

М 188582

НА ДОМ
НЕ ВЫДАЕТСЯ

Министерство высшего и среднего специального образования СССР

Московское
ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени
высшее техническое училище им. Н. Э. Баумана

В. А. МАКАРОВА

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ
ОСОБЕННОСТЕЙ ПРОЦЕССА УЛЬТРАЗВУКОВОЙ
СВАРКИ КОСТНЫХ ФРАГМЕНТОВ

(050405- «Машины и технология сварочного производства»)

Диссертация написана на русском языке

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Работа выполнена в Московском ордена Ленина и ордена
Трудового Красного Знамени высшем техническом училище
имени Н. Э. Баумана.

Научный руководитель —
член-корреспондент АН СССР, проф. Г. А. Николаев.

Научный консультант — д. т. н., доц. В. И. Лошилов.

Официальные оппоненты:

д. т. н., проф. Фролов В. В.,

к. т. н., доц. Шубин Ф. В.,

д. м. н., проф. Шепелева И. С.

Ведущее предприятие —

Автореферат

Защита дисс.

на заседании С

зация производ

Москва, 107005,

С диссертаци

Ваши отзы

ные печатью уч

адресу.

Ученый секр

К. Т. Н.,

М188582

1973 г.

1973 г.

ехани-

адресу:

ИВТУ.

верен-

нному

анов.

Одним из актуальных вопросов современной хирургии и травматологии является разработка наиболее совершенных методов соединения костных тканей при оперативном лечении переломов, а также различной патологии костной и костно-суставной системы.

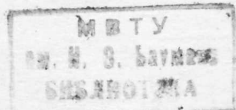
В МВТУ им. Н.Э.Баумана совместно с ЦОЛИУ(в) авторами: членом-корреспондентом АН СССР профессором Г.А.Николаевым, доцентом к.т.н. В.И.Ложиловым, профессором д.м.н. В.А.Поляковым и доцентом к.м.н. Г.Г.Чемяновым был разработан совершенно новый способ соединения костных тканей и замещение дефектов — способ ультразвуковой сварки и наплавки костных тканей.

Сущность метода ультразвуковой сварки и наплавки костных тканей состоит в том, что на сопоставленные костные фрагменты или в костные дефекты укладывается костная ауто-, гомо- или гетеростружка, которая пропитывается присадочным материалом, и под действием ультразвуковых колебаний в результате сложного комплекса физико-химических процессов вся эта масса преобразуется в твердый сварной шов или в костный конгломерат, которые прочно соединяют костные отломки. В качестве присадочного материала используется этил- α -цианакрилат, называемый "циакрином", который в данном случае выполняет роль связующего, прочно скрепляющего костную стружку с костью реципиента до тех пор, пока не начнется процесс перестройки костной стружки и замена её на вновь образующуюся ткань.

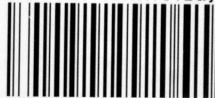
В настоящее время этот способ применяется в 50-й больнице (проф. В.А.Поляков), в ЦИТО (акад. АМН СССР М.В.Волков), в НИИК и ЭХ (акад. Б.В.Петровский, проф. д.м.н. В.И.Петров) и ряде других клиник, где выполнено более 1000 операций при различных повреждениях костно-суставной системы.

Применение этого метода в экспериментах на животных и в клинике выявило ряд вопросов, которые не были достаточно полно исследованы в ранее проведенных работах (В.Д.Леоничев, В.Г.Веденков, В.И.Ложилов): сварные швы должны не только прочно удерживать костные отломки, но и не мешать нормальному протеканию естественной регенерации костной ткани; необходимость регулирования процессом длительной прочности сварных соединений, находящихся в организме, и изучение возможности сварки различных от-

ФУНДАМЕНТАЛЬНАЯ



НТБ МГТУ им. Н.Э.Баумана



1188582

Макарова В.А. Исследования

М188582

делов кости.

Целью данной работы и явилось исследование некоторых физико-химических процессов ультразвуковой сварки костных тканей и разработка технологии, обеспечивающей получение прочных сварных соединений и нормальное протекание регенеративных процессов. В работе были поставлены следующие задачи:

1. Теоретическое и экспериментальное исследование механизма проникновения этил- α -цианакрилата в костную ткань при ультразвуковой сварке.
2. Исследование влияния акустических и технологических параметров процесса ультразвуковой сварки на прочность сварных соединений с учётом глубины проникновения этил- α -цианакрилата.
3. Исследование технологических приемов, повышающих прочность и водостойкость сварных соединений.
4. Экспериментальное исследование длительной прочности сварных соединений в живом организме. Анализ причин снижения прочности.
5. Разработка технологии ультразвуковой сварки фрагментов костной ткани прерывистыми швами и выдача технологических параметров для применения в клинике.

Диссертация состоит из 6 глав и изложена на 138 страницах машинописного текста, иллюстрированного 65 рисунками, библиография содержит 91 наименование.

В I главе описаны некоторые физические основы ультразвука и основные физические эффекты, возникающие в жидкости под действием поля ультразвуковых волн: кавитация, акустические течения, звуковое переменное давление. На основе литературных данных показано, что благодаря своим специфическим свойствам ультразвук нашел широкое применение в различных областях медицины: терапия, стоматология, онкология. В последние годы ультразвуковые колебания с успехом начали применять в травматологии, ортопедии и торакальной хирургии для сварки, наплавки и резки биологических тканей. В главе рассматриваются существующие способы ультразвуковой сварки и наплавки костных тканей: технология процесса, основные типы сварных соединений, присадочные мате-

риалы, механические свойства получаемых сварных соединений и оборудование. Показано, что применяемые в клиниках установки типа УРСК-7Н и УРСК-8Н, разработанные и изготовленные в МВТУ им. Н.Э.Баумана, отвечают всем необходимым медицинским и техническим требованиям.

В заключении главы отмечаются некоторые недостатки применяемого метода ультразвуковой сварки и наплавки костных тканей, которые были выявлены при клиническом применении.

Во II главе рассматриваются физико-химические процессы, происходящие при ультразвуковой сварке костных тканей.

Анализ литературных данных и наши исследования свидетельствуют о том, что ультразвуковые колебания, введенные в мономер циакрин, предварительно нанесенный на костные поверхности и обладающий хорошей проводимостью ультразвука, создают условия для интенсивного протекания гетерогенных химических, диффузионных, капиллярных, осмотических, полимеризационных и других процессов.

Учитывая сложный и многообразный характер этих процессов, их условно можно разбить на 3 группы:

1. Процессы, происходящие во всем объеме жидкого циакрина.
2. Процессы, происходящие на границе раздела костная ткань-циакрин.
3. Процессы, происходящие в участках костной ткани, прилегающих к сварному шву.

Экспериментальными исследованиями было установлено, что основными процессами ультразвуковой сварки костных тканей, играющими существенную роль при образовании сварного соединения, являются: процесс полимеризации циакрина, процесс химического взаимодействия циакрина с компонентами костной ткани и процесс проникновения циакрина в костную ткань.

При воздействии ультразвуковых колебаний на циакрин происходит зарождение активных центров полимеризации вследствие разрыва связей мономера и образование активных ионов и радикалов, которые под воздействием акустических течений перемещаются к границе раздела мономер-костная ткань и проникают в кость.

По нашему мнению, "активизированный" циакрин, проникая в костную ткань, может вступать в химическое взаимодействие с

аминогруппами коллагена, являющегося основной органической составляющей кости, образуя прочную единую систему. Взаимодействие важнейших аминокислот, входящих в состав коллагена, с циакрином было подтверждено экспериментально. Исследуя влияние ультразвука на присадочный материал, нами было установлено, что воздействие ультразвуковых колебаний значительно ускоряет процессы полимеризации циакрина и химического взаимодействия циакрина с компонентами костной ткани.

Заканчивается глава анализом возможности проникновения циакрина в костную ткань под воздействием ультразвуковых колебаний и описанием методов, позволяющих произвести экспериментальное исследование проникновения циакрина.

В третьей главе дается теоретический анализ процесса проникновения этил- α -цианакрилата в костную ткань и его экспериментальное подтверждение. Это проникновение обусловлено воздействием ультразвуковых колебаний как на жидкий циакрин, так и на границу раздела двух фаз и особенностями строения костной ткани.

Ультразвуковые колебания достаточной интенсивности способствуют возникновению кавитации, акустических потоков и переменного звукового давления на границе раздела фаз, в результате чего происходит нарушение граничного диффузионного слоя, раскрытие капилляров в поверхностном слое и ускорение процессов массообмена в биологических тканях; все это и создает предпосылки для проникновения циакрина.

Процесс проникновения этил- α -цианакрилата в костную ткань, с нашей точки зрения, может состоять из капиллярного течения циакрина в сосуды и каналы кости и в капилляры между коллагеновыми фибриллами, осмотического и диффузионного проникновения в коллаген. Поэтому в работе был применен термин "диффузионное проникновение", имея в виду проникновение циакрина в костную ткань, происходящее по всем возможным каналам.

В главе дается вывод уравнения, описывающего процесс диффузионного проникновения циакрина:

$$J_{\Sigma} = J_{\kappa} + J_{\delta} + J_0 \quad (I)$$

где: J_{Σ} - суммарный поток циакрина, проникшего в костную

ткань через 1 см² поверхности за t сек, г/см·сек²;

J_k - поток циакрина, проникшего по капиллярам;

J_d - поток диффузии циакрина через границу раздела в костную ткань;

J_o - поток, вызванный наличием осмотического давления на границе раздела.

В процессе биологического массопереноса поток J_o играет существенную роль, но при введении ультразвуковых колебаний он исчезает ввиду того, что полупроницаемые слои разрушаются переменным давлением, и заменяется обычным процессом диффузии. Поэтому уравнение (I) примет следующий вид:

$$J_y = J_k + J_d \quad (2)$$

Используя формулы для капиллярного течения и диффузионного проникновения применительно к нашим условиям и вводя поправочные коэффициенты: " α " - учитывающий строение костной ткани (капилляры кости имеют переменное сечение и сложное направление) и " κ " - учитывающий действие ультразвуковых колебаний, которые значительно ускоряют как капиллярные перемещения, так и диффузионные процессы, мы получили уравнение для потока циакрина, проникшего в костную ткань при ультразвуковой сварке:

$$J_y = \kappa \left(\sum_{i=1}^n \alpha \frac{\rho G \cos \theta r_i^3}{4 \eta l_i s} + \frac{2}{\sqrt{\pi}} \sqrt{\frac{\kappa t}{\eta}} \right) \text{ г/см}^2 \cdot \text{сек} \quad (3)$$

где: n - количество капилляров на 1 см² границы раздела;

r_i - радиус капилляра, см;

l_i - длина капилляра, см;

ρ - плотность циакрина, г/см³;

G - поверхностное натяжение на границе фаз, дн/см;

θ - краевой угол смачивания;

η - вязкость циакрина, дн·сек/см²;

t - время диффузии, сек;

κ - коэффициент пропорциональности, г³/см⁵·сек⁴.

Это уравнение дает качественную оценку диффузионного проникновения циакрина в костную ткань при ультразвуковой сварке.

Из него видно, что проникновение циакрина зависит от энергии ультразвуковых колебаний, состояния поверхности, строения костной ткани и вязкости циакрина.

Процесс проникновения циакрина в костную ткань ограничивается процессом полимеризации его в кости, обусловленного воздействием ультразвуковых колебаний на жидкий мономер и химическим взаимодействием этил- α -цианакрилата со стенками костных капилляров, содержащих аминокруппы коллагена.

Экспериментальное исследование проникновения этил- α -цианакрилата в костную ткань производилось с помощью метода меченых атомов. На фрагмент гетерокости наплавлялся столбик конгломерата из костной стружки и этил- α -цианакрилата, меченого по натрию-24 или углероду-14. Далее методом снятия слоев и замером в каждом отдельном случае радиоактивности на газоразрядном счетчике СТС-6 определяли глубину проникновения циакрина в костную ткань. Было установлено, что средняя глубина проникновения циакрина в костную ткань при ультразвуковой сварке составляет 150-200 микрон, в то время как при склеивании проникновение практически отсутствует (рис. I). Для получения качественной картины проникновения циакрина был применен микроскопический метод исследования, который показал существенное отличие процесса ультразвуковой сварки костных тканей от процесса склеивания.

В четвертой главе представлены результаты экспериментального исследования влияния технологических и акустических параметров процесса ультразвуковой сварки на глубину проникновения этил- α -цианакрилата и на прочность сварных соединений.

С помощью метода меченых атомов было установлено, что глубина проникновения этил- α -цианакрилата зависит от частоты и амплитуды ультразвуковых колебаний, времени озвучивания циакрина, подготовки поверхности, вязкости мономера и направленности ультразвукового поля. Необходимо отметить, что нарастание глубины проникновения циакрина происходит до определенного значения, после которого увеличения глубины проникновения не наблюдается. Дальнейшему проникновению, по нашему мнению, препятствует развивающийся процесс полимеризации циакрина в костной ткани. Основными факторами, влияющими на глубину проникновения, которыми легко можно оперировать в процессе сварки, являются время воздей-

ствия ультразвуковых колебаний на жидкий мономер и амплитуда колебаний инструмента.

Экспериментальными исследованиями установлено, что оптимальными параметрами процесса, с точки зрения проникновения циакрина в костную ткань при ультразвуковой сварке, являются:

$f = 26,5$ кгц; $A_{\text{озв.}} = 30$ мк; $t_{\text{озв.}} = 30$ сек.

При операциях, проводимых в клинике, приходится производить ультразвуковую сварку на различных отделах и поверхностях кости, поэтому было исследовано влияние качества костной ткани на глубину проникновения этил- α -цианакрилата (рис.2). Из приведенных экспериментальных данных следует, что глубина проникновения циакрина зависит от качества и строения костной ткани, что необходимо учитывать при проведении операций.

Проведены исследования влияния глубины проникновения циакрина на прочность и водостойкость сварных соединений, так как сварное соединение костных фрагментов после операции подвергается продолжительному воздействию влажной среды. Установлено, что увеличение диффузионного проникновения этил- α -цианакрилата повышает как статическую прочность, так и водостойкость сварных соединений. Проникновение циакрина на глубину 200 микрон обеспечивает статическую прочность на отрыв до 120 кг/см^2 , а на срез - до 70 кг/см^2 . Такие сварные соединения способны нести длительные статические нагрузки, и разрушение их происходит лишь на 60-70 сутки, что вполне приемлемо для сроков регенеративных процессов.

Анализ результатов исследований показал, что при ультразвуковой сварке костных тканей необходимо получение определенной глубины проникновения циакрина в кость, которая обеспечивает достаточную прочность сварных соединений на установленные периоды последующей регенерации костной ткани. Поэтому было предложено уравнение для расчёта глубины проникновения циакрина в зависимости от качества костной ткани и основных параметров процесса ультразвуковой сварки: времени озвучивания мономера и амплитуды колебаний инструмента. Варьируя этими параметрами, мы можем получать сварные соединения с требуемой глубиной проникновения. При $f = 26,5$ кгц

$$H = H_{\max} (1 - e^{-\alpha A t}) \quad (4)$$

где: H - глубина проникновения, мк ;

$H_{\max}$ - максимальная глубина проникновения при оптимальных режимах сварки, мк ;

α - коэффициент, зависящий от качества костной ткани, г/мк.сек ;

A - амплитуда, мк ;

t - время озвучивания, сек .

Для периостальной поверхности кости было определено частное решение этого уравнения:

$$H_{\text{пер}} = H_{\max} (1 - e^{-0,003 A t})$$

Сопоставление расчётных и экспериментальных данных показало их хорошую сходимость.

Пятая глава посвящена исследованию причин, вызывающих снижение прочности сварных соединений в процессе регенерации костных тканей.

Основной задачей ультразвуковой сварки костных фрагментов является получение биологически приемлемого сварного шва, обладающего несущей способностью и обеспечивающего удержание костных отломков в неподвижном состоянии на период естественной регенерации костных тканей.

В главе дается анализ процесса регенерации костных тканей при наличии сварного соединения и причин "разупрочнения" сварных соединений.

Проведенные морфологические, рентгенологические и радиологические исследования показали, что метод ультразвуковой сварки не препятствует срастанию костных отломков и не имеет побочных воздействий на костную ткань и на ход регенеративных процессов.

Сварные соединения теряют свою прочность в водной среде с течением времени. В организме сварной шов постоянно соприкасается с влажной средой, вследствие чего прочность соединений также должна изменяться. Было установлено, что сварное соединение, находясь в организме, подвергается действию деформаций, вызванных набуханием конгломерата, гидролиза и деструкции этил- α -

цианакрилата. Эти факторы, влияя в совокупности, и будут снижать прочность сварного соединения. Гидролиз и развитие деформаций в сварном соединении начинают снижать прочность сварного соединения в первые дни после операции, когда прочность обеспечивается только механической прочностью сварки. Деструкция является необходимым условием для нормальной регенерации костной ткани и ее влияние неопасно, так как процесс деструкции ускоряется уже после начала образования костной мозоли и нарастания биологической прочности. В главе приводится схема деструкции в организме сварного шва.

Таким образом, чтобы получить качественное сварное соединение недостаточно добиться высокой первоначальной прочности, необходимо, чтобы эта прочность сохранялась или чтобы ее падение было незначительно на период до начала образования костной мозоли. Для этого, по нашему мнению, нужно уменьшить или устранить развитие деформаций в сварном соединении и снизить степень гидролиза циакрина.

Заканчивается глава исследованием технологических приемов, позволяющих повысить прочность сварных соединений во влажной среде. Рекомендуется применять предварительное озвучивание жидкого этил- α -цианакрилата, нанесенного на костную ткань в месте сварки, с целью увеличения глубины проникновения его; введение в этил- α -цианакрилат добавок, снижающих степень его гидролиза, и нанесение на сварные швы водостойких покрытий.

В шестой главе рассматриваются вопросы, связанные с разработкой технологии ультразвуковой сварки костных фрагментов прерывистыми швами, и описываются исследования, проведенные на животных с целью уточнения результатов, полученных при моделировании процесса на образцах.

Гистологические и морфологические исследования, проведенные нами совместно с врачами, показали, что прерывистые сварные соединения являются с точки зрения регенерации более перспективными. Они дают возможность протеканию процессов естественной регенерации костной ткани на свободных от сварки участках, одновременно прочно удерживая костные отломки. Нами был предложен один из видов прерывистых швов - "точечные" сварные соединения. Были реко-

мендованы "точечные" сварные соединения при прямом и косом переломах и при замещении дефектов кости по методу "вязанки хвоста". Для оценки несущей способности сварных конструкций, выполненных "точечными" швами, проводились испытания на изгиб костных отломков трубчатых костей. Результаты испытаний показали достаточно высокую прочность "точечных" соединений. Разрушение таких конструкций на базе 170 мм происходило при изгибающем усилии от 38 до 42 кг, что позволило рекомендовать их для применения в клинике, как отвечающие требованиям регенерации костной ткани и обладающие достаточной прочностью.

Проведенные исследования длительной прочности сварных соединений, находящихся в живом организме, показали, что применение разработанных технологических приемов позволяет замедлить падение механико-биологической прочности и что изменение механической прочности сварных соединений в организме соответствует данным, полученным при моделировании процесса на костных образцах в водной среде. Результаты этих экспериментов дают основание считать, что можно регулировать процесс изменения прочности сварных соединений в организме и задавать необходимый характер падения прочности в зависимости от требований, предъявляемых врачами при лечении различных повреждений костной системы.

На основании экспериментальных исследований, с учетом процессов нормальной регенерации костной ткани, была разработана технология ультразвуковой сварки "точечными" швами костных фрагментов, состоящая из 4 этапов:

1. Подготовка поверхности под сварку.
2. Сварка.
3. Нанесение защитных покрытий.
4. Контроль качества сварных соединений.

Выданы рекомендации для выбора типа и конструкции сварных соединений и для получения необходимого характера изменения прочности сварных соединений в процессе регенерации при остеосинтезе костных тканей ультразвуковой сваркой.

Предложенная технология ультразвуковой сварки костных фрагментов "точечными" швами внедрена в клиническую практику ЦИТО, где выполнено более 100 операций. Все операции прошли ус-

пешно, без каких-либо патологических явлений.

Метод ультразвуковой сварки и наплавки костных тканей был одобрен Бюро Президиума Ученого Совета Минздрава СССР и Президиумом Академии Наук СССР и рекомендован к применению в различных областях медицины.

ВЫВОДЫ

1. Рассмотрены основные физико-химические процессы, происходящие при ультразвуковой сварке и наплавке костных тканей. Показано, что этил- α -цианакрилат вступает в химическое взаимодействие с коллагеном костной ткани, образуя с ним ковалентные связи и способствуя тем самым увеличению механической прочности и водостойкости сварных соединений.

2. Проведен теоретическо-экспериментальный анализ процесса диффузионного проникновения этил- α -цианакрилата в костную ткань при ультразвуковой сварке. Предложено уравнение, описывающее процесс проникновения.

3. Разработана методика экспериментального определения глубины проникновения этил- α -цианакрилата в костную ткань с использованием метода меченых атомов и микроскопического исследования. Установлено, что средняя глубина проникновения этил- α -цианакрилата при ультразвуковой сварке составляет 150-200 микрон, а при склеивании практически отсутствует.

4. Показано, что глубина проникновения этил- α -цианакрилата зависит от технологических и акустических параметров ультразвуковой сварки и качества костной ткани. Определены оптимальные параметры процесса: $f=26,5$ кгц; $A=30$ мк; $t_{об-ки} 8\% HCl=4-5$ мин.; $t_{озв.}=30$ сек. Установлено, что строение торцевой поверхности кости способствует наибольшему проникновению этил- α -цианакрилата.

5. Исследовано влияние глубины проникновения этил- α -цианакрилата на прочность и водостойкость сварных соединений. Разработана методика, позволяющая определять прочность соединения конгломерата с костью и предложено уравнение для расчёта глубины проникновения этил- α -цианакрилата в костную ткань при ультразвуковой сварке. Установлено, что при максимальной глубине проникновения этил- α -цианакрилата в костную ткань первоначаль-

ная прочность на отрыв составляет в среднем 120 кг/см^2 , а на срез — 70 кг/см^2 ; разрушение сварного соединения происходит на 60-70 сутки пребывания во влажной среде.

6. Показано, что, применяя различные технологические приемы (предварительное озвучивание этил- α -цианакрилата, введение в него водостойких добавок, нанесение на сварные швы защитных покрытий), можно уменьшить или задержать падение прочности сварного соединения во влажной среде на период до начала интенсивного образования костной мозоли.

7. Предложены новые типы сварных соединений — "точечные" и разработана технология сварки их, обеспечивающая получение прочных сварных соединений и нормальное протекание регенеративных процессов.

8. Изучено поведение сварных соединений в организме и показано, что процесс изменения прочности сварных соединений в организме можно регулировать. Установлено, что основными причинами снижения прочности являются: деформация сварного соединения, гидролиз и деструкция этил- α -цианакрилата. Проведенные экспериментальные исследования длительной прочности сварных соединений в организме показали, что применение разработанной технологии сварки позволило сохранить на 24-30 день после операции (в период наименьшей прочности соединений) 55-60% первоначальной прочности. Дальнейшее снижение прочности сварного соединения компенсируется нарастанием костной мозоли.

9. В результате проведенных экспериментов выданы рекомендации для применения в клинике процесса ультразвуковой сварки костных фрагментов прерывистыми или "точечными" швами. В клиниках ЦИТО проведено более 100 операций с использованием разработанной технологии ультразвуковой сварки прерывистыми швами.

Литература,

опубликованная по теме диссертации:

1. Волков И.В., Семенов В.А., Игнатов Н.Ф., Макарова В.А., Ультразвуковое рассеечение тканей и ультразвуковой остеосинтез. Сборник трудов ЦИТО, вып.4 "Актуальные вопросы травматологии и ортопедии", Москва, 1971.
2. Макарова В.А., Исследование глубины проникновения циакрина

- в кость при ультразвуковой сварке и наплавке и влияние его на прочность сварных соединений. Всесоюзная научная конференция (тезисы докладов), Москва, июнь 1972.
3. Ложилов В.И., Семенов В.А., Макарова В.А., Экспериментальные исследования глубины проникновения цианакрилата при ультразвуковой сварке. Сборник трудов ЦИТО, вып.5 "Актуальные вопросы травматологии и ортопедии", Москва, 1972.
 4. Макарова В.А., Влияние водной среды на прочность сварных соединений при ультразвуковой сварке костных тканей. Всесоюзная научная конференция (тезисы докладов), Ростов-на-Дону, сентябрь 1972.
 5. Макарова В.А., Бережной А.П., Горелов И.А., Таранихин И.О. Экспериментальное исследование прочности сварных соединений костей в организме. Четвертая Всесоюзная конференция молодых ученых по вопросам травматологии и ортопедии (тезисы докладов), Москва, ноябрь 1972.

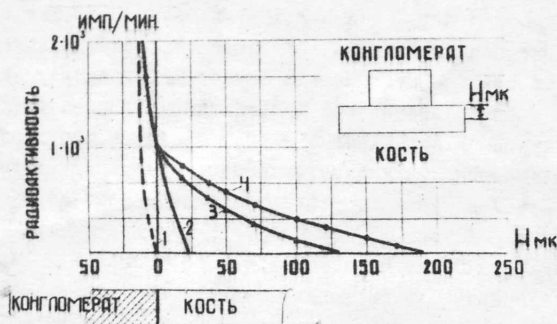


Рис.1. Экспериментальное определение диффузионного проникновения этил- α -цианакрилата в костную ткань при ультразвуковой сварке.

1,2 - склеивание; 3,4 - сварка.

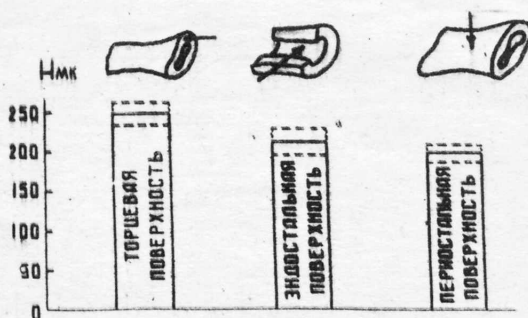


Рис.2. Проникновение циакрина на различных отделах кости.