

О ВЛИЯНИИ ТЕМПЕРАТУРЫ И РАСХОДА ГАЗА НА ПРОЦЕСС ВЫТЯЖКИ ВОЛОКОННЫХ СВЕТОВОДОВ ИЗ ФТОРИДНЫХ СТЕКОЛ

Известно, что стекла на основе фторидов тяжелых металлов (ФС) — перспективный материал для дальних линий волоконно-оптической связи, а одним из показателей качества оптического волокна (ОВ) является постоянство его геометрических размеров по длине. Как показано в [1—3], влияние изменения значений коэффициента теплообмена с газом на диаметр вытягиваемого кварцевого волокна значительно слабее других факторов, однако для ОВ из ФС это неверно. При получении фторидных волокон нельзя выделить доминирующий механизм теплопередачи, так как перетяжка заготовок из ФС в волокно происходит при температурах 300 — 400 °С, в связи с чем процессам теплообмена луковицы расплава с газом необходимо уделять серьезное внимание.

В настоящей работе в рамках стационарной сопряженной задачи течения газа в канале печи исследуется влияние расхода газа и его температуры на динамику процесса формирования волокна из ФС.

Постановка задачи и метод расчета. Рассматривается ламинарное осесимметричное течение вязкого теплопроводного химически инертного газа в кольцевом канале, образованном внутренней поверхностью печи плавления и поверхностью луковицы расплава ФС в процессе вытяжки оптического волоконного световода. Так как среднерасходная скорость газа имеет порядок 1 см/с, было выбрано приближение гипозвукового течения [4]. В этом приближении полагают, что число Маха и гидростатическая сжимаемость являются малыми параметрами и слагаемые при них отбрасываются. Принималось также, что угол между касательной к образующей $R(x)$ и осью x (угол наклона) много меньше 1. Зависимости вязкости и теплопроводности от температуры рассчитывались по формулам молекулярно-кинетической теории газов [5]. Система уравнений обезразмеривалась, причем в качестве масштаба скорости выбиралась большая из двух: среднерасходная скорость на входе в канал или характерная скорость, получаемая из выражения

$$U_* = \frac{\mu_* \sqrt{Gr}}{2\rho_*(R_+ - R_-)}$$

Обезразмеренная таким образом система определяющих уравнений имеет вид

$$(1) \quad \rho \frac{dv}{dt} = -\nabla p + \frac{1}{Re} \left(2\nabla(\mu \dot{S}) - \frac{2}{3} \nabla(\mu \nabla v) \right) + \frac{1-\rho}{Fr} \mathbf{g};$$

$$(2) \quad \rho \frac{dT}{dt} = \frac{1}{Pe} \nabla(\lambda \nabla T);$$

$$(3) \quad \rho \nabla v = \frac{1}{TPe} \nabla(\lambda \nabla T).$$

Система дополнялась уравнением состояния и граничными условиями:

$$\rho T = 1,$$

$$U|_{r=R(x)} = \dot{v}|_{r=R(x)} = U|_{r=R_+} = \dot{v}|_{r=R_+} = 0,$$

$$T|_{r=R_+} = T_+(x), T|_{r=R(x)} = T_-(x).$$

На входе приняты равномерное распределение для U и T , а поперечная составляющая скорости занулялась. На выходе поставлены мягкие граничные условия:

$$\frac{\partial T}{\partial x} = \frac{\partial U}{\partial x} = \frac{\partial V}{\partial x} = 0.$$

Для давления на всех границах ставили условие

$$\left. \frac{\partial p}{\partial n} \right|_{\Gamma} = 0.$$

Своеобразие решаемой задачи состоит в том, что течение газа заметно влияет как на форму луковичы расплава $R(x)$, так и на распределение температуры по ее длине $T_-(x)$. Значения этих величин находили, решая систему уравнений, приведенную в [6], замыкая сопряженную задачу.

В связи с тем, что внутренняя стенка канала, образованная поверхностью расплава, криволинейна, было проведено преобразование координат, отображающее расчетную область в прямоугольник. При этом цилиндрические координаты (x, r) заменялись на новые (z, y) по формулам

$$z = x, y = (r - R_+)/ (R(x) - R_+).$$

Расчет течения газа проводился по модифицированному проекционному методу путем счета на установление:

1) решая уравнение энергии (2), находили распределение T , значения коэффициентов переноса и плотность;

2) по неявной схеме решали уравнение (1), находя предварительные значения компонент вектора скорости по заданному полю давления;

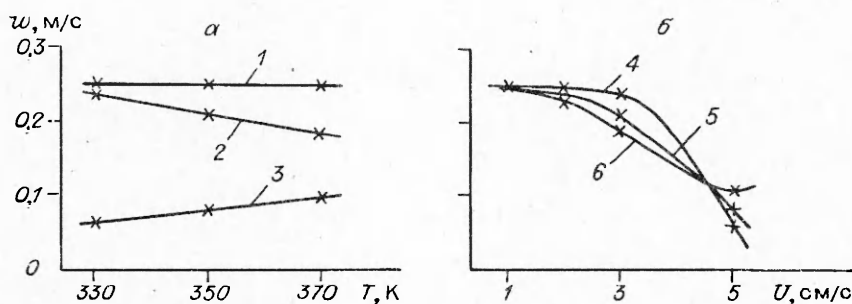
3) строился итерационный процесс, в котором значения U , V и p корректировались, пока уравнение (3) не выполнялось с заданной точностью.

Значения $T_-(x)$ и $R(x)$ периодически пересчитывались.

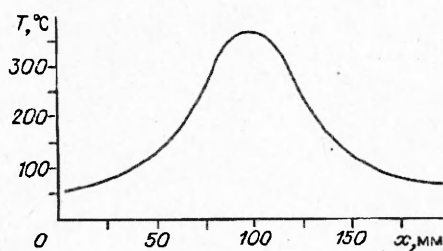
Результаты. Цель проведенных расчетов — определение таких значений расхода и температуры подаваемого газа (аргона), при которых отклонения этих параметров от заданных значений минимально влияли бы на динамику процесса вытяжки.

Для этого варьировали параметры газового потока, поддерживая путем изменения скорости вытяжки постоянное вытягивающее усилие около 25 г. Зависимости скорости вытягивания ОВ w от расхода и температуры газа на входе приведены на рис. 1, где линии 1—3 соответствуют среднерасходным скоростям 1, 3 и 5 см/с, а 4—6 — температурам на входе 330, 350 и 370 К. Расчеты проводили для перетягивания заготовки диаметром 12 мм в волокно диаметром 180 мкм. Газ подавался снизу вверх. Распределение температуры внутренней поверхности печи приведено на рис. 2.

На рис. 3 показаны изменения формы канала печи для различных расходов газа при температуре на входе 350 К, области циркуляции, кото-



Р и с. 1



Р и с. 2

рые могут возникать при различных условиях подачи газа, и характерные линии тока (линии 1—3 отвечают среднерасходным скоростям 1, 3 и 5 см/с).

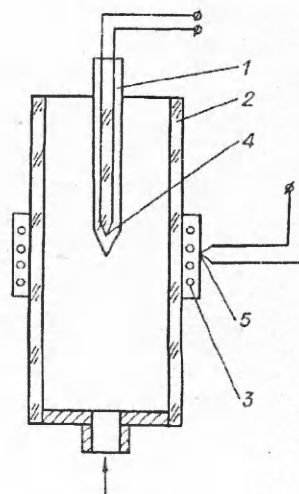
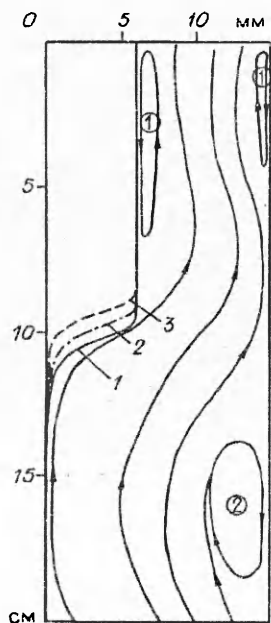
На рис. 1, б хорошо видно, что при среднерасходной скорости газа до 2 см/с изменение условий подачи газа на входе в канал практически не влияет на теплообмен в зоне луковицы расплава и, следовательно, на скорость вытягивания. Наличие области слабой

зависимости скорости вытяжки от расхода объясняется преобладанием естественной конвекции над вынужденной, а независимость от температуры (линия 1) вызвана тем, что газ за время перемещения его к луковице успевает одинаково прогреться при разных температурах на входе.

Интересной особенностью является уменьшение скорости вытягивания с ростом температуры аргона на входе при среднерасходной скорости около 3 см/с (линия 2). Механизм этого явления следующий. При увеличении температуры газа на входе в канал возрастает перепад температур между стенкой печи и аргоном, что приводит к возникновению возвратного течения около внутренней поверхности печи. Вследствие этого скорость движения газа у внутренней стенки канала растет, что замедляет прогрев газа и интенсифицирует теплообмен между стеклом и газом.

При дальнейшем увеличении расхода влияние естественной конвекции уменьшается, и повышение температуры приводит к падению теплоотдачи от заготовки и росту скорости вытяжки (линия 3).

Наряду с расчетами был проведен модельный эксперимент (рис. 4). Заготовку из ФС 1 с запаянной в нее термопарой 4 помещали вершиной луковицы в центр макета печи плавления, представляющего собой кварцевую трубку 2 с намотанным на нее нихромовым проволочным нагревателем 3. Температура макета контролировалась термопарой 5 и поддерживалась равной $300 \pm 0,1$ °С. Аргон комнатной температуры подавали снизу, устанавливали расход и измеряли температуру заготовки. Результаты экспериментальной зависимости температуры луковицы ФС от скорости подачи

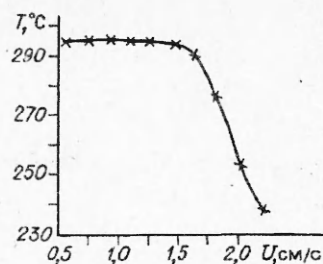


Р и с. 4

Р и с. 3

аргона приведены на рис. 5. Ход кривой качественно и количественно подтверждает результаты расчета.

Таким образом, можно утверждать, что при вытягивании ОВ из ФС для снижения требований к оборудованию в газовой схеме и (или) уменьшения влияния неустойчивости параметров газового потока на геометрические размеры волокна желательнее установить расход газа таким, чтобы его среднерасходная скорость в канале печи не превышала 2 см/с, а температура не превышала температуру нижнего среза печи.



Р и с. 5

ЛИТЕРАТУРА

1. Васильев В.Н., Дульнев Г.Н., Наумчик В.Д. Нестационарные процессы при формировании оптического волокна 1. Устойчивость процесса вытяжки // Инж.-физ. журн. — 1988. — Т. 55, № 2. — С. 284.
2. Васильев В.Н., Дульнев Г.Н., Наумчик В.Д. Исследование нестационарных условий формирования оптического волокна 2. Возмущение скорости подачи и вытяжки // Инж.-физ. журн. — 1990. — Т. 58, № 2. — С. 288.
3. Васильев В.Н., Дульнев Г.Н., Наумчик В.Д. Исследование нестационарных условий формирования оптического волокна 3. Реакция процесса вытяжки при тепловых воздействиях и возмущении радиуса заготовки // Инж.-физ. журн. — 1990. — Т. 58, № 3. — С. 499.
4. Лапин Ю.В., Стрелец М.Х. Внутренние течения газовых смесей. — М.: Наука, 1989.
5. Рид Р., Праусниц Дж., Шервуд Т. Свойства газов и жидкостей. — Л.: Химия, 1982.
6. Горбунов М.В. Математическое моделирование процесса вытяжки волоконных световодов из фторидных стекол // Высокочистые вещества. — 1993. — № 4. — С. 160.

г. Ангарск

Поступила 23/VIII 1993 г.,
в окончательном варианте — 23/X 1993 г.

УДК 539.3:534.1

А.А. Ляпин

О ВОЗБУЖДЕНИИ ВОЛН В СЛОИСТОЙ СРЕДЕ С ЛОКАЛЬНЫМ ДЕФЕКТОМ

Рассмотрена краевая задача о возбуждении упругих волн в слоистом полупространстве с поверхностной выемкой или заглубленной полостью в условиях деформации сдвига. Колебания вызываются нагрузкой на дневной поверхности среды. Исследование базируется на использовании метода граничных интегральных уравнений на основе динамической теоремы взаимности. Построены соответствующие интегральные представления для определения волнового поля в среде через распределение смещений точек дефекта. Полученные граничные интегральные уравнения исследованы численно в зависимости от соотношения физических характеристик среды. Результаты нацелены на практическое приложение в дефектоскопии, сейсмостойком строительстве, вибрационном просвечивании Земли.

В настоящее время имеется достаточно большое число работ по изучению поведения упругих сред типа слоя, полуплоскости с полостями произвольной конфигурации или поверхностными выемками [1—5].

© А.А. Ляпин, 1994