

Разработка ретрактора для флебологических операций

Аннотация

Проведено исследование по разработке ретрактора для флебологических операций и анализу конструкции, изготовленной из медицинской нержавеющей стали марки 12Х18Н10Т. Показано, что разработанная конструкция ретрактора обеспечивает стабильность проведения хирургической операции, при нагрузке не происходит значительных отклонений составных частей ретрактора и конструкция остается жесткой. Анализ сварного шва показал, что ИК-сварка обеспечивает прочное и надежное крепление составных частей ретрактора.

Введение

Венозная болезнь нижних конечностей – одна из самых распространенных болезней современного человечества, от этого недуга страдают люди не только преклонного возраста, но и молодого возраста. Одним из первых проявлений варикозного расширения вен является появление сосудистой сетки на коже, или телеангиоэктазий. На первой стадии развития болезни подобные нарушения кровотока в сосудах имеют лишь эстетический эффект, но при дальнейшем развитии болезни могут привести к трофическим язвам. В последнем случае уже требуется хирургическое лечение. Поскольку варикозное расширение вен сопровождается нарушением кровотока, для лечения этой болезни необходимо восстановить здоровый кровоток в сосудах. Для этой цели применяют минифлектомию, а в более сложных случаях, когда уже происходит тромбообразование, проводят операции Троянова-Тренделенбурга [1].

Для извлечения пораженной вены обычно используют такой медицинский инструмент, как ретрактор. Ретрактор представляет собой стальную рукоятку, на конце которой располагается крючок. Так как удобнее изготавливать по отдельности основные компоненты ретрактора, то в дальнейшем необходимо их соединить. Основным материалом, из которого изготавливают медицинские инструменты, – это нержавеющая сталь, ингредиенты которой возможно соединить сваркой. Наиболее перспективным методом является ИК-сварка.

Целью рассматриваемой работы являлось исследование перспективности использования медицинской нержавеющей стали марки 12Х18Н10Т в качестве материала для изготовления ретрактора, а также изучение состава и прочности сварного шва.

Материалы и методы

В качестве материала ретрактора была выбрана медицинская нержавеющая сталь марки 12Х18Н10Т. Для исследования структурного состава и морфологии поверхности были подготовлены прямоугольные образцы стали шириной 2 мм и толщиной 0,3 мм. Между собой образцы сваривались с помощью ИК-лазерной сварки на портативной лазерной установке для микросварки LRS-50 (ООО «ОКБ «Булат»», Россия) при режиме со следующими техническими параметрами: рабочее напряжение – 230 В; длительность импульса – 6 мс; частота импульса – 2 Гц; размер пятна – 0,6 мм.

Перед сваркой поверхность образцов очищали этиловым спиртом. Далее сваренные образцы помещали в литьевую форму и заливали полимерным композитом на основе метилметакрилата – ММА. После полимеризации ММА образцы полировали наждачной бумагой разной зернистости – от грубой до мелкой. В результате образец представлял собой цилиндр, внутри которого располагались пластины стали, соединенные между собой сварным швом; подобное соединение позволило исследовать поперечный срез стали и ее изменения при сварке.

Готовый образец подвергали химическому травлению водным раствором 10...15%-ной азотной кислоты (по ГОСТ

5639-62, с. 14) для выявления границ зерен в стали, а также улучшения контрастности изображения при исследовании поверхности шлифа.

Исследование морфологии и энергодисперсионный рентгеновский анализ (ЭДРА) состава сварного шва проводились на растровом электронном микроскопе «Aspex Explorer» («Aspex», США) при ускоряющем напряжении электронного пучка 20 кВ.

Дополнительно исследовали перемещения и напряжения конструкции ретрактора при нагрузке. Подобное моделирование проводилось в программном комплексе «SolidWorks 2014» («SolidWorks Corporation», США) при нагрузке 1 Н, такая нагрузка на инструмент возможна при проведении хирургической операции.

Результаты

На рис. 1 показана объемная модель ретрактора, состоящего из рукоятки, стержня и крючка. Реальный материал ретрактора – медицинская сталь марки 12Х18Н10Т по ТУ 3-1002-77 – в программе был заменен на отожженную нержавеющую сталь AISI 321.

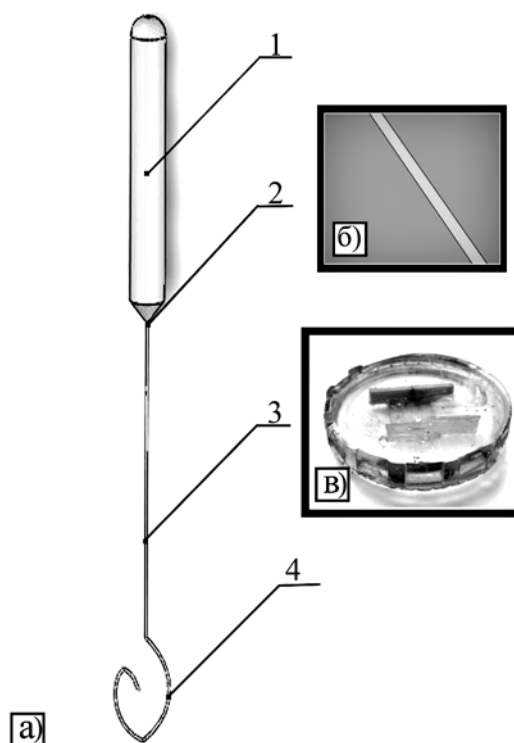


Рис. 1. Чертеж ретрактора для мобилизации подкожных вен (а): 1 – рукоятка; 2 – сварной шов; 3 – стержень; 4 – крючок; условное увеличенное изображение сварного шва, выполненного ИК-сваркой (б); шлиф образца для исследования сварного шва (в)

Работа ретрактора представляет собой следующий процесс. Вначале определяют расположение и тип подкожной вены: большая подкожная, малая подкожная, латеральная подкожная; обычно это происходит под контролем ультразвукового исследования. После определения типа вены над ней выполняют прокол кожи иглой диаметром 0,9...2 мм. Как известно, этот диапазон определяет в среднем толщину кожи, хотя максимум может достигать 4 мм [2]. Ретрактор берут за рукоятку 1, плоскость которой совпадает с плоскостью стержня 2 и крючка 3, расположенного на конце стержня, при помощи которого захватывают пораженную вену, что служит ориентиром для хирурга (рис. 1а). Через прокол кожи под УЗИ-контролем заводят улавливающую часть данного устройства, достигая подкожных вен за счет длинного жесткого стержня ретрактора 2. Жесткость стержня ретрактора 2 также необходима для того, чтобы вена не соскальзывала и могла быть мобилизована, после чего вену полностью захватывают и мобилизуют (извлекают) на поверхность кожи. После мобилизации вены выполняют ее пересечение [3]. Далее под УЗИ-контролем в нее вводят радиозонд до сафено-фemorального или сафено-попliteального соустья и выполняют радиочастотную абляцию, затем концы вены перевязывают и погружают таким образом, чтобы ликвидировать патологический вертикальный рефлюкс по подкожным венам.

На рис. 1б представлено увеличенное изображение места соединения рукоятки и стержня при помощи ИК-сварки. Шлиф образца для исследования сварного шва показан на рис. 1в.

Моделирование расположения ретрактора в зависимости от диаметра стержня показано на рис. 2. Видно, что отклонение стержня от основной оси инструмента незначительно. При моделировании поведения крючка при нагрузке последовательно рассматривались различные диаметры стержня: 0,8; 1 и 2 мм. Анализ расчетов показал, что при всех диаметрах стерж-

ня отклонение формы незначительное и ретрактор практически не деформируется (рис. 2). Если промоделировать напряженно-деформированное состояние, то меньшее напряжение будет для стержня с диаметром 2 мм. Значения, приведенные в табл. 1, подтверждают сделанные выше выводы.

Изображения морфологии сварного шва, полученные на растровом электронном микроскопе (РЭМ), представлены на рис. 3. На рис. 3а различимы несколько ванн расплава при лазерной сварке. Поскольку можно наблюдать четкие границы ванн расплава, можно предположить, что было несколько импульсов при сварке, что соответствует действительности. При увеличении изображения ванны расплава проявляется микроструктура сварки, что показано на рис. 3б. Несмотря на то что нержавеющая сталь наиболее тяжело поддается химическому травлению, поскольку обладает повышенной коррозионной стойкостью, на рис. 3б видны зерна стали в упорядоченном и направленном состоянии.

Результаты энергодисперсионного анализа представлены на рис. 4. Как видно, спектр представляет собой набор рефлексов химических элементов, соответствующих составу медицинской стали 12Х18Н10Т: железа (Fe), хрома (Cr), кремния (Si), никеля (Ni), углерода (C).

Наибольшие по интенсивности рефлексы соответствуют Fe и Cr, входящим в состав медицинской стали марки 12Х18Н10Т, в которой содержится около 67 % Fe и 16...17 % Cr. Также в спектре выделяется Ni как легирующий ингредиент нержавеющей стали. Повышенную плотность и прочность сварному шву обеспечивают Si и C.

Наличие пика золота Au объясняется предварительной подготовкой образца перед ЭДРА. При этом перед ЭДРА на образцы напыляли тонкий слой золота, поскольку большая часть образца состоит из полимерной матрицы, представляющей собой диэлектрик. Тонкий токопроводящий слой золота

Таблица 1

Значения отклонений (мм) и напряжений по Мизесу (Н/мм²)

| Диаметр стержня, мм | 0,8 | 1,0 | 2,0 |
|---|------------------------|------------------------|------------------------|
| Минимальное отклонение при нагрузке на крючок, мм | $1,015 \cdot 10^{-30}$ | $1,011 \cdot 10^{-30}$ | $1,007 \cdot 10^{-30}$ |
| Минимальное отклонение при нагрузке на стержень, мм | $1,007 \cdot 10^{-30}$ | $1,003 \cdot 10^{-30}$ | $1,001 \cdot 10^{-30}$ |
| Максимальное отклонение при нагрузке на крючок, мм | $3,282 \cdot 10^{-9}$ | $3,272 \cdot 10^{-9}$ | $3,261 \cdot 10^{-9}$ |
| Максимальное отклонение при нагрузке на стержень, мм | $3,333 \cdot 10^{-6}$ | $3,332 \cdot 10^{-6}$ | $3,29 \cdot 10^{-9}$ |
| Минимальное напряжение при нагрузке на крючок, Н/мм ² | $7,565 \cdot 10^{-9}$ | $2,278 \cdot 10^{-9}$ | $4,997 \cdot 10^{-8}$ |
| Минимальное напряжение при нагрузке на стержень, Н/мм ² | $5,660 \cdot 10^{-10}$ | $8,713 \cdot 10^{-10}$ | $9,269 \cdot 10^{-10}$ |
| Максимальное напряжение при нагрузке на крючок, Н/мм ² | $1,444 \cdot 10^2$ | $1,428 \cdot 10^2$ | $1,425 \cdot 10^2$ |
| Максимальное напряжение при нагрузке на стержень, Н/мм ² | $1,938 \cdot 10^2$ | $1,938 \cdot 10^2$ | $1,912 \cdot 10^2$ |

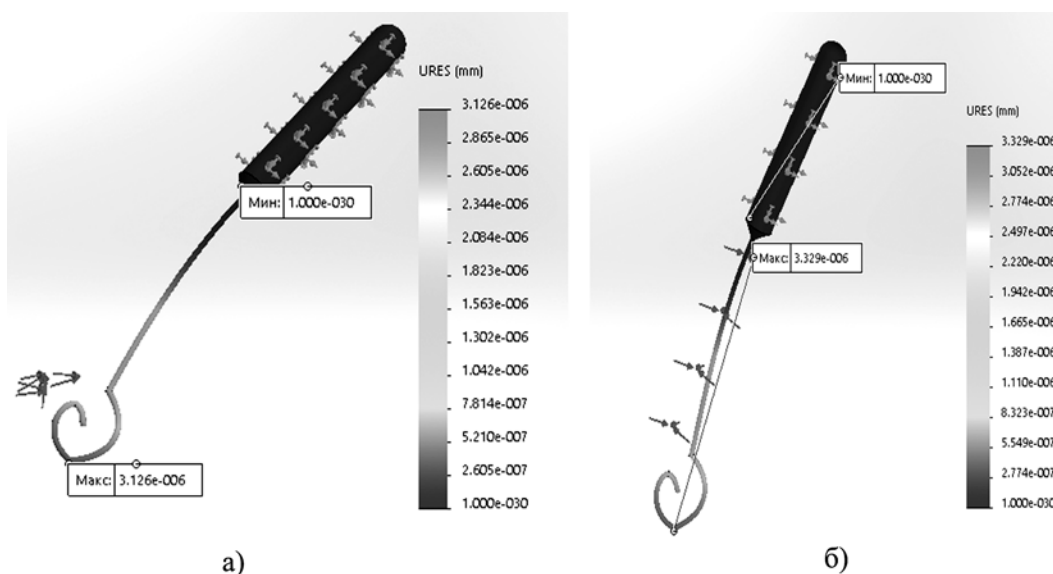


Рис. 2. Изменение положения ретрактора при усиллии 1 Н с диаметром стержня 0,8 мм при нагрузке на крючок (а) и стержень (б)

позволяет снять напряжение и увеличить контраст изображения [4], [5]. Идентифицируемый пик *O* свидетельствует о том, что при ИК-сварке поверхность стали окисляется и образуются различные оксиды.

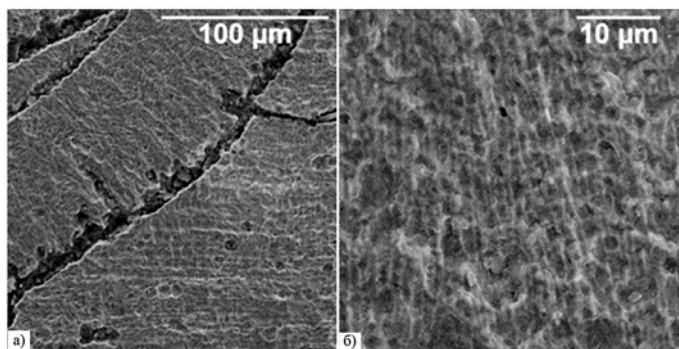


Рис. 3. РЭМ-изображение морфологии и структуры образца стали 12X18H10T при увеличениях $\times 2500$ (а) и $\times 10000$ (б)

Заключение

Как показывают результаты исследований, разработанная конструкция ретрактора обеспечивает стабильность проведения хирургической операции, так как при нагрузке не происходит значительных отклонений каких-либо составных частей ретрактора и конструкция постоянно остается жесткой. На основании прочностных характеристик нержавеющей стали марки 12X18H10T, при которых деформация конструкции ретрактора была незначительна, выявлен наиболее оптимальный диапазон диаметра стержня, а также его длина, составляющие 0,8...2,0 и 60...70 мм соответственно.

Анализ сварного шва показал, что ИК-лазерная сварка обеспечивает прочное и надежное крепление составных частей ретрактора. Энергодисперсионный анализ выявил в составе сварного шва присутствие таких элементов, как углерод и кремний, которые придают шву более высокие плотность и прочность.

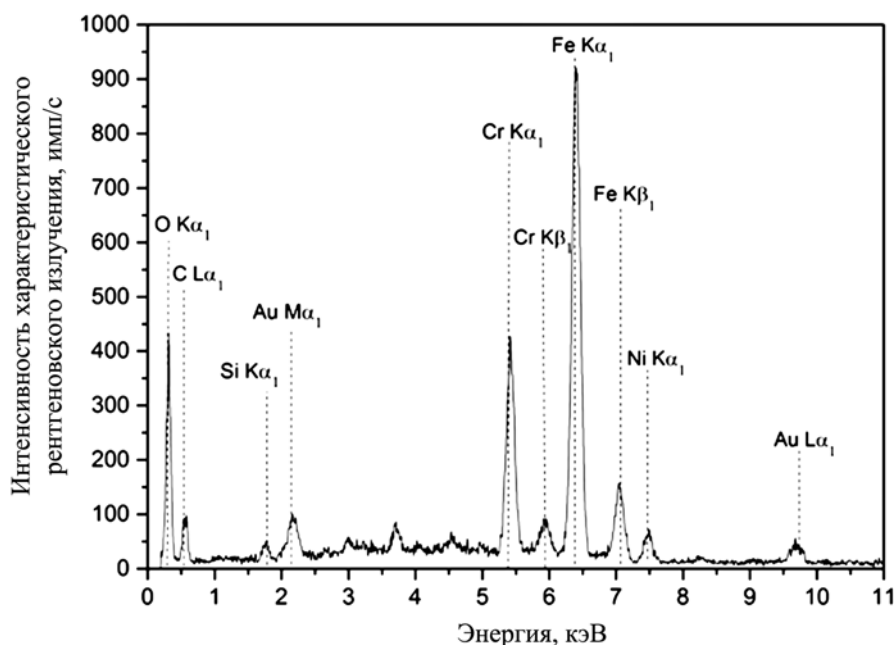


Рис. 4. ЭДРА поверхности сварного шва ИК-сварки стали 12X18H10T после обработки водным раствором 10...15%-ной азотной кислоты

Список литературы:

1. Богачев В.Ю. Местное лечение хронических заболеваний вен // Фарматека. 2013. № 10. С. 83-87.
2. Кириенко А.И., Золотухин И.А., Богачев В.Ю. и др. Отдаленные результаты эндоскопической диссекции перфорантных вен голени при хронической венозной недостаточности // Ангиология и сосудистая хирургия. 2007. № 2. С. 68-72.
3. Ероклинцев В.Н., Терехов А.М., Пятницкий А.Г., Чаббаров Р.Г., Гаврилов В.А., Пичхидзе С.Я. Ретрактор для мобилизации стволковых и перфорантных подкожных вен / Патент РФ на полезную модель № 167389. 10.01.2017. Бюл. № 1.
4. Echlin P. Handbook of sample preparation for scanning electron microscopy and X-ray microanalysis. – Springer Science & Business Media, 2011. 332 p.
5. Mitra S. Sample preparation techniques in analytical chemistry. – John Wiley & Sons, 2004. 488 p.

Алексей Михайлович Терехов,
сосудистый хирург, хирург-колопроктолог,
ООО «Омега клиник»,
Владимир Николаевич Ероклинцев,
директор,
НПФ ООО «Кварц»,
Виктория Олеговна Лукьянова,
студентка 2-го курса магистратуры,
Сергей Яковлевич Пичхидзе,
д-р техн. наук, профессор,
кафедра «Физическое материаловедение
и биомедицинская инженерия»,
ФБГОУ ВПО «Саратовский государственный
технический университет им. Гагарина Ю.А.»,
г. Саратов,
e-mail: lukyanova.viky@yandex.ru