Рис. 3.4 Титан после третьей деформации (10%)

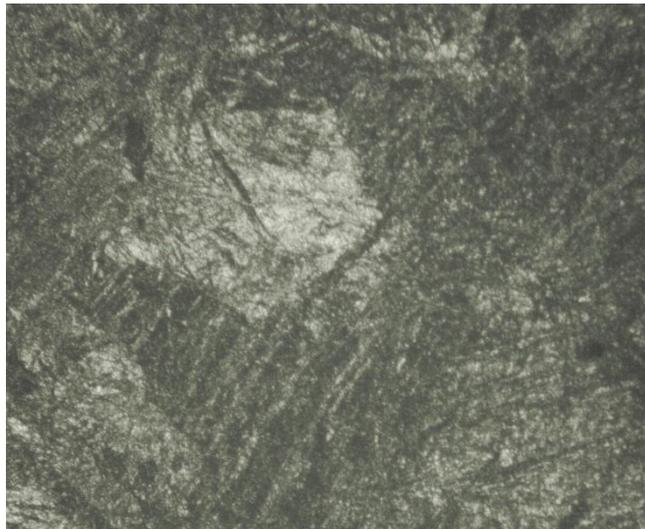


Рис. 3.5 Титан после четвертой деформации (10%)

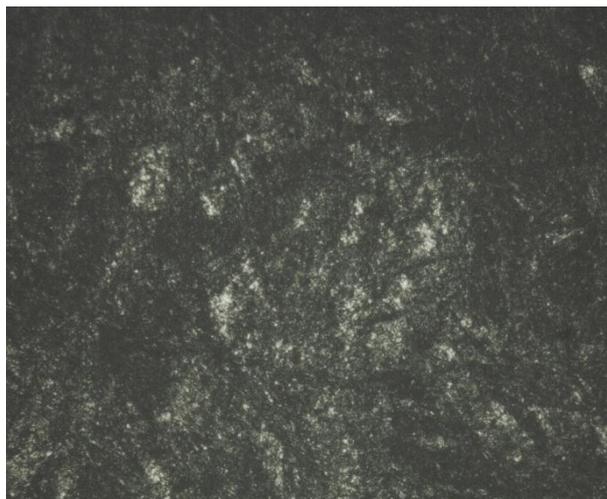


Рис. 3.6 Титан после пятой деформации (15%)

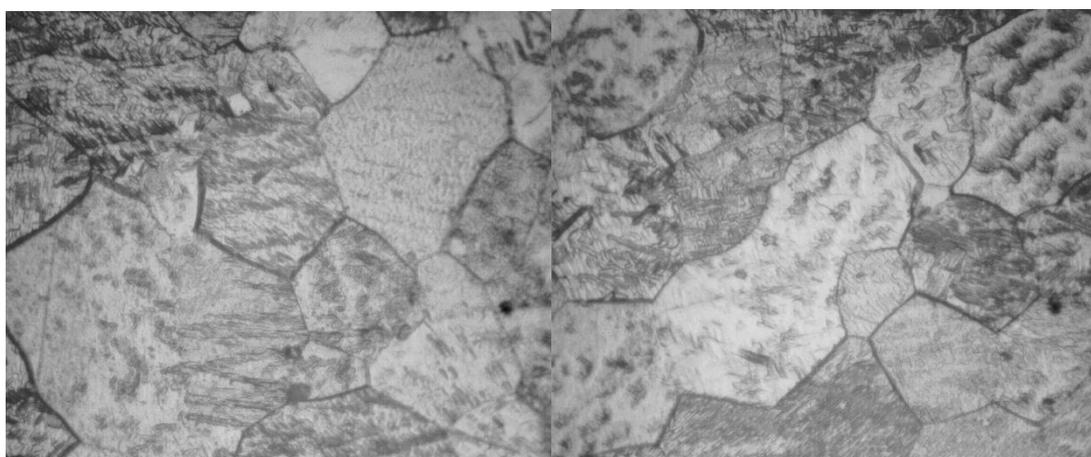
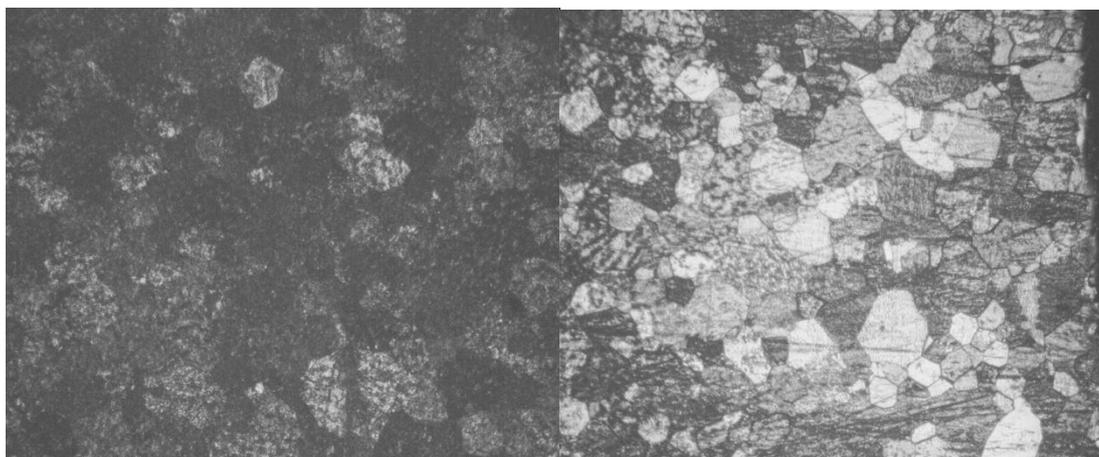


Рис. 3.7 Титан после термообработки (700°C)

Микроструктура отожженного образца при температуре 700°C крупнозернистая, сплав однофазный, структура при ковке неоднородно-деформирована. При 700 °C средний размер зерен ~150 мкм.

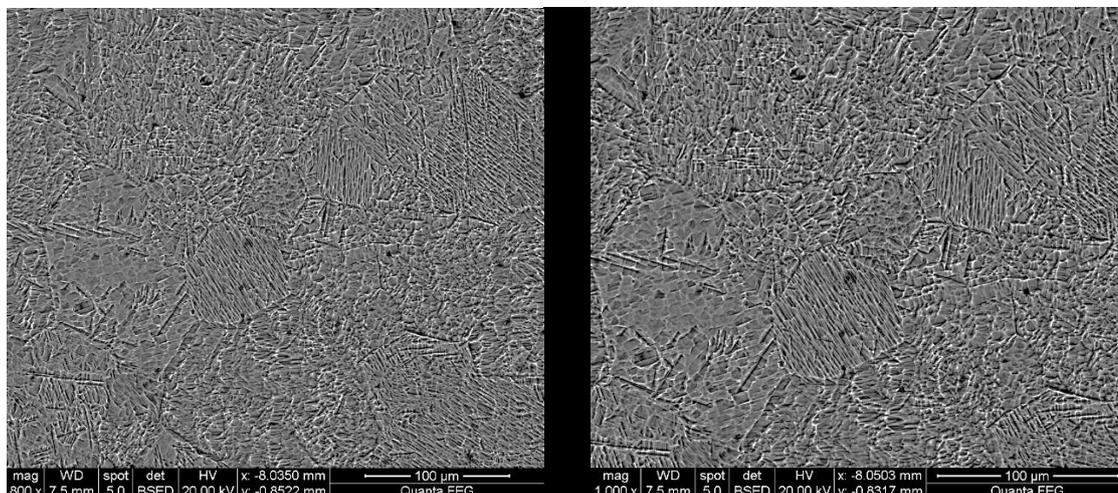


Рис. 3.8 Микроструктура отожжённого сплава при 700 °C

Анализ структуры образца прошедшего ковку плюс дополнительный отжиг показал, что измельчение структуры происходит не равномерно по всей толщине слитка и не одинаково при ковке в комнатной температуры, а также при дополнительном отжиге.

Из рисунка 3.8 видно, что деформация распределена равномерно, нет видимых концентраторов напряжений. Исходное значение макротвердости титановых слитков составило 73HRB.

ВЫВОДЫ

В настоящей работе была исследована структура и механические свойства титановых слитков. Была изучена макро- и микроструктура титановых слитков послековки при разных температурных режимах 700, 800, 900 °С. На основе полученных данных могут быть сделаны следующие выводы:

1. С увеличением температурыковки, средний размер зерен при 700 °С составил 23,46 и частиц 1,91 мкм. При температурах 800 и 900 °С произошло уменьшение размера зерен и частиц. При 800 °С размер зерен составил 18,87 мкм, размер частиц 1 мкм, и при 900 °С размер зерен и частиц составил 13,53 мкм и 1,26 мкм, соответственно. Это связано с тем, что при уменьшении температурыковки, уменьшается загрязнение материала торием и ураном. Также можно заметить, что с ростом температуры структура слитков становится более однородной.
2. Исходное значение макротвердости титановых слитков составило 55 HRB. Послековки + отжиг с повышением температур от 700 - 900 °С макротвердость при режиме 3 имеет минимальную равную 55,19 HRB. При температурном режиме 1 значение макротвердости максимальное и составляет 73,02 HRB. А макротвердость после режима 2 составляет 65,06 HRB. Можно заметить, что при повышении температурыкованных слитков макротвердость приближается к исходному значению.
3. Для дальнейшего анализа требуется провести дополнительные исследования микро и микроструктуры, в частности провести дополнительный отжиг для снятия внутренних напряжений.
4. Так же для исследования были взяты образцы титана VT1.0 они были получены методом литья и подвержены механической обработке. Была проведена деформация методом прессования с боковой стороны. Исходная твердость до деформации равна 83 HRF у обоих образцов.

5. Послековки при комнатной температуре и дополнительного отжига 700 °С средний размер зерен составил 150 мкм, можно заметить, что с учетом дополнительного отжига структура становится более однородной.
6. Послековки + отжиг макротвердость составляет 73HRB.
7. Для дальнейшего анализа требуется провести дополнительные исследования микро и макроструктуры, в частности провести дополнительный отжиг при более высоких температурах для снятия внутренних напряжений.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Kiseleva T. T. et al. The use of a low-background underground laboratory in activation analysis of pure substances and radiometry low activity naturally radioactive // Journal of Analytical Chemistry (Russia). - 1994. - Vol. 49. - No. 1. - P. 12 - 17.
2. Laboratory of Environmental Radioactivity «LRK-1 MPhI» of Moscow Engineering Physics Institute. Environment samples radioactivity investigation multi-detector low-background gamma-spectrometry // <http://www.radiation.ru/eng/project/laborat.htm>.
3. ORTEC. Low-Background Germanium Gamma-Ray Detectors // <http://www.ortec-online.com/download/Low-Background.pdf>.
4. CAEN. Application Note AN2506. Digital Gamma Neutron discrimination with Liquid Scintillators // <http://www.caen.it>.
5. Brodzinski, et al., Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, 193 (1) 1995 pp. 61-70.
6. Brown, M. P., and Austin, K., Appl. Phys. Letters 65, 2503-2504 (1994).
7. M. Laubenstein, et al., Applied Radiation and Isotopes, 61 (2004) 167-172.176
8. Alenkov V et al 2015 Technical Design Report for the AMoRE Decay Search Experiment Preprint arXiv:1512.05957v1 [physics.ins-det]
9. Kim S C et al 2012 Physics Review Letters 108 181301
10. Колачев Б.А., Ливанов В.А., Елагин В.И. Металловедение и термическая обработка цветных металлов и сплавов. М.: Металлургия, 1972. 480 с.
11. Belli P et al 2011 Preprint arXiv:1103.5359v1 [nucl-ex]
12. Материаловедение / Ю.М. Лахтин, В.П. Леонтьева. – М.: Машиностроение. 1980. – 493 с.
13. Ponkratenko O A et al 2000 Phys. At. Nucl. 1282 63; V.I. Tretyak XIV International Conference on Topics in Astroparticle and Underground Physics (TAUP 2015) IOP Publishing Journal of Physics: Conference Series 718(2016) 062050 doi:10.1088/1742-6596/718/6/0620505

14. Кондратий Н.П., Васюра В.Н. Перспективные направления деятельности ООО «КБВМО» в области электронно-лучевой металлургии.//Титан.-2006, №1(18), с.29-30.
15. Костенко В.И., Пап П.А., Калинюк А.Н., Ковальчук Д.В., Кондратий Н.П.,Чернявский В.Б.// Современная Электрометаллургия.-2007, №3 (88), с.24-25.
16. Xiaojun Wang, Zhanqian Chen, Feng Chen, Wei Zou, Jing Jiang, Qi Gao. “The Electron Beam Cold Hearth Melting Technology”: Proc. Of the 11th World Conf. on Titanium, Kyoto, Japan, 3-7 June 2007. - Vol.1 – pp. 185-188.
17. Тихоновский А.Л., Тур А.А., Туник А.В. Электронно-лучевой переплав губчатого титана–новый метод производства титановых сплавов и слябов.//Проблемы Специальной Электрометаллургии.-1993, №10 (1), с.66-70.
18. Тихоновский А.Л., Лашук Н.К., Тур А.А., Туник А.В., Гейко И.К. Электронно-лучевая плавка губчатого титана с использованием пушек высоковольтного тлеющего разряда.//Проблемы Специальной Электрометаллургии.-1993, №10 (1),с.66-70.
19. Х.Р.Смит, Ч.А.Хант, Ч.У.Хэнкс. Промышленная электронная плавка и ее влияние на химический состав металлов и сплавов. /В.кн. Электронная плавка металлов. М.: «Мир», 1964, с.11-44.
20. O.V.Sobol, A.D.Pogrebnyak, V.M.Beresnev. *Phys. Met. Metallogr.*, 112, 188 (2011) [*Физика металлов и металловедение*, 112,199 (2011)]
21. Бернштейн М.Л. Термомеханическая обработка сплавов (в 2-х томах). М.: Металлургия, 1968. 1172 с.
22. Металловедение и термическая обработка металлов. 2002. № 7.
23. Pushin V.G. // *Phys. Met. Metallography*. 2000. Vol. 90. Suppl. 1. P. S68–S95.
24. Pushin V.G., Brailovski V., Khmelevskaya I.Y. // *Phys. Met. Metallography*. 2004. Vol. 97. Suppl. 1. P. S3–S55.
25. "Металловедение и термическая обработка цветных металлов и сплавов" Б.А. Колачев, В.А.Ливанов,В.И.Елагин

26. Металлография титана, под ред. С. Г. Глазунова и Б. А. Колачева, М., 1980
27. Чепкин В.М. Опыт и проблемы применения титановых сплавов // Титан.- 1995.- № 1-2.-С.13.
28. Н.Л. Глинка. Общая химия - Л.: Химия, 1981, - 720 с
29. М.М. Годнева, Д.Л. Мотов, Химия подгруппы титана - Л.: Наука, 1980, - 175с
30. Сергеев В.В., Галицкий Н. В и др. Металлургия титана - М.: Металлургия, 1971, - 320с.
31. Под ред. Галицкого Б.А. Титан и его сплавы в химическом машиностроении - М.: Машиностроение, 1968 - 340с.
32. Корнилов И.И. Титан.-М.: Наука, 1975 г.
33. О.П. Солонина. С.Г. Глазунов. Жаропрочные титановые сплавы.