

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

Институт машиностроения

(наименование института полностью)

Кафедра «Нанотехнологии, материаловедение и механика»

(наименование)

22.03.01. «Материаловедение и технологии материалов»

(код и наименование направления подготовки, специальности)

«Современные материалы и технологии их производства»

(направленность (профиль) / специализация)

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)

на тему: Прочность медицинских пластин для костного остеосинтеза при циклическом нагружении

Студент

С.А. Севастьянов

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

Доктор технических наук, профессор Г.В.Клевцов

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

Тольятти 2022

Аннотация

Выпускная квалификационная работа состоит из: 42 страниц, 15 рисунков, 3 таблиц, 30 источника.

Исследование объемных УМЗ металлических материалов является актуальной темой в наше время, так как они применяются в различных областях медицины, например таких как челюстно-лицевая хирургия, травматология и так далее. Проблема сосредоточена на миниатюризации медицинских имплантатов, а также комплексе мероприятий по персонализации их формы и использованию органических и неорганических покрытий, позволяющих контролировать биосовместимость использования изделия.

В данной работе проведен сравнительный анализ долговечности пластин из КЗ и УМЗ титана, а также пластин фирмы ООО «Conmet» при циклическом нагружении.

Полученные результаты работы свидетельствуют о том, что максимальное количество циклов нагружения выдержали пластины из УМЗ титана. Кроме того, проведенные испытания показали наличие слабых мест пластин в области отверстий, где произошло усталостное разрушение всех пластин.

Annotation

The final qualifying work consists of: 42 pages, 15 figures, 3 tables, 30 sources.

The study of volumetric UMS of metal materials is an urgent topic nowadays, since they are used in various fields of medicine, for example, such as maxillofacial surgery, traumatology and so on. The problem is focused on the miniaturization of medical implants, as well as a set of measures to personalize their shape and the use of organic and inorganic coatings that allow to control the biocompatibility of using the product.

In this paper, a comparative analysis of the durability of plates made of KZ and UMZ titanium, as well as plates of LLC "Conmet" under cyclic loading is carried out.

The obtained results of the work indicate that the maximum number of loading cycles were sustained by plates made of titanium UMP. In addition, the tests carried out showed the presence of weak points of the plates in the area of holes, where fatigue failure of all plates occurred.

Содержание

Введение.....	5
1 Литературный обзор. Современная имплантация и стадийность усталостного разрушения металлических материалов	6
1.1 Анализ причин разрушения медицинских имплантатов.....	6
1.2 Зарождение, рост и стадийность усталостного разрушения.....	12
1.3 Наноструктурирование металлических материалов путем равноканального углового прессования (РКУП).....	19
2 Объекты, материал и методики исследования.....	24
2.1 Исследуемый объекты и материал. Режимы РКУП.....	24
2.2 Методики исследования структуры и механических свойств титана.....	25
2.3 Методики испытаний пластин на усталость.....	29
3 Результаты исследования и их обсуждение.....	34
3.1 Структура и механические свойства титана Grade4 при растяжении.....	34
3.2 Результаты испытания пластин для остеосинтеза на циклическую прочность.....	35
Заключение.....	38
Список используемой литературы.....	39

Введение

Актуальность исследования. «Расширенное использование операционных и малоинвазивных хирургических методик» в челюстно-лицевой хирургии, стоматологии, травматологии и других областях медицины позволяет минимизировать травматизм во время операции и сократить сроки послеоперационного восстановления, но без технического и технологического сопровождения, это невозможно. Проблема сосредоточена на междисциплинарной области задач - миниатюризации медицинских имплантатов, а также комплексе мероприятий по персонализации их формы и использованию органических и неорганических покрытий, позволяющих контролировать биосовместимость использования изделия.

Объемные УМЗ металлические материалы, полученные в результате интенсивной пластической деформации (ИПД), полностью отвечают этим требованиям. Многочисленные исследования за последние два десятилетия убедительно показали, что создание УМЗ-структур в металлических материалах методами ИПД позволяет значительно повысить их твердость, прочность и усталостную долговечность. В первую очередь это относится к широко используемым материалам для изготовления медицинских имплантатов и изделий медицинского назначения, в состав которых входит титан» [17].

Цель исследования: Сравнить прочность медицинских пластин для костного остеосинтеза из КЗ и УМЗ титана и пластин фирмы ООО «Conmet» при циклическом нагружении.

Задачи:

1. Рассмотреть понятие «медицинские пластины для костного остеосинтеза»
2. Провести испытания медицинских пластин для костного остеосинтеза из КЗ и УМЗ титана и пластин фирмы ООО «Conmet» при циклическом нагружении.

1 Литературный обзор. Современная имплантация и стадийность усталостного разрушения металлических материалов

1.1 Анализ причин разрушения медицинских имплантатов

При оперативном излечении переломов костей опорно-двигательного агрегата и челюстно – лицевой зоны обширно употребляются всевозможные технические порядки и приспособления. На сегодняшнее число общепринятым приходит мнение, что принципы и методы своевременного излечения переломов и повреждений костей, а также их последствий представляются более преимущественными и лучшими сопоставительной с правильными технологиями лечения, что подтверждается многими авторами изучения на данную тему. В пользу данного суждения можно привести последующие данные. По данным Всемирной организации здравоохранения, травмы являются причиной в среднем 5,1 миллиона смертей ежегодно. Это 9,2% от общего числа умерших. Травматические повреждения ведут к прочной утрате трудоспособности и инвалидизации больше, чем 7 миллионов человек.

Наряду с повышением всеобщего количества травматических повреждений человека замечается направление к увеличению повреждений челюстно-лицевой части (от 3 до 8 %), при этом переломы нижней челюсти, по одним данным, составляют 67-92 % (в РФ и странах СНГ), по другим 12,2-70,2 % (в зарубежных странах) случаев от общего количества больных с травмами костей и мягких тканей лица.

В литературе бывают разноречивые сведения о численности переломов металлофиксаторов при остеосинтезе костей конечностей, при этом все ученые подчеркивают, что частота разрушений коррелирует с тяжестью и локализацией перелома.

Перелом кости, особенно сложный, является серьезной травмой, которая может привести человека к длительной инвалидности. Для лечения

таких повреждений современная медицина часто прибегает к внутренней фиксации, фиксируя костные отломки пластинами. Правильно выполненная внутренняя фиксация обеспечивает надежную нормализацию костей в нужном положении, исключает дополнительное травмирование мягких тканей, способствует быстрому сращиванию костной ткани.

Внутренней фиксацией (остиозинтез) называется хирургическая операция, при которой отломки кости соединяют в правильном положении и фиксируют с помощью специальных приспособлений.

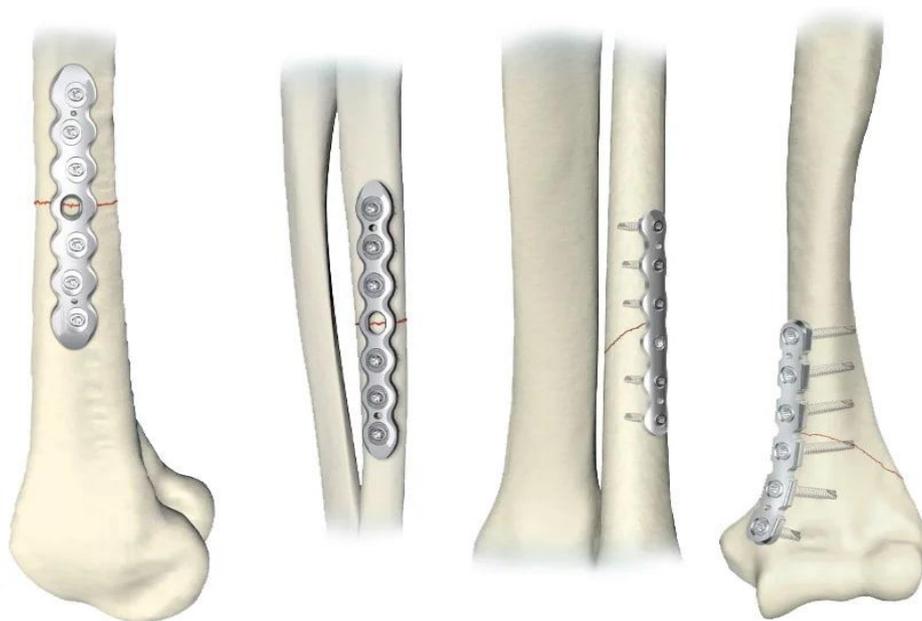


Рисунок 1 – Ортопедических имплантат

Ортопедический имплантат – это операция, путем которой устройство входит в организм человека. Цель складывается в том, чтобы возродить функцию и надежность части тела, сменив поврежденную конструкцию. Примечательно, что имплантаты обычно применяются в качестве последней меры, когда старания вылечить повреждение не удаются. Люди применяют всевозможные варианты имплантатов уже больше 100 лет. Титан, как правило, является биосовместимым металлом. Если титан считается чистым, то говорят, что он на 99% состоит из титана со следовыми количествами никеля. Различные ортопедические имплантаты из титана используются в

различных операциях. Хорошо известно, что любая процедура ортопедической имплантации очень сложна и требует достаточной информации о проблеме, процедуре и имплантате, используемом для решения проблемы. В прошлом имплантаты изготавливались из металлов, таких как золото, серебро, свинец и алюминий. Использование титана является одним из последних открытий. Сегодня, после многолетних испытаний, выясняется, что из всех металлосодержащих имплантатов в организме человека титановые имплантаты являются более подходящим типом по ряду причин. Самая важная причина заключается в том, что он длится долго, говорят, что он длится 20 лет. Еще одной важной особенностью является то, что он не подвергается коррозии в организме человека и легко усваивается человеческим организмом, поскольку наиболее устойчив к опасным реакциям. Также, я хотел бы добавить, что есть много возможностей для титана.

Вот самые важные факторы:

- плотность титана низкая, что не раздражает организм человека,
- титан обладает высокой устойчивостью к окислению,
- титан не токсичен и немагнитен,
- титан довольно легкий,
- титан менее подвержен аллергии, чем другие металлы,
- титан менее жесток и проще в использовании.

«Существуют различные типы имплантатов для ортопедической хирургии. В зависимости от типа травмы, поврежденной части тела и типа необходимого имплантата, все типы имплантатов могут использоваться в одной процедуре. Три наиболее известных имплантата Типы объектов: винты, пластины и протезы.

Ортопедические винты бывают двух типов: с плоской головкой и с крестообразной головкой. Винты – вездесущие устройства. Ожидается, что хирурги-ортопеды будут использовать винты для восстановления переломов или восстановления стабильности в слабых местах. Обычно эти винты не

удаляются позже, они остаются там. Для имплантации этих винтов в кости пациента делается отверстие для винта.

Как упоминалось выше, второй хирургический имплантат представляет собой пластину. Пластины впервые были использованы для лечения переломов более 50 лет назад в 1886 году. Как и винты, при имплантации протезов используются различные типы пластин.

– опорная пластина скрепляет переломы на концах длинных костей. Они также содержат нестабильные кости;

– нейтрализующие пластины используются для покрытия области перелома;

– перемычки обеспечивают длину и выравнивание и стабилизируют область;

– натяжные пластины иммобилизуют пораженный участок до его заживления;

– компрессионные пластины восстанавливают кости за счет давления.

Последним хирургическим имплантатом, описанным в этой статье, является зубной протез. Хирурги-ортопеды используют множество протезов для замены суставов и костей. Сегодня у многих спортсменов есть протезы коленей и бедер, которые позволяют восстановить полноценную подвижность и снять боль в травмированных суставах за короткий промежуток времени. Для этой процедуры использовались надлежащие знания о различных хирургических имплантатах, что способствовало лучшему пониманию самой процедуры. Несколько примеров:

– при переломах шейки используйте протез Остина Мура;

– замена локтевого протеза Вахи;

– гвозди Эндера для пластики интерстициальных переломов;

– использование стержней Luque для иммобилизации позвоночника;

– использование протезов для замены локтевого сустава» [29].

«Так, С.Никитин в своей докторской диссертации указывал, что 14% случаев переломов имплантатов, из которых 6% осложнились повторным смещением отломков, были фактически вторичными переломами» [30].

Бондаренко А. с соавторами изучили материал излечения 337 больных в возрасте от 15 до 75 лет, в том числе с переломами:

- бедра (175 человек),
- голени (41),
- плеча (76)
- предплечья (45).

Открытые повреждения были у 42 (12,5 %), закрытые – у 295 (87,5 %) больных. Всем больным был произведен погружной на костный остеосинтез пластинами и стягивающими шурупами. У 37 (11 %) заболевших случилось разрушение имплантата. Выявлена зависимость частоты данного осложнения от нрава повреждения и типа перелома: при открытых и оскольчатых переломах разрушение имплантатов встречалось подлинно чаще, так, у 30,9 % перелом имплантов случился после остеосинтеза открытых переломов, и исключительно в 8,1 % – после закрытых.

Механическая поломка системы внутренней фиксации проявляется двояко:

- пластина ломается в месте наибольшей концентрации напряжений;
- разрыв винта или положения фиксации винта в кости.

Во всех случаях при разрушении имплантата перелом не сросся из-за дезактивации или отсутствия переходных отломков.

Иманалиев А. с соавторами произвели подобное исследование. Проанализированы наблюдения за 116 больными в возрасте от 15 до 77 лет с диафизарными переломами длинных костей. Всем больным был произведен погружной надкостный остеосинтез пластинами. Установлено, что в сроки от 7 месяцев до 3 лет после остеосинтеза в 17-ти вариантах (14,6 %) случилось выборочное или абсолютное разрушение внутренних фиксаторов с несращением переломов. При диафизарных переломах бедра разрушение

имплантов зафиксировано у 9 пациентов, при переломах голени у 3-х, плеча – 3, предплечья у 2-х пациентов. Бондаренко А. указывают, что разрушение системы внутренней фиксации может протекать по 2-м вариантам. Первый модификация разрушение пластины с переломом ее в месте наивеличайшей концентрации движения. Вторая разновидность – разрушение винтов или их мест крепления к кости. Варианты разрушения изображены на рисунках 2 а, б.



Рисунок 2 – Схема перелома пластины в месте наибольшей концентрации напряжений (а) и схема разрушения винтов или мест их крепления в кости

Оба варианта механического разрушения пластин протекают в результате ранней многофункциональной перегрузки веса самого тела пострадавшего при не сращении или не полном сращении перелома. Первая версия разрушения пластины авторы чаще следили «при переломах костей нижних конечностей» [18]. Перелом пластины всегда был последствием часто повторяющихся нагрузок на конечности.

Вторая вариация встречалась больше на верхней конечности при присутствии локального остеопороза одного из отломков. При оскольчатых сложных переломах основная часть нагрузки доводится не на кость, а на пластину, и это прибывает одной из причин ее повреждения. Лишенные кровоснабжения костные отломки выполняют бездейственную значимость в процессах регенерации, при этом сроки сращения удлиняются в два раза и

более. В подобных критериях увеличенные многофункциональные нагрузки приводят к усталостному перелому пластины.

Иманалиев А. и соавторами выделили ключевые факторы, ответственные за механическое разрушение имплантата в полости оскольчатого диафизарного перелома:

- выключение промежуточных отломков из костного кровотока;
- межфрагментное сжатие невозможно;
- вынужденное обездвиживание, которое приводит к локальному остеопорозу и ослаблению фиксации.

Для профилактики и предотвращения переломов накостных пластинок при излечении переломов длинных костей авторы полагают подходящим использовать первоначальный остеосинтез пластинами в двух плоскостях. Этот хирургический метод сводит к минимуму тяжесть отказа пластины. «Попов В. рассказал о 1,8% случаев переломов имплантатов в большом исследовании по остеосинтезу полностью закрытых переломов нижней конечности. При прогрессивном использовании новых методик остеосинтеза переломы металлических фиксаторов чаще встречаются в тяжелой универсальных факторов и устройств при переломах металлических фиксаторов не установлено. Основные причины отторжения имплантатов различны для разных мест остеосинтеза» [31].

Кроме того, мы проанализировали литературные данные о переломах наружных костных имплантатов (пластин) и интрамедуллярных штифтов для различных костей скелета человека.

1.2 Зарождение, рост и стадийность усталостного разрушения

Усталостное разрушение – это разрушение материала под действием повторяющихся (обычно циклических) напряжений.

Процесс, при котором в металлах постепенно нарастают повреждения при длительном воздействии повторяющихся или повторяющихся

напряжений, приводящие к изменению свойств, образованию трещин, их развитию и разрушению. Способность материала выдерживать эти напряжения без разрушения называется сопротивлением усталости или циклической прочностью.

Циклические нагрузки различной величины и напряжения могут значительно снизить прочность и долговечность при работе большинства деталей, так как металл может разрушаться от усталости при повторяющихся знакопеременных нагрузках.

«Физические факторы усталостного разрушения материалов достаточно трудоемки и до конца не изучены. Одним из ключевых факторов усталостного разрушения можно считать образование трещин.

Механизм усталостного разрушения во многом связан с неоднородностью истинной текстуры материала (размеры, форма, различия в ориентации соседних зерен металла, наличие различных примесей - шлаков; дефектов решетки, поверхностных дефектов), царапин, коррозии. и т.д. материала. Взаимодействуя с показанной неоднородностью, при неустойчивом нагружении на границе разделительного соединения и близлежащих микроскопических полостей и различных повреждений происходит концентрация сил, что приводит к микропластическому сдвиговому разрушению отдельных зерен металла (при этом могут возникать полосы скольжения на поверхности зерен) и накопление сдвига (появляется на отдельном материале как вариант мелких выступов и впадин - выдавливания и внедрения) , созревание (рост) которого достаточно яркое.

Эти перегрузки шлифуют друг друга так, что зона распространения трещины характеризуется гладкой (полированной) поверхностью. По мере роста трещины поперечное сечение детали становится все слабее и слабее, а конечная деталь подвергается беспорядочному хрупкому разрушению, а зона хрупкого разрушения имеет крупнозернистую структуру (типа хрупкого разрушения)» [32].

Большинство изделий испытывают в процессе эксплуатации эффекты повторяющихся изменений, так называемые циклические силовые воздействия (нагрузки), меняющие во времени величину и направление (знак) своих воздействий. Поэтому в материале появляются циклические напряжения. Под их воздействием в материале начинаются и постепенно развиваются трещины, которые инициируют повреждения.

Серьезность этого нарушения связана с двумя причинами:

- усталостное разрушение не сопровождается подменой макродеформацией изделия и поэтому его трудно предупредить;
- оно может формироваться в условиях воздействия небольших напряжений, заметно наименьших временного противодействия разрыву и предела текучести, то есть при напряжениях, при которых рассчитана работа изделия.

Усталость – это процесс, при котором материал постепенно накапливает повреждения при циклическом нагружении, что приводит к изменению его свойств, образованию трещин и разрушению. Способность сопротивляться усталости называется выносливостью.

Количество циклов до разрушения при заданной нагрузочной характеристике является показателем долговечности.

Основные черты циклического нагружения. Ознакомимся с основными терминами и понятиями циклического нагружения. При испытаниях на усталость образцы подвергаются циклическим напряжениям различной величины и знака. Под циклом напряжения понимается комплекс неустойчивых значений напряжения за период времени, в котором оно изменяется. Каждый цикл имеет несколько параметров. Период T является длительностью одного периода (рис. Напряжение периода представлено как:

$$\sigma = \sigma_m + \sigma_a f(\tau),$$

где σ_m – среднее напряжение цикла; σ_a – амплитуда цикла; $f(\tau)$ – непрерывная периодическая функция, определяющая форму цикла во времени и изменяющаяся в пределах от -1 до $+1$.

Различают максимальное σ_{\max} и минимальное σ_{\min} напряжения. Максимальное циклическое напряжение σ_{\max} представляет собой алгебраическое значение максимального кольцевого напряжения, равное алгебраической сумме среднего напряжения и модуля, а минимальное циклическое напряжение σ_{\min} представляет их алгебраической разности:

$$\sigma_{\max} = \sigma_m + \sigma_a; \quad \sigma_{\min} = \sigma_m - \sigma_a$$

Соответственно среднее напряжение цикла определяется как

$$\sigma_m = (\sigma_{\max} + \sigma_{\min})/2$$

Амплитуда напряжения цикла определяется выражением

$$\sigma_a = (\sigma_{\max} - \sigma_{\min})/2$$

Цикл характеризуется также коэффициентом асимметрии:

$$R = \sigma_{\min} / \sigma_{\max}$$

Если $R=1$, то такой цикл называется симметричным.

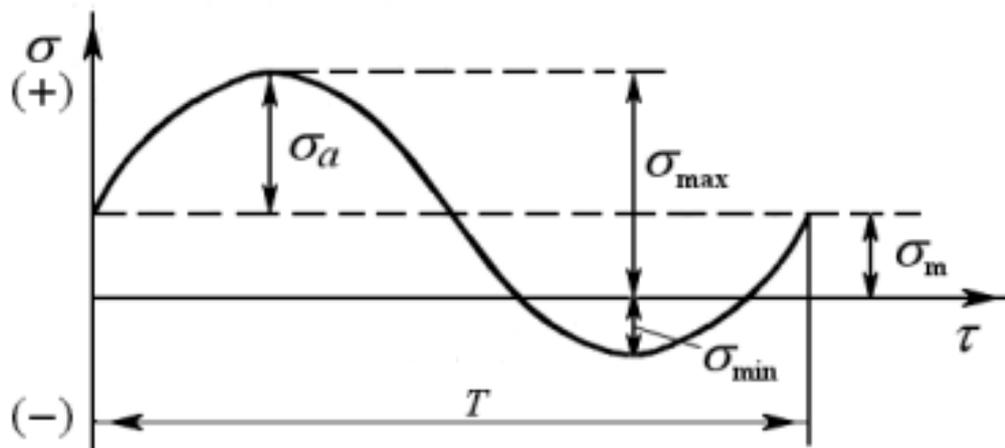


Рисунок 3 – Общий вид цикла нагружения.

Усталостное разрушение имеет определенные характеристики по сравнению со статическим разрушением.

– При повторяющихся условиях переменного нагружения происходит локальная пластическая деформация σ_0 при напряжении при наименьшем измеренном пределе текучести материала. Это связано с тем, что в анализе используется среднее напряжение по всему размеру выборки. При этом отсутствует явная возможность образования в условиях нагружения отдельных деталей конечных напряжений, величина которых может быть совершенно необходимой для осуществления локальной пластической деформации. Наконец, в условиях циклического нагружения проявляется так называемый эффект Баушингера, при котором сопротивление металла макроскопической пластической деформации уменьшается, если нагружению предшествует более ранняя деформация противоположного знака.

– При большом числе циклов нагружения тонкий скользящий профиль трансформируется в постоянную полосу, заканчивающуюся выступами (выдавливаниями) и впадинами (вдавлениями) на поверхности металла (рисунок 4). Большинство механизмов, инициирующих выдавливания и внедрения, можно объяснить по поверхности Обратимое движение краевых и винтовых дислокаций.

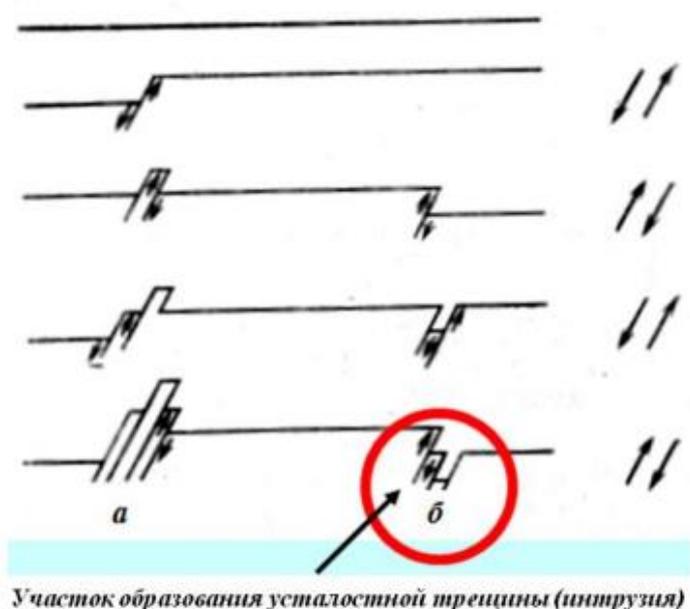


Рисунок 4 – Схема образования экструзий (а) и интрузий (б)

Эти локальные неровности (особенно ямки) являются естественными точками концентрации напряжений, поэтому они фактически становятся фактором возникновения усталостных трещин.

Во всех вариантах усталостные трещины постоянно появляются на поверхности изделия (или вблизи от нее). Зарождение подобной трещины случается после незначительного числа циклов нагружения, образующего 5-10% от общей долговечности. В остальное время случается распространение трещины.

– Саморазрушение случается стадийно и характеризуется постепенным скоплением повреждений, образованием некоторых усталостных микротрещин, их развитием с последующим соединением в одну главную трещину, сдвиг которой и приводит к конечному разрушению.

– Усталостный излом различается свойственным строением, отражающим порядок формирования усталостного разрушения (рис.5).



Рисунок 5 – Вид усталостного излома

«Принято выделять три участка (зоны) - очаг зарождения трещины, зону распространения усталости и зону окончательного разрушения (зону

разрушения). Очаг разрушения близок к поверхности, обычно с малыми размерами и гладкими стенками. Большую площадь 32 занимает зона распространения усталости и характеризуется особым видом. Образование усталостных трещин происходит скачками, сочетающимися с паузой в нагружении, остановкой фронта распространения трещины и дальнейшим преодолением препятствия. Поэтому, от очага разлома расходятся борозды или так называемые концентрические кольца (Полосы усталости), представляющие последовательность роста трещины, при циклическом нагружении трещина развивается с ее раскрытием и закрытием, что приводит к дроблению и трению трещины поверхности в области.

Наконец, распространяется магистральная трещина вызывает непрерывное уменьшение «живого» сечения детали (образца), в то время как фактическое воздействие напряжения (внешние воздействия неизменны) продолжает увеличиваться.

С момента окончательного отделения образца, и его происходит почти с ускоренной скоростью, а не с такой медленной, как это наблюдается при постепенном образовании трещин. Участок разрушения, соответствующий этому периоду, имеет нормальные характеристики разрушения при однократной нагрузке. Полное разрушение, как правило, более хрупкое и вязкое только в высокопластичных материалах.

На рисунке 6 показан участок усталостного излома валка. Отчетливо видны зоны зарождения и распространения с характерными бороздками усталости» [33].

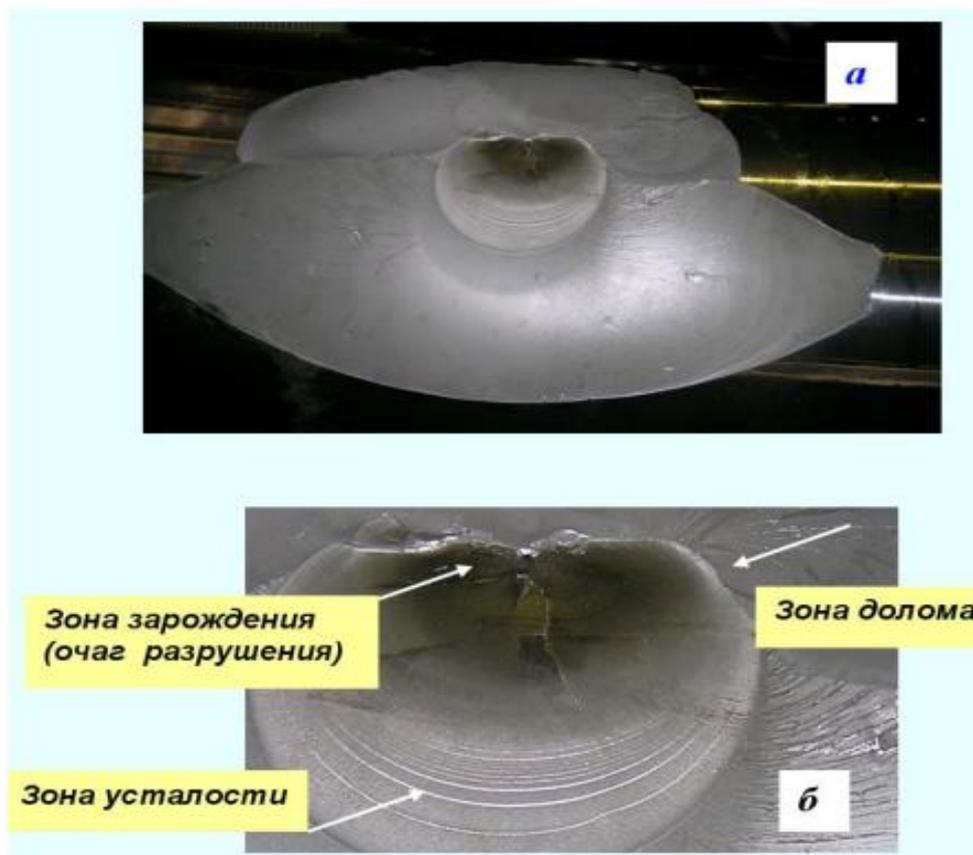


Рисунок 6 –Общий вид (а) и участок зоны разрушения (б) прокатного валка

1.3 Наноструктурирование металлических материалов путем равноканального углового прессования (РКУП)

«Равноканальное угловое прессование (РКУП) — один из наиболее распространенных методов усиления пластической деформации. Этот метод заключается в продавливании (экструзии) материала через наклонные каналы равной площади поперечного сечения. Процесс часто повторяется несколько раз. Разработан в СССР в 2000 г.

Деформационное воздействие РКУП вызывает различные повреждения кристаллов сплава и одновременно изменяет микроструктуру материала. В отличие от многих других методов деформационной обработки (например, растяжения), РКУП морфологически уменьшает размер зерен и морфологически изменяет их форму» [19-22].

«Этот метод используется для получения наноструктурированных материалов высокой плотности с высокой морфологической однородностью зерна из большого количества пластически деформируемых заготовок. Сдвиговая деформация возникает при прохождении образца через контактную площадку между каналами (см. рис. 7).

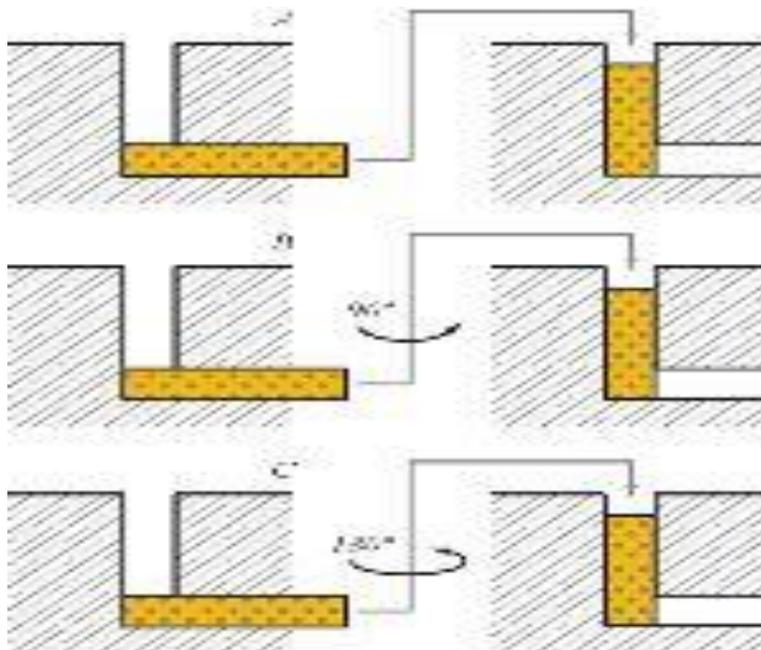


Рисунок 7 – Схематическое изображение модификаций РКУП

Поскольку процедура РКУП повторяется снова и снова, деформация периодически увеличивается, что приводит к постоянному уменьшению размера зерна из-за образования сетки, сначала с малоугловыми границами, а затем с большеугловыми границами.

Эта особенность метода позволяет повысить не только пластичность, но и пластическую деформацию труднодеформируемых металлов и сплавов.

Угол, под которым пересекаются каналы штампа, очень важен. РКУП также можно использовать для управления кристаллической структурой объемных структурированных материалов.

Уменьшение размера зерна обрабатываемых металлов и сплавов до субмикронных размеров позволяет значительно улучшить их механические

свойства, особенно предел прочности при растяжении и текучести, а также проявить способности к сверхпластической деформации, что представляет большой интерес для современной аэрокосмической промышленности.

«Равноканальное угловое прессование (РКУП) позволяет получать крупногабаритные образцы УМЗ конструкций диаметром до 60 мм и длиной до 200 мм. Метод передает деформацию, при которой образец выдавливается через два канала равного сечения, пересекающихся под углом» [31]. Деформация происходит путем простого сдвига при прохождении заготовки через плоскость пересечения каналов.

В процессе деформации размер заготовки в среде остается постоянным, что позволяет проводить повторную обработку одного образца, что приводит к большим прикладываемым деформациям. Эквивалентная деформация ε достигает 1,15 при угле пересечения канала 90° на первичном проходе с применением РКУП.

Место деформации 18 при сдвиге характеризуется высокой степенью равномерности. Для достижения РКУП деформация должна лежать в плоскости, где пересекаются каналы.

В данной работе описаны граничные условия, которые делают возможной простую сдвиговую деформацию.

Эти условия влияют на взаимосвязь между образцом и инструмента трение между ними и наличие противодействия в противном случае возникает изгибная деформация, достигаются различные виды неравномерного пластического течения все возможные пути РКУП возможны за счет многократной обработки, заготовка вращается вокруг оси штамповки между проходами .

Наноструктура РКУП повышает твердость и прочность металлических материалов и снижает их пластичность, но ее влияние на устойчивость к фиксированным трещинам и усталостную прочность неясно.

При оценке условий плоской деформации (ПД) при фиксированной трещиностойкости (K1C) образцов наноструктурных материалов с

ультрамелкозернистой (УМЗ) структурой критерии механики разрушения недостаточно строги и зависят от типа решетки материала.

Вывод по первой главе

Таким образом, изучая стадии усталостного разрушения современных имплантатов и металлических материалов, можно сделать вывод, что усталостное разрушение представляет собой разрушение материала при многократном воздействии знакопеременных (обычно циклических) нагрузок. Одной из основных причин усталостного разрушения считается образование и развитие трещин. Для решения этой проблемы существуют различные типы ортопедических имплантатов.

В зависимости от типа травмы, пораженной части тела и типа требуемого имплантата все типы имплантатов могут использоваться в рамках одной процедуры. Три наиболее известных типа имплантатов — это винты, пластины и протезы.

Чаще всего разрушения имплантатов протекают в результате ранней многофункциональной перегрузки веса самого тела пострадавшего при не сращении или не полном сращении перелома.

Первая версия разрушений авторы чаще следили при переломах костей нижних конечностей. Перелом пластины всегда был последствием часто повторяющихся нагрузок на конечности.

Вторая вариация встречалась больше на верхней конечности при присутствии локального остеопороза одного из отломков.

При оскольчатых сложных переломах основная часть нагрузки доводится не на кость, а на пластину, и это прибывает одной из причин ее повреждения.

Лишенные кровоснабжения костные отломки выполняют бездейственную значимость в процессах регенерации, при этом сроки

сращения удлиняются в два раза и более. В подобных критериях увеличенные многофункциональные нагрузки приводят к усталостному перелому пластины.

Физические факторы усталостного разрушения материалов достаточно трудоемки и до конца не изучены. Одним из ключевых факторов усталостного разрушения можно считать образование и разрастание трещин. В прошлом имплантаты изготавливались из золота, серебра, свинца и алюминия.

Одним из последних открытий является использование титана. Теперь, после многих лет испытаний, выяснилось, что из всех металлических имплантатов в человеческом теле титановые имплантаты являются более подходящими по ряду причин. Особенно важной причиной является то, что он длится долго, как говорят, до 20 лет.

2 Объекты, материал и методики исследования

2.1 Исследуемый объекты и материал. Режимы РКУП

Объектом исследования являются мини пластины, используемые для остеосинтеза в челюстно-лицевой хирургии (рисунок 8). Исследуемые на прочность пластины изготовлены из крупнозернистого (КЗ) и ультрамелкозернистого (УМЗ) титана Grade4. Для сравнения испытанию будут подвергаться промышленные пластины фирмы ООО «Conmet».



Рисунок 8 – Мини пластины из КЗ и УМЗ титана для остеосинтеза в челюстно-лицевой хирургии

«Мини пластины из КЗ и УМЗ обеспечивают прочную фиксацию отломков при переломах. Это современный и оптимальный метод фиксации челюсти» [12]. В настоящее время для фиксации челюстей широко используются титановые мини пластины различных форм и размеров и винты различной длины и диаметра. «Таким образом, при остеосинтезе нижней челюсти наиболее часто используют титановые мини пластины, что связано с высокой распространенностью данной патологии» [4]. «При переломах скуловой кости показанием к применению титановых мини пластин являются оскольчатые переломы скуловой кости в сочетании с переломами орбиты. При переломах верхней челюсти хирургическое лечение проводится редко, но в связи с тяжестью травмы применяется в трети случаев.»[11].

Таблица 1 – Размеры пластин из КЗ и УМЗ титана, а также пластин фирмы ООО «Conmet»

Пластины	Длина, мм	Ширина, мм	Толщина, мм	Площадь сечения в центральной части пластины (S), мм ²	Диаметр отверстий, мм
фирма ООО «Conmet»	25.6	2.2	1.0	2.2	2.5
КЗ и УМЗ титан	32.5	2.6	0.6	1.56	1.7

«Поскольку пластины в исследовании были изготовлены из КЗ и УМЗ титана, титан марки 4 (0,003 % N, 0,008 % C, 0,0006 % H, 0,32 % O, 0,38 % Fe, остальное титан) широко используется в медицине.

Исследование КЗ состояние титана после гомогенизирующего отжига горячекатаных заготовок при 680 °С в течение 1 часа. Для получения УМЗ проводили РКУП состояния заготовки после гомогенизационных отжигов по схеме «Конформ» (РКУП-К) при температуре 200 °С (маршрут Вс, n = 6, φ = 1200) с последующим РКУП при температура 200 (РКУП-К+В).

Наноструктурирование сплава путем РКУП было проведено сотрудниками УГАТУ (г. Уфа)

2.2 Методики исследование структуры и механических свойств титана

Средний размер зерна КЗ-титана определяли с помощью металлографического микроскопа Axiovert 40 MAT. Тонкую структуру УМЗ-титана исследовали с помощью просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ) JEM-2100¹).

Испытание титана на твердость проводили на твердомере ТН 300 (рис.9).



Рисунок 9 – Полуавтоматический стационарный измеритель твердости TH300 с выводом информации на компьютер

«Автоматический фиксированный твердомер по Роквеллу TH-300 предназначен для определения твердости по Роквеллу твердых сплавов, закаленной и незакаленной стали и т. д.

Твердомер TH-300 производства TIME Group Inc. может найти свое применение в лабораториях металлургических и машиностроительных предприятий, а также в лабораториях научно-исследовательских институтов, занимающихся изучением твердости металлов. Стационарный твердомер по Роквеллу TH-300 отличается высокой точностью, широким диапазоном измерений и высокой воспроизводимостью результатов.

Твердомер TH-300 производства TIME Group Inc. может найти свое применение в лабораториях металлургических и машиностроительных предприятий, а также в лабораториях научно-исследовательских институтов, занимающихся изучением твердости металлов» [33]. Стационарный твердомер по Роквеллу TH-300 обладает высокой точностью, широким диапазоном измерений, высокой повторяемостью результатов. Стационарный твердомер по Роквеллу серии TH-300 – это надежный, удобный и простой в эксплуатации твердомер по Роквеллу.

Особенности ТН300:

- конструкция твердомера с головкой в виде носа позволяет выполнять измерения на труднодоступных поверхностях;
- твердомер ТН-300 позволяет выполнять измерения на внутренних поверхностях колец диаметром не менее 23 мм;
- твердомер ТН-300 позволяет выполнять измерения на поверхностях круглых прутков диаметром не менее 3 мм
- автоматическое выполнение измерений ЖКИ высокой четкости со светодиодной подсветкой;
- простое и удобное в работе меню управления твердомер ТН300;
- связь с персональным компьютером через интерфейс RS-232;

Получение УМЗ титана путем РКУП и исследование структуры КЗ и УМЗ титана проводили сотрудники УГАТУ (г. Уфа).

Статическое растяжение образцов с диаметром рабочей части 3 мм проводили на универсальной испытательной машине Н50КТ (рис. 10).



Рисунок 10 – Универсальная испытательная машина Н50КТ

«Универсальная испытательная машина H50KT с компьютерным управлением предназначена для определения механических свойств материалов.

Универсальная электромеханическая испытательная машина Tinius Olsen предназначена для статических испытаний на растяжение, сжатие, изгиб, сдвиг, прокол, адгезию металлов, пластмасс, композитов, резины, пленок, бумаги и др.

Управление станком осуществляется через проводной или беспроводной пульт управления с компьютера с предустановленной русификацией (программой) Horizon.

Проводная консоль оснащена кнопками управления тестером и идеально подходит для операторов, работающих в перчатках. На цифровом дисплее консоли отображаются данные каждого измерительного канала испытательной машины.

Беспроводная панель управления, подключенная к испытательной машине через Bluetooth, оснащена сенсорным экраном, позволяющим настраивать и контролировать испытания. Полученные численные результаты отображаются на экране. Пульт имеет встроенную 8-мегапиксельную камеру и опциональное беспроводное подключение к Интернету.

Комбинация аппаратного и программного обеспечения с предустановленной программой русификации Horizon.

Основные характеристики:

- полный контроль над функциями машины через ПК;
- виртуальная панель управления UIM, позволяющая управлять машиной с монитора только через сенсорный экран;
- с одного персонального компьютера можно одновременно управлять несколькими UIM;
- возможность отображения не менее 5 графиков в режиме реального времени в любом масштабе координат;

- возможность бесступенчатого задания скорости, установка нескольких скоростей при испытаниях на растяжение (или сжатие), включая следующие скорости: Единицы. Длина/единица времени (например, мм/мин и т. д.); напряжение на образце/единице. Время (например, МПа/мин); изменение деформации образца/единица времени (например: %/мин или м/м/мин или см/см/мин);
- обработка результатов испытаний и статистический анализ;
- структурированная базовая оболочка для хранения результатов с возможностями поиска и сортировки;
- импорт и экспорт данных в форматах pdf, ASCII, XML, IDS, программное обеспечение должно обеспечивать автоматическую передачу данных во внешние сети или программы;
- пользователи могут написать любую формулу (генератор формул) и создать свои результаты, генерируя собственные шаблонные методы в соответствии с российскими и международными стандартами испытаний;
- генератор отчетов. Позволяет создать полностью персонализированный отчет с любыми графиками, результатами тестов, логотипами, заголовками и любыми другими данными;
- подключите любое внешнее устройство через RS232 и USB.

Можно одновременно подключать и тестировать на других машинах (универсальные тестеры, маятниковые копры, криогенные морозильники, муфельные печи и т. д.)»[33].

2.3 Методики испытаний пластин на усталость

Для испытания пластин на усталость по схеме растяжение-сжатие использовали оснастку, показанную на рис. 2.4. Испытание проводили на испытательной Instron ElectroPuls E1000 (рис. 2.5). Испытывали по 3 пластины из КЗ, УМЗ титана и фирмы ООО «Сonmet». Размеры пластин показаны в таблице 1.

После предварительных испытаний для всех пластин были выбраны следующие параметры нагружения:

- форма цикла: синусоидальная;
- коэффициент асимметрии цикла нагружения $R = 0.1$;
- частота нагружения $\nu = 20$ Гц;
- нагрузка 180 Н.

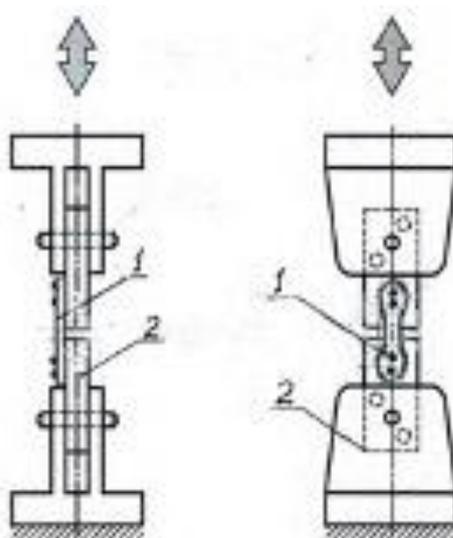


Рисунок 11 – Схемы испытания пластин на циклическое растяжение-сжатие:

1- пластина для остиосинтеза; 2- пластины, имитирующие сломанную кость

Ортопедическая операция по остеосинтезу – это процедура, которая восстанавливает целостность кости путем наложения специально подобранных пластин после перелома. Делается это открытым способом. Современные костные пластины позволяют прочно удерживать части кости за счет втыкания головок винтов в отверстия, которые вставляются в костные отломки.

Показаниями к этому виду операции при переломах могут быть костные отломки, не контролируемые методом закрытия, наличие одного или нескольких костных отломков, переломы с вовлечением сустава (внутрисуставные переломы).

Особенности остеосинтеза. Важные приложения сделаны с использованием разных вставок. При осмотре сверху место перелома покрыто стабильной естественной тканью пациента.

Важно правильно выбрать костную пластину еще до остеосинтеза.

- тип наблюдения,
- количество сломанных костей,
- место перелом,
- анатомическая форма костей.

Сила удара позволяет пластине полностью восстановить восстановление поврежденной костной ткани, тем самым позволяя пациенту максимально быстро прийти в норму.

Кости, сломанные кости, такие как костные пластины, это металлические пластины, которые используются для восстановления костей, которые были сломаны, они обычно функционируют там, где встречаются, возникают, встречаются, встречаются, заживают на месте. Сталь, сплавы на основе кобальта, биокерамика, титановые сплавы и чистый титан.

Стальные пластины не всегда считаются идеальным материалом для костных пластин, так как они теряют свое натяжение через определенное время. Когда это происходит, травма больше не сжимается, что замедляет процесс заживления. Это связано с тем, что при конструировании костных пластин трудно правильно воздействовать на перелом, не причиняя вреда, и эта проблема продолжает решаться специалистами.



Рисунок 12 –Динамическая испытательная машина Instron ElectroPuls E1000

Системы ElectroPuls, которые уже почти пятнадцать лет проводят испытания с миллиардами циклов, являются признанными приборами для испытания материалов с использованием запатентованной технологии линейного двигателя. Предлагая низкоскоростные статические и высокочастотные усталостные испытания, эти универсальные возможности тестирования означают, что системы ElectroPuls идеально подходят для изучения механики разрушения материалов: многоциклового и малоциклового усталости.

Вывод по второй главе

Таким образом изучив главу объекты, материал и методики исследования можно сделать вывод. Объектом исследования являются мини пластины, используемые для остеосинтеза в челюстно-лицевой хирургии

(рис. 2.1). Исследуемые на прочность пластины изготовлены из крупнозернистого (КЗ) и ультрамелкозернистого (УМЗ) титана Grade4.

Мини пластины из КЗ и УМЗ титана надежно удерживают отломки кости в случае перелома. Это современный и оптимальный метод фиксации челюсти. Для испытания пластин на усталость по схеме растяжение-сжатие использовали оснастку, показанную на рис. 2.4. Испытание проводили на испытательной Instron ElectroPuls E1000 (рис. 2.5).

Ортопедическая операция по остеосинтезу – это процедура, которая восстанавливает целостность кости путем наложения специально подобранных пластин после перелома. Делается это открытым способом. Современные костные пластины позволяют прочно удерживать части кости за счет втыкания головок винтов в отверстия, которые вставляются в костные отломки. Показаниями к этому виду операции при переломах могут быть костные отломки, не контролируемые методом закрытия, наличие одного или нескольких костных отломков, переломы с вовлечением сустава (внутрисуставные переломы).

3 Результаты исследования и их обсуждение

3.1 Структура и механические свойства титана grade4 при растяжении

Тонкая структура титана марки 4 после РКУП-К+В (рис.13) характеризуется измельчением зерна и значительным увеличением дефектов кристаллической структуры. Средний размер зерна и механические свойства титана после различных обработок показаны в таблице 2.

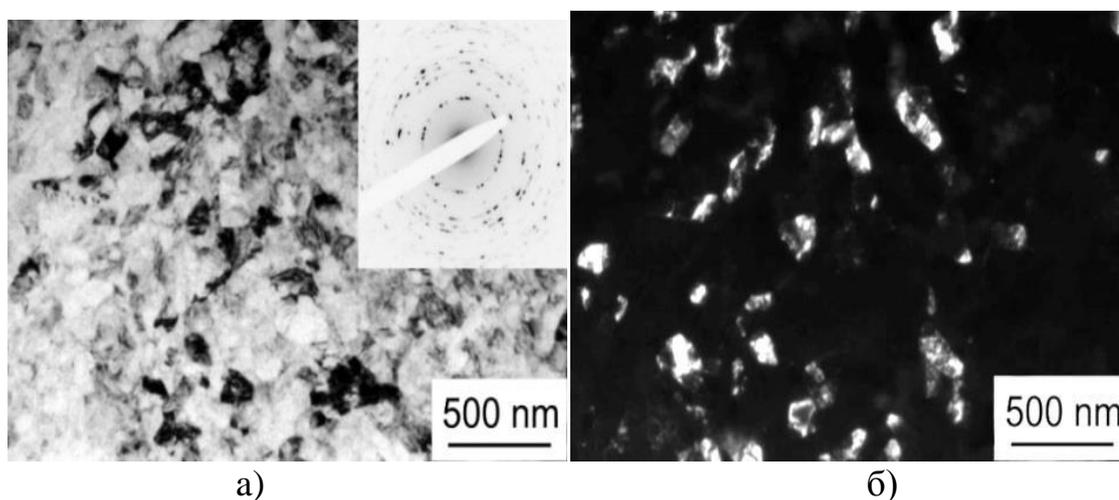


Рисунок 13 – ПЭМ-изображения микроструктуры титана Grade4 после РКУП-К+В:

- а) – светлопольное изображение с картиной микродифракции,
- б) – темнопольное изображение

Рентгеноструктурный анализ микроструктуры титанового сплава показывает, что с понижением температуры обработки РКУП-К+В происходит дальнейшее измельчение микроструктуры, уменьшение дефектов микроструктуры и снижение степени деформации. Редукция решетки.

Таблица 2 – Средний размер зерна (d_{cp}) и механические свойства титана Grade4 при растяжении

Состояние	d_{cp} , мкм	НВ	T °C	σ_B , МПа	$\sigma_{0.2}$, МПа	δ , %
КЗ (отжиг)	25	255	20	750±10	650±30	20±0.5
УМЗ (РКУП-К+В)	0.2	315	20	1250±10	1100±30	11±0.5

3.2 Результаты испытания пластин для остеосинтеза на циклическую прочность

Остеосинтез относится к хирургическому сращиванию и соединению фрагментов до их полного сращения. Технически остеосинтез может выполняться как открытым, так и закрытым способами.

«Пластины должны быть прочными, жесткими и достаточно длинными, чтобы выдерживать мышечное напряжение. Во избежание гальванической коррозии винты должны быть из того же сплава, что и сами пластины. Пластины и винты образуют единую жесткую конструкцию, которая удерживает обломки на месте для повторного позиционирования.

До полного их сращения это создают путем временной передачи механической нагрузки на пластину с помощью винтов, тем самым разгружая место перелома» [26].

На рис. 14 показана конфигурация пластины до усталостной нагрузки.



Рисунок 14 – Пластины фирмы ООО «Conmet» (вверху) и пластины из КЗ и УМЗ титана (внизу) до испытания

«Предлагаемая пластина изогнута по внутренней поверхности, с овальными бороздками по бокам и покрыта гидроскиапатитом. Заживление кости всегда достигается при использовании настоящего изобретения, как свежих переломов, так и их последствий (псевдоартритов), имплантатов. Нестабильность входящего объект не развивается, что позволяет устранить раннее нагружение поврежденного участка» [28].

Современные методы лечения повреждений таза сопровождаются различными осложнениями, достигающими 38,5%, связанными с замедленным сращением или несращением отломков.

Экспериментальные исследования усталостных испытаний пластин из КЗ и УМЗ титана и пластин фирмы ООО «Conmet» показали, что средняя долговечность пластин составила:

Таблица 3 – Средняя долговечность пластин

Материал пластин	Среднее количество циклов до разрушения
КЗ титан	$(4,6 \pm 2,0) \cdot 10^3$ цикл.
УМЗ титан	$(1,3 \pm 0,3) \cdot 10^4$ цикл.
Фирмы ООО «Conmet»	$(4,4 \pm 0,3) \cdot 10^4$ цикл.

Таким образом, широкий ассортимент пластин предназначенных для надежной фиксации при челюстно-лицевых травмах и для исправления ЧЛХ дефектов и реконструкциях.



Рисунок 15 – Пластины фирмы ООО «Conmet» (1) и пластины из КЗ и УМЗ титана (2) после усталостных испытаний

Проведенные испытания показали наличие слабых мест пластин в области отверстий, где произошло усталостное разрушение всех пластин (рис. 15)

Заключение

Сравнив микроструктуру КЗ и УМЗ титана после гомогенизационного отжига и равноканального углового прессования видно, что средний размер зерна уменьшился в 125 раз, твердость увеличилась в 1.2 раза, а предел прочности увеличился в 1.6 раза, предел текучести увеличился в 1.6 раза, но уменьшились показатели пластичности в 1,8 раз.

РКУП повышает твердость и прочность при растяжении титанового сплава Grade4 при растяжении, однако снижает пластичность.

Испытание пластин для остеосинтеза костей из КЗ и УМЗ титана, а также пластин фирмы ООО «Conmet» при циклическом нагружении показали, что максимальной усталостной прочностью обладают пластины из УМЗ титана.

Проведенные испытания показали наличие слабых мест пластин в области отверстий, где произошло усталостное разрушение всех пластин.

Остеосинтез – хирургическая репозиция костных отломков при помощи различных фиксирующих конструкций, обеспечивающих длительное устранение их подвижности. Цель остеосинтеза — обеспечение стабильной фиксации отломков в правильном положении с сохранением функциональной оси сегмента, стабилизация зоны перелома до полного сращения. Метод является одним из основных при лечении нестабильных переломов длинных трубчатых костей, а, часто, единственно возможным при внутрисуставных переломах с нарушением целостности суставной поверхности.

В качестве фиксаторов обычно используются штифты, гвозди, шурупы, винты, спицы и т. д., изготавливаемые из материалов, обладающих биологической, химической и физической инертностью.

Список используемой литературы

1. Бондаренко А. В., Распопова Е. А., Пелеганчук В. А. Разрушение имплантата при наружном остеосинтезе переломов длинных трубчатых костей. Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приоров - 2004 - Т.2. - С. 41-43.
2. Брамбак Р.Дж., Виркус В.В. Бедренный интрамедуллярный стержень: развёртывание и мечта // J. Am. Академическая школа. ортопедия. Журнал хирургии. - 2000. - Вып. 8, № 2. - С. 83-90.
3. Валиев Р. З., Александров И. В. Наноструктурные материалы, полученные методом интенсивной пластической деформации. — М.: Логос, 2000. — 272 страницы.
4. Воронин Н. И., Комогорцев В. Ю. Лечение переломов и переломовывихов проксимального отдела плеча различными аппаратами фиксации // Межрегиональный научно-практический слет травматологов и ортопедов Дальнего Востока, Восточной Сибири, Якутии. - Благовещенск, 2005. - С. 193-197.
5. Глухих Д.Л. Хирургическое лечение больных с переломами длинных костей в условиях многопрофильного стационара // Травматология и ортопедия: современность и будущее: Материалы междунар. конгресса. - М., 2005. - С. 183-184.
6. Готье Э., С. М. Перрон, Р. Ганц. Принципы внутренней фиксации // Курс ортопедии. - 1992. - Вып. 6.- С. 220-232.
7. Ефимов Жу. В., Стоматов Д. В., Ефимова Е. Ю., Тельянова Ю. В., Долгова И. В., Стоматов А. В. Анализ результатов использования костного шва у пострадавших с косыми переломами нижней челюсти // Вестник ВолгГМУ. - 2015.- № 4.- С. 60-62.
8. Иманалиев А.Б., Иманалиев А.А., Аятов А.С.Разрушение наружной пластины при остеосинтезе переломов длинных костей // Орпедия жены травматологии – 2014 – Т.3-4. - С. 82-86.

9. Крысов А.В., Чертков А.К. Роль металлофиксации в хирургическом лечении переломов голени // Тезисы докладов Тринадцатой конференции SICOT по науке и практике. - Санкт-Петербург, 2002. - С. 180.
10. Ложкин В. В., Зоря В. И. Переломы (разрушение) металлических фиксаторов при остеосинтезе конечностей (обзор литературы) // Травматология и ортопедия: - 2017. № 3 (29). - С. 20-25.
11. Лукин А. В. Ошибки и осложнения при хирургическом лечении несращений. Вестн. Операция. - 1991. - № 5. - С. 127-129.
12. Мейснер Л.Л. Результаты экспериментальных исследований имплантатов из титановых сплавов с модифицированными и немодифицированными поверхностями // Сибирский медицинский журнал: - 2009. -#8. - С. 13-16.
13. Месхи Л.Т. Анализ терминологии временной нетрудоспособности у больных с различными ортопедическими заболеваниями. Вестник травматологии и ортопедии. - 2007г. - 4 место. - С. 15-18.
14. Мейснер С. Н. Характеристика повреждения имплантата из металлического сплава // ЭНИ Забайкальский медицинский вестник: -2016. - №1. - С. 59-68.
15. Набоков А.Ю. Современный остеосинтез. М.: Медицинское информационное агентство-Пресс, 2007.- 400 с.
16. Никитин С.Е. Ортопедическое лечение в комплексных лечебных системах при переломах конечностей и его влияние на взрослых // Автореф.
17. Нок С. Э., Дж. Д. Хекман, К. М. Корт-Браун, П. Торнетта, Р. В. Бухз. Перелом диафиза бедренной кости. В: Переломы взрослых в Роквуде и Грине. 7-е издание. Филадельфия: Липпинкотт Уильямс и Уилкинс, 2010. С. 1655-1719.
18. Официальный сайт ВОЗ. - Режим доступа: http://apps.who.int/gho/data/node.main.CODWORLD_lang=en. Последнее обновление: 2016-0129. Дата обращения 22 ноября 2016 года.
19. ПЕРЕЛОМЫ (РАЗРУШЕНИЯ) МЕТАЛЛОФИКСАТОРОВ ПРИ ОСТЕОСИНТЕЗЕ КОСТЕЙ КОНЕЧНОСТЕЙ [Электронный ресурс]

/DISSERCAT - Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32615985> (Дата обращения: 10.03.2022).

20. Попов В. П., Здрелко В. П., Трухачев И. Г. Осложнения остеосинтеза у больных с переломами длинных костей // Гений ортопедии - 2014 - Т.2. - стр. 5-9.

21. Равноканальное угловое прессование [Электронный ресурс] /DISSERCAT - Режим доступа: http://ru.wikipedia.org/wiki/Равноканальное_угловое_прессование (Дата обращения: 28.03.2022).

22. Розанов В.Е., М.Ю. Результаты металлосинтеза при переломах длинных трубчатых костей у травматологических больных. - Медовый. Журнал - 1996. - №4. - стр. 49.

23. Самохвалов Д. П., Журавлев В. П., Петренко В. А., Николаева А. А. (106).- С. 126-130.

24. Ульянов А. В., Зоря В. И., Щукин В. Н. Наружный компрессионный динамический шов костей конечностей // Паллиативная медицина и реабилитация. Выпуски 2-3, 2002. Статья 107.

25. ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ УПРОЧНЕНИЯ И РАЗРУШЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ КОНЕЧНОСТЕЙ [Электронный ресурс] /DISSERCAT - Режим доступа: http://elar.urfu.ru/bitstream/10995/46974/1/978-5-7996-1993-0_2017.pdf (Дата обращения: 14.03.2022).

26. ХИРУРГИЧЕСКОЕ ЛЕЧЕНИЕ ПЕРЕЛОМОВ МЕТОДОМ НАКОСТНОГО ОСТЕОСИНТЕЗА [Электронный ресурс] /DISSERCAT - Режим доступа: <http://elibrary.ru/item.asp?id=23435590> - (Дата обращения: 28.02.2022).

27. Что нужно знать о титановых ортопедических имплантатах [Электронный ресурс] /DISSERCAT - Режим доступа: <https://monib-health.com/ru/post/9> (Дата обращения: 03.03.2022).

28. Шаповалов В. М., Хоминец В. В., Михайлов С. В. Основы внутреннего остеосинтеза - М.: ГЭОТАР-МЕДИА, 2009. - 240 с.

29. RETINOBLASTOMA [Электронный ресурс] /DISSERCAT - Режим доступа: <http://elibrary.ru/item.asp?id=18> - (Дата обращения: 02.03.2022).

30. SECOND LINE TREATMENT OPTIONS IN ADVANCED COLORECTAL CANCER[Электронный ресурс] /DISSERCAT - Режим доступа: <http://elibrary.ru/item.asp?id=1> (Дата обращения: 02.03.2022).