

Литература

1. Счастный, А. С. Исследование возможности контроля анизотропии листового проката / А. С. Счастный, А. А. Осипов // Неразрушающий контроль и диагностика. – 2014. – № 3. – С. 20–33.

2. Бурак, В. А. Анизотропия магнитных свойств листового проката из стали 35 / В. А. Бурак, В. Ф. Матюк, А. С. Счастный // Неразрушающий контроль и диагностика. – 2019. – № 3. – С. 17–31.

3. Бурак, В. А. Влияние величины размагничивающего поля на магнитную анизотропию листового проката сталей // Современные методы и приборы контроля качества и диагностики состояния объектов: Сб. ст. 8-ой Междунар. научн.-технич. конф., Могилев, 29–30 сентября 2022 г. / Бел.Рос. ун-т; редкол.: М. Е. Лустенков (гл. ред.) [и др.]. – Могилев, 2022. – С. 63–66.

4. Импульсный магнитный анализатор ИМА-6 / В. Ф. Матюк [и др.] // Дефектоскопия. – 2009. – № 7. – С. 62–74.

УДК 617-089.844

АНАЛИЗ ПРОЧНОСТИ И ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКЦИИ БАЛЛОНОРАСШИРЯЕМЫХ СТЕНТОВ Вечорко А.В.¹, Бодяк Д.А.¹, Минченя В.Т.²

¹Государственное предприятие «Научно-технологический парк БНТУ «Политехник»

²Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Аннотация. В статье рассмотрены проблемы при разработке конструкций баллонорасширяемых стентов и показана возможность их оптимизации с целью обеспечения заданных физико-механических характеристик. Показано, что для успешного и корректного решения задачи методом конечно-элементного анализа прежде всего необходимо создать геометрическую модель стента и выбрать правильно область для расчета, провести процедуру численного решения в Ansys и правильно задать граничные условия.

Ключевые слова: баллонорасширяемый стент, параметрическая оптимизация, рекойл.

STRENGTH ANALYSIS AND DESIGN OPTIMIZATION BALLOON EXPANDABLE STENTS Vechorko A.¹, Bodyak D.¹, Minchenya V.²

¹State enterprise “Science and technology park of BNTU Polytechnic”

²Belarusian National Technical University
Minsk, Republic of Belarus

Abstract. The article deals with the problems in the development of designs of balloon-expandable stents and shows the possibility of their optimization in order to ensure the specified physical and mechanical characteristics. It is shown that for a successful and correct solution of the problem by the finite element analysis method, first of all, it is necessary to create a geometric model of the stent and choose the correct area for calculation, carry out the numerical solution procedure in Ansys and correctly set the boundary conditions.

Key word: balloon expandable stent, parametric optimization, recoil.

Адрес для переписки: Вечорко А.В., Сурганова 47/1, Минск 220113, Республика Беларусь
e-mail: artvechorko@gmail.com

В последние десятилетия в клинической практике для лечения атеросклеротического поражения сосудов хорошие результаты показывают эндоваскулярные технологии лечения и сегодня коронарному стентированию отводится основное место в лечении больных. Однако, несмотря на значительный успехи и широкое распространение коронарного стентирования, ему присущи ряд недостатков, лимитирующие его эффективность. Чаще всего это связано с перераздутием баллона во время стентирования, неправильно подобранных геометрических характеристик стента, неправильного раскрытия стента при раздувании, недостаточная поддержка стенки сосуда из-за рекойла. Поэтому, одним из основных требований, предъявляемых к коронарным стентам, является обеспечение механической прочности и целостности

конструкции на всех этапах его установки, в том числе при перемещении стента в место постановки, при расширении и поддержании просвета сосуда.

Материал и дизайн, толщина ламелей (элементов структуры), площадь контакта со стенкой сосуда (металлонасыщенность) определяют качество проведения операций и долговечность работы баллонорасширяемого стента. В связи с этим, оценка механических характеристик, оптимизация конструкции стентов для устранения недостатков, выявленных на практике их использования очень актуальна как для разработчиков и производителей, так и для потенциальных потребителей – врачей.

Следует отметить, что нельзя одновременно улучшить все выше перечисленные параметры

баллонорасширяемого стента, так как одни из них могут быть взаимоисключающими. Например, выбранный материал и дизайна стента с большой радиальной жесткостью может привести к меньшей гибкости, а самый оптимальный дизайн может зависеть от механических свойств материала и процесса раскрытия его на баллоне. Экспериментальный метод поиска оптимальной конструкции стента очень трудоемкий и затратный, так как требуется множество экспериментальных образцов, поэтому использование методов компьютерного конечно-элементного моделирования является наиболее перспективным. Существует множество пакетов программного обеспечения для проведения конечно-элементного анализа. В научно-технологическом парке БНТУ «Политехник» практика применения пакета Ansys с приложением Isight и надстройки Tosca Structure for Ansys для топологической оптимизации, показала эффективность их использования для оптимизации параметров стентов.

Для исследования и проведения оптимизации нами за основу был взят дизайн стента представленный на рис. 1.

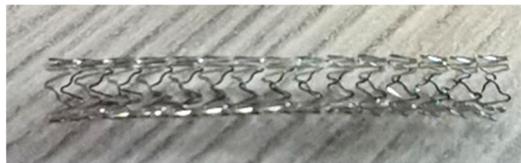


Рисунок 1 – Дизайн коронарного баллонорасширяемого стента

Для успешного и корректного решения задачи методом конечно-элементного анализа нами проведен предварительный анализ проблемы и установлен план решения задачи. На этапе предварительного анализа была рассмотрена геометрия стента и рассмотрены возможные ее упрощения, не влияющие на радиальную жесткость и гибкость, однако сокращающие количество элементов, Геометрическая модель заготовки саморасширяющегося стента была построена в пакете 3D моделирования Solidworks. Модели представляют собой резанные из трубки конструкции, состоящую из определенного количества сегментов (в зависимости от длины стента), соединенных между собой перемычками. Для баллонорасширяемых стентов использовались трубки из кобальт-хромового сплава L605, нержавеющей стали AISI 316LVM. Для построения математической модели были рассмотрены основные уравнения, граничные условия и допущения, содержащиеся в этой модели.

Анализ конструкции исходного стента показал, что для расчета достаточно использовать только одну область геометрии, которая повторяется по определенному закону. Так как расширение стента производится баллоном, то, для упрощения, в модели Ansys расширение стента будет

производиться с помощью цилиндрической поверхности имеющей свойства гиперэластичности, чтобы пренебречь напряжения в самом баллоне.

Следующим этапом компьютерного моделирования, явилось задание свойств материала баллона и свойств материала стента который расширяется этим баллоном в Ansys. Трением в контактной паре мы пренебрегли так как рассматривали исключительно напряжения внутри стента. После определения контактных поверхностей, задания параметров контакта и схемы контактного проникновения была создана расчетная сетка (Mesh). Последним этапом в подготовке к расчету, является задание граничных условий: расширение баллона до 5 мм; задание для стента поддержек с нулевым трением в местах его разделения на сегмент.

По полученной модели, была проведена предварительная оценка распределения напряжений и деформаций модели стента при расширении баллоном и определены максимальные напряжения в самых опасных местах, которые достигали 400 МПа. Были выявлены зоны с максимальной вероятностью разрушения материала в зонах на радиусах ламелей стента. После предварительного анализа, для устранения выявленных недостатков, нами была проведена параметрическая оптимизация стента в пакете для автоматизации и оптимизации процессов Isight. Изменяемым параметром приняли ширину ламелей стента.

По полученной развертке в параметрической оптимизации были изготовлены экспериментальные образцы стентов. Оценку оптимальности каждой развертки было решено проводить визуально, изучая качество раскрытия стента, а также по результатам измерения рекойла стента при его раскрытии и снятии давления в баллоне.

Оценка раскрытия стента и измерение его рекойла производилось на комбинированном тестере давления BWТес с интегрированным цифровым индикатором MITUTOYO (рис. 2).



Рисунок 2 – Измерение рекойла стента

Измерение рекойла исходного образца показало значение в 10 % при раскрытии стента до номинального диаметра. Значение в 10 % слишком велико, при имплантации такого стента в сосуд может возникнуть его миграция с последующим рестенозом. Оптимизированная модель стента показала значения рекойла на уровне 2 %, что является хорошим результатом для баллоно-

расширяемых стентов. При этом у оптимизированного стента наблюдалось более равномерное раскрытие сегментов по сравнению с исходным образцом.

После проведения дальнейшей топологической оптимизации ожидается значительное улучшение характеристик стента, таких как его гибкость, увеличение усилия съема с системы доставки, дальнейшее снижение рекойла.

УДК 621.315.592

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ ОТРАЖЕНИЯ МНОГОСЛОЙНЫХ СИСТЕМ С ДВИЖУЩИМИСЯ ГРАНИЦАМИ

Гацкевич Е.И.

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь*

Аннотация. В настоящей работе на основе теории распространения света в многослойных поглощающих средах проведено моделирование динамики отражения структуры аморфная пленка Ge на подложке кристаллического Si в условиях лазерно-индуцированного плавления и последующего отвердевания. Рассмотрены следующие ситуации при отвердевании: 1) граница фазового перехода расплав ↔ твердое тело движется от подложки по направлению к поверхности, 2) отвердевание происходит как со стороны поверхности, так и со стороны подложки.

Ключевые слова: отражение, германий, кремний, лазерное облучение, плавление, отвердевание.

SIMULATION OF REFLECTION DYNAMICS OF MULTILAYER SYSTEMS WITH MOVING BOUNDARIES

Gatskevich E.

*Belarusian National Technical University
Minsk, Republic of Belarus*

Abstract. Simulation of reflection dynamics of amorphous Ge film on crystalline Si substrate under conditions of laser-induced melting and subsequent solidification has been carried out. The simulation is based on the theory of light propagation in multilayer absorbing media. The following situations for solidification are considered: 1) the phase transition melt ↔ solid boundary moves from the substrate towards the surface, 2) solidification occurs both from the side of the surface and from the side of the substrate.

Key words: Reflection, simulation, germanium, silicon, laser irradiation, melting, solidification.

*Адрес для переписки: Гацкевич Е.И., пр. Независимости, 65, Минск 220013, Республика Беларусь
e-mail: gatskevich_elena@bk.ru*

При исследовании динамики отражения сложных систем иногда приходится иметь дело с многослойными структурами с движущимися границами. Подобного рода задачи, например, возникают при воздействии импульсного лазерного излучения на структуры аморфный слой германия на кристаллическом кремнии (a-Ge/Si) [1]. При поглощении излучения происходит нагрев пленки и последующее ее плавление. Поскольку температура плавления a-Ge ($T_a = 965$ К [2]) почти на 200 К ниже температуры плавления кристаллического Ge в результате плавления образуется переохлажденный расплав l-Ge, при остывании которого возможно отвердевание как со стороны подложки, так и одновременно со стороны поверхности и со стороны подложки, что приводит к специфическим зависимостям коэффициента отражения R от времени [1].

Литература

1. Bokeria, L. A. Public Health of the Russian Federation and surgical treatment of diseases of the heart and blood vessels in 2011 // Scientific Bulletin named after A.N. Bakulev RAMS. – 2012. – P. 5–47.

2. Зарецкий, А. П. / Биомеханическое моделирование персонафицированного коронарного стента / А. П. Зарецкий, А. В. Богомолов // Инжиниринг и телекоммуникации 2015. – 2015. – Том 7, № 3. – С. 82–90.

В настоящей работе проведено моделирование динамики отражения структуры пленка аморфного Ge на подложке кристаллического кремния в условиях импульсного лазерного воздействия. Толщина аморфной пленки считалась равной 100 нм, длительность импульса 10 нс. Предположим, что при воздействии лазерным импульсом на гетероструктуру a-Ge/Si наряду с обычным плавлением и отвердеванием, может наблюдаться также отвердевание с поверхности.

Моделирование отражение проводилось на основе теории распространения света в проводящих средах [3]. Оптические параметры каждого слоя считались независимыми от температуры. Параметры, используемые в вычислениях, приведены в табл. 1. Исследовалось отражение на длине волны $\lambda = 532$ нм при падении на поверхность под углом 45° .