

УДК 621.396.22.02;535.8;532.536

РАЗВИТИЕ И ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ОПТИЧЕСКИХ ВОЛОКОН

© 2011 г.

Л.В. Шабарова

Нижегородский госуниверситет им. Н.И. Лобачевского

lubov_shabarova@mail.ru

Поступила в редакцию 15.06.2011

Приведены результаты исследования гидро- и термодинамики процесса получения оптических волокон методом вытяжки из тигля. Разработаны методы математического моделирования процесса получения волокон, начиная с плавления расплавов в печи до формирования оптоволокна, с учетом сжимаемости воздуха, теплопередачи посредством конвекции и теплопроводности, вязкопластического течения расплавов, геометрических и физических особенностей печи. Ранее в такой полной постановке процесс вытяжки волокна не моделировался. По результатам вычислительных экспериментов предложены конкретные меры по улучшению стабильности течения струи, связанные с модернизацией установки вытяжки.

Ключевые слова: вычислительный эксперимент, вязкопластичность, теллуридные стекла, оптическое волокно, границы раздела сред, тепловые поля.

Цель настоящего исследования – применение и развитие методологии вычислительного эксперимента с использованием суперкомпьютерных технологий для решения ряда задач, связанных с процедурой получения оптических волокон. В настоящее время в различных отраслях техники большие перспективы имеют устройства для передачи информации на базе оптических волокон, изготовленных из расплавов халькогенидных и теллуридных стекол. Вместе с тем, изготовление качественных оптических волокон из расплавов халькогенидных и теллуридных стекол вызывает определенные сложности. Детальное исследование физико-механических процессов при вытяжке волокон и основанное на этом исследовании совершенствование технологии рационально проводить сочетанием как физического, так и вычислительного экспериментов.

С математической точки зрения решение задач, описывающих технологию получения оптических волокон, связано с необходимостью интегрирования полной системы эволюционных нелинейных уравнений движения и энергии вязкой жидкости. При этом граничные условия для этих задач не являются классическими, поскольку формируются на неизвестных до решения задачи границах. Указанные задачи относятся к классу некорректных математических задач. С физической точки зрения эти задачи относятся к разряду задач гидродинамики течений с границами раздела сред и теплообменом, который реализуется в техноло-

гиях изготовления волокон как путем конвекции, так и путем теплопроводности. Дополнительной особенностью рассматриваемых задач является резкое различие теплофизических и механических характеристик сред, между которыми формируются границы раздела. Кроме того, расплавы, из которых собственно формируются волокна, обладают вязкопластическими свойствами. Граничные условия при постановке задач вытяжки волокон из расплавов неочевидны и, как правило, допускают альтернативные формулировки.

Ставятся следующие задачи: разработка рациональных математических моделей, описывающих технологию получения оптических волокон из расплавов; проведение систематических вычислительных экспериментов по выявлению негативных факторов, снижающих качество вытягиваемого волокна; проведение поисковых вычислительных экспериментов, ориентированных на модернизацию технологии и установки по вытяжке волокон в целях повышения качества вытягиваемого волокна; формирование предложений по модернизации технологии вытяжки.

Технологическая процедура вытяжки представлена на рис. 1. Контейнер с материалом оболочки помещается в камеру. Камера состоит из печи 1, цилиндрической части без встро-енных нагревателей 2 и диафрагмы 3. После пре-вращения материала в расплав в контейнер обо-

лочка погружается контейнер с материалом сердцевины. Фильера 4, состоящая из контейнеров сердцевины и оболочки, выдерживается в печи до превращения материала сердцевины в расплав.

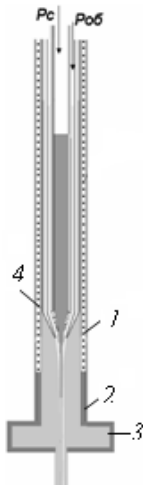


Рис. 1

Далее, на вход контейнеров подаются избыточные давления Δp_c и $\Delta p_{об}$, расплавы сердцевины и оболочки вытекают из области печи, выходят в атмосферу, охлаждаются и затвердевают, постепенно превращаясь в гибкое двухслойное волокно. Волокно подхватывается и направляется на вращающийся барабан.

Течение вязкопластической жидкости изучалось с использованием программного комплекса ANSYS CFX, ориентированного на решение гидрогазодинамических задач. Была создана и апробирована методика математического моделирования процедуры вытяжки и

численного исследования влияния различных возмущений на геометрию вытягиваемого волокна с использованием суперкомпьютерных технологий. Эта методика включает в себя построение рациональных сеточных моделей, рационального алгоритма интегрирования нелинейных транспортных уравнений применительно к математическому описанию процесса получения оптических волокон, постановку граничных условий, обеспечивающих согласованность в главных чертах математического и физического экспериментов на различных этапах вытяжки волокон.

По проведенным исследованиям получены следующие основные результаты:

1. В рабочем диапазоне температур проведена идентификация построенной математической модели с результатами опытов. Движение рассматриваемой сплошной среды – расплавов теллуридных и халькогенидных стекол – описывается моделью вязкопластической жидкости. С позиций модели вязкопластической жидкости исследовано течение расплавов стекол системы TeO_2-WO_3 в двойном тигле.

2. Показано, что температура расплава прин-

ципально влияет на характеристики устойчивости течения при вытягивании волокна из фильеры; охлаждение струи ведет к повышению устойчивости течения.

3. Исследовано влияние неоднородностей тепловых полей на форму поперечного сечения вытягиваемого волокна. Выявлена зона, тепловые возмущения в которой ведут к нарушению концентричности и отклонениям от требуемой формы поперечного сечения волокна.

4. Серией вычислительных экспериментов установлена возможность управления формой поперечных сечений вытягиваемых волокон при помощи концентрированных локальных температурных полей, генерируемых в определенных зонах нижней части фильеры.

5. Исследовано влияние пяти наиболее часто возникающих геометрических дефектов на форму поперечного сечения вытягиваемого волокна. Установлено, что только два из этих дефектов (наклон контейнера сердцевины и выпуклость на контейнере оболочки) приводят к нарушению концентричности и отклонениям от требуемой формы поперечного сечения волокна.

6. Отработана математическая модель технологической процедуры вытяжки, позволяющая моделировать динамические и тепловые процессы в части теплопроводности и конвекции, сжимаемости газа, границ раздела сред, геометрических особенностей установки, управления режимом работы термопечи. Математическим моделированием установлена неоднородность теплового поля в расплаве, текущем в фильере тигля и в газовой среде вокруг фильеры при используемой конструкции фильеры тигля и печи нагрева тигля. Показано, что в прилегающем газе имеет место вихреобразование, ведущее к нестационарности процесса вытяжки волокон из тигля.

7. Проведено математическое моделирование различных модернизированных вариантов установки. По результатам вычислительных экспериментов выявлена перспективная конструкция установки, в которой возможно ликвидировать вихреобразования, резко повысить однородность температурного поля в тигле и реализовать охлаждение вытягиваемого волокна.

**DEVELOPMENT AND APPLICATION OF COMPUTATIONAL EXPERIMENTS
FOR MODELING AND IMPROVING THE TECHNOLOGY OF OPTICAL FIBERS**

L. V. Shabarova

The results of researches hydro- and thermodynamics of process extracting optical fiber are given. Methods of mathematical modeling of all the process, starting from dissolving melts in the furnace up to generation the fiber are developed, taking into account compressibility of air, heat transfer through the instrumentality of convection and heat conductivity, visco-plastic flow of the melts, geometrical and physical features of the furnace. The process of extracting an optical fiber has never been modeled before in such a full formulation. Based on the results of numeral experiments specific suggestions directed to improvement of the flow stability are given. These suggestions are related to upgrading the extraction plant.

Keywords: numeral experiments, viscoplasticity, tellurite glass, optical fiber, interfaces, thermal fields.