

УДК 681.5.01:666.22(043.3)

**ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ПРОЦЕССА
НАГРЕВА ФТОРИДНЫХ ЗАГОТОВОК
ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ОПТИЧЕСКИХ ВОЛОКОН***С.В. КРУГЛОВА, Ю.Д. РУМЯНЦЕВ, В.В. САХАРОВ, П.Б. БАСКОВ***(Московский государственный текстильный университет им. А.Н. Косыгина,
ГУП ВНИИХТ, г. Москва)**

Повышение интенсивности технологических процессов предопределяет использование современных методов и средств контроля качества продукции и технологических параметров, а также управления этими процессами, что требует наличия обширной и достоверной первичной информации о состоянии контролируемых и управляемых объектов.

Использование оптоэлектронных преобразователей, в том числе и инфракрасных, работающих по принципу отражения, поглощения и фазовых сдвигов, позволяет контролировать большое число технологических параметров, к которым можно отнести геометрические размеры текстильных продуктов, их поверхностную и линейную плотность, влажность, температуру, пороки и дефекты и т.д. Сочетание полупроводниковых источников и приемников излучения с волоконными световодами позволяет осуществить бесконтактный контроль и измерения в труднодоступных местах, в агрессивных средах, а также в зонах с повышенной температурой. При этом немаловажную роль в решении этих задач играют свойства, параметры и конструкция волоконных световодов, обеспечивающих не только передачу информации и оптическое сопряжение источников и приемников излучения, но и являющихся в ряде случаев первичными преобразователями полезной информации.

Кафедра автоматики и промышленной электроники активно участвует в работах по автоматизации технологических процессов производства оптических волокон, в том числе и на базе новых оптических

материалов – фторидных стекол.

Фторидные стекла считаются в настоящее время наиболее перспективными для создания световодов со сверхнизкими оптическими потерями в инфракрасном диапазоне. Они обладают многими необходимыми для этого оптическими свойствами, такими как широкая область пропускания (0,3–7 мкм), низкий показатель преломления, малая дисперсия, низкий уровень релеевского рассеяния.

Теоретические оценки показывают, что именно световоды из фторидных стекол обладают наименьшими собственными оптическими потерями по сравнению со световодами из других классов стекол [1], [2].

Процесс изготовления световодов на основе фторидного стекла делится на два этапа: первый – получение заготовки, которая представляет собой стеклянный стержень; второй – размягчение заготовки в печи и вытяжка из него волокна.

В настоящей работе приводятся результаты исследования процесса нагрева фторидных заготовок в процессе вытяжки оптических волокон.

Одной из важнейших характеристик фторидных стекол является очень сильная зависимость вязкости от температуры. Температурная зависимость вязкости фторидных стекол является одним из основных факторов, определяющих не только свойства получаемых волокон, но и стабильность самого процесса вытягивания.

Даже незначительный перегрев заготовки с появившимися ранее зародышами приводит к интенсивному росту кристал-

лов. Увеличение скорости вытягивания не может принципиально изменить характер процесса, так как стекло уже находится при повышенной (относительно оптимальной) температуре.

Второй проблемой, связанной с получением и эксплуатацией фторидных стекол, является их взаимодействие с парами атмосферной воды. Взаимодействие фторидных стекол с атмосферной водой особенно ощутимо и отличается высокой скоростью при температурах выше температуры стеклообразования. Во время вытяжки волокна происходит химическое взаимодействие гидроксильных групп с поверхностью световода, что сопровождается образованием оксидных частиц, которые служат центрами кристаллизации [2].

Таким образом, для получения волокон требуемого качества необходимо: во-первых, регулировать температуру вытяжки волокна с высокой точностью и, во-вторых, не допустить взаимодействия расплава с гидроксильными группами. В связи с влиянием гидроксильных групп на химическую стабильность (водная коррозия), механическую прочность и оптические свойства фторидных волокон процесс вытяжки необходимо проводить в инертной среде.

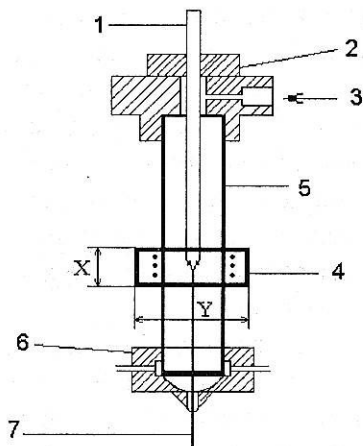


Рис. 1

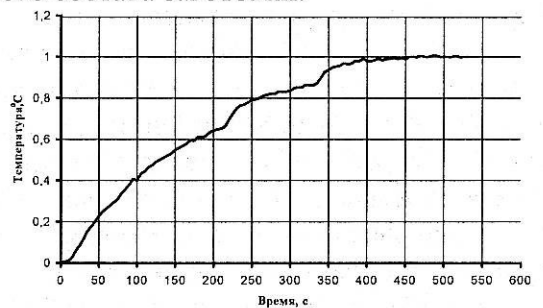
На основе информации о процессе формирования фторидных волокон была предложена и исследована конструкция опытного модуля перетяжки фторидных заготовок в оптическое волокно, представ-

ленного на рис.1.

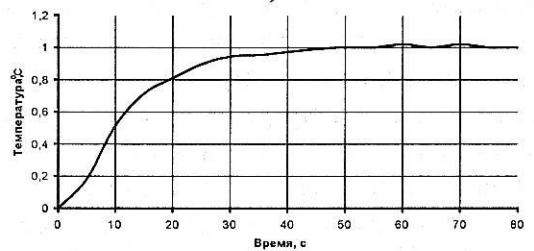
Оптическая заготовка 1 с заданной скоростью с помощью механизма подачи подается в кварцевую трубу 5, с наружной стороны которой находится печь нагрева заготовок 4. В верхней части кварцевой трубы находится фторопластовая вставка 2, в которую подается газ 3 (азот или аргон), предназначенный для создания инертной среды. В нижней части кварцевой трубы находится фторопластовая диафрагма 6. В центре диафрагмы предусмотрено отверстие для волокна – 7.

При разработке модуля перетяжки заготовок в оптическое волокно учитывалась необходимость создания узкой кольцевой зоны нагрева. Эта необходимость связана с тем, что чем больше времени стекломасса находится при температуре вытяжки, тем большее количество зародышей кристаллизации, появившиеся еще на этапе производства заготовки, перерастают в кристаллы. Разработанная печь нагрева заготовок позволяет создать зону нагрева высотой 5...6 мм.

К управляющим воздействиям в процессе нагрева заготовок относятся изменение силы тока в обмотке печи и изменение расхода газа, поступающего в кварцевую трубу. К неконтролируемым возмущениям в первую очередь следует отнести изменение геометрических параметров и химического состава заготовки.



а)



б)

Рис. 2

При исследовании данной установки как объекта управления определялись переходные процессы по каналам: "сила тока в обмотке печи – температура нагрева в зоне формования" и "расход газа, подаваемого в кварцевую трубу, – температура нагрева в зоне формования". Кривые разгона по указанным каналам показаны на рис.2-а (кривая разгона по каналу "сила тока в обмотке печи – температура нагрева в зоне формования") и рис.2-б (кривая разгона по каналу "расход газа, подаваемого в кварцевую трубу, – температура нагрева в зоне формования").

Для получения достоверной информации кривые разгона снимались многократно, и затем проводилась процедура усреднения. С помощью метода Симою [3] осуществлена параметрическая идентификация объекта управления, конечной целью которой явилось получение передаточных функций по вышеперечисленным каналам:

– по каналу "сила тока в обмотке печи – температура нагрева в зоне формования":

$$W(p) = \frac{18,8}{(83,2p+1)(70,53p+1)} e^{-5\tau}, \quad (1)$$

– по каналу "расход газа, подаваемого в

кварцевую трубу, – температура нагрева в зоне формования":

$$W(p) = \frac{8,2}{(8,06p+1)(2,37p+1)} e^{-0,8\tau}. \quad (2)$$

В среде MathLab (приложение Simulink) было проведено моделирование системы стабилизации температурных режимов нагрева фторидной заготовки, использующей в качестве управляющего воздействия силу тока в обмотке печи. Сигнал на выходе измерительного устройства ИУ1, соответствующий измеренной температуре объекта управления – $U_{изм}$, сравнивается с заданием – $U_{зад}$. Полученная разность ΔU_1 поступает на вход ПИД-регулятора, который формирует регулирующее воздействие, подающееся на исполнительный механизм ИМ1 (тиристорный усилитель тока). Возмущение в виде ступенчатого воздействия подавалось на вход объекта управления. Результаты моделирования системы приведены на рис. 3-а. Очевидно, что время регулирования данной системы неприемлемо для получения фторидных оптических волокон требуемого качества.

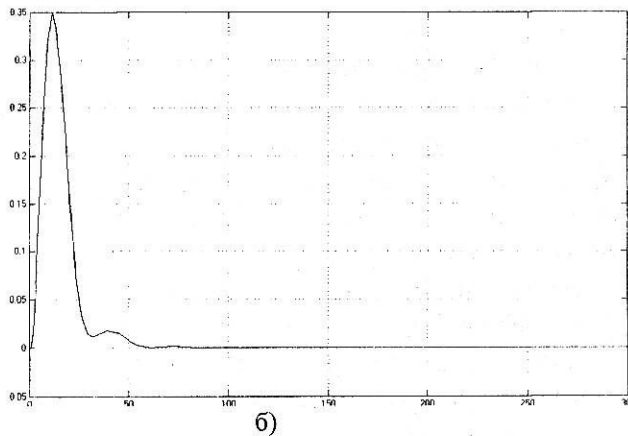
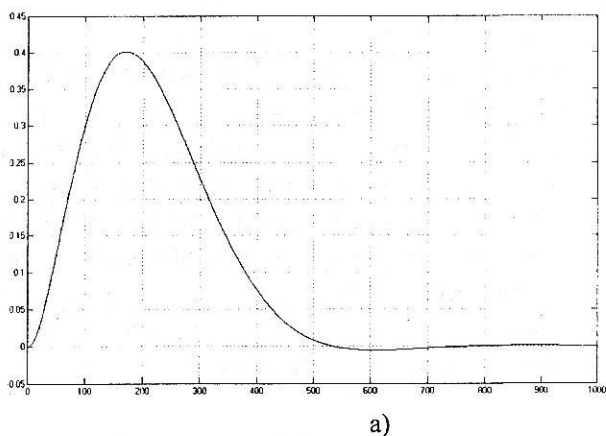


Рис. 3

Система стабилизации температурных режимов нагрева фторидной заготовки, использующей в качестве управляющего воздействия расход газа, подаваемого в кварцевую трубу, содержит объект управления, измерительное устройство ИУ1,

элемент сравнения измеренного и заданного значений температуры в зоне нагрева, пропорционально-дифференциальный регулятор расхода газов, исполнительный механизм и рабочий орган (шаговый электропривод с клапаном) ИМ2+РО. Резуль-

таты моделирования данной системы в среде MathLab приведены на рис. 3-б.

Применение в качестве управляющего воздействия расхода инертной среды позволяет уменьшить время регулирования. Очевидно, что время регулирования данной системы практически на порядок меньше, поэтому целесообразно регулировать температуру в зоне нагрева с помощью изменения расхода газов. Были определены рациональные настройки регулятора, обеспечивающие требуемое качество процесса управления: $K_p=0,09$; $K_d=0,5$.

Но изменять расход газа можно до определенного предела: слабый поток газа не сможет предотвратить кристаллизацию,

слишком сильный поток газа размоет лужковку, и она выйдет за пределы зоны нагрева. Поэтому необходимо использовать оба управляющих воздействия: регулировать температуру в зоне нагрева с помощью изменения расхода газов, а изменение силы тока, питающего обмотку печи нагрева фторидных оптических заготовок, использовать в качестве корректирующего управления. Корректирующий контур управления необходим для установки начального значения температуры в зоне нагрева и стабилизации температуры в случае выхода значения расхода газа за допустимые пределы.

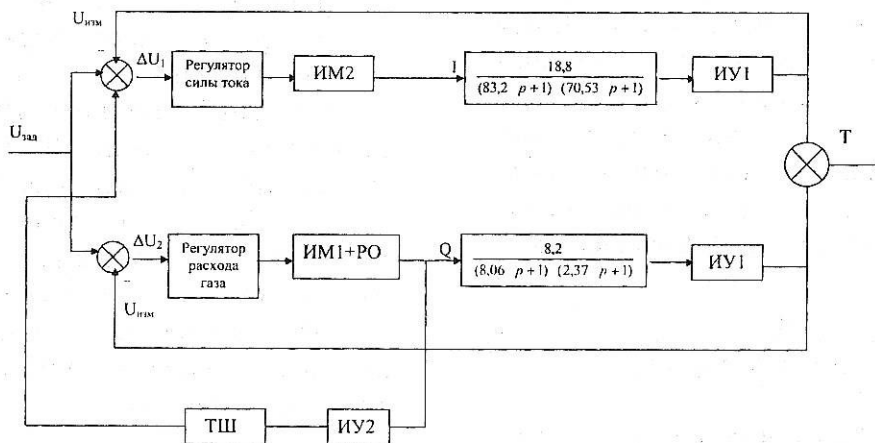


Рис. 4

На основе проведенных исследований была предложена структура системы автоматического управления процессом нагрева фторидных заготовок (рис.4), использующей два управляющих воздействия: сила тока и расход газа.

Сигнал на выходе измерительного устройства ИУ1, соответствующий измеренной температуре объекта управления $OY - U_{изм}$, сравнивается с заданием $- U_{зад}$. Полученная разность ΔU_1 поступает на вход регулятора расхода газов, который формирует регулирующее воздействие, подающееся на исполнительный механизм ИМ1 (шаговый электропривод) и рабочий орган РО (клапан). Сигнал на выходе измерительного устройства ИУ2, соответствующий значению расхода газа, поступающего в кварцевую трубу, подается на

триггер Шмидта (ТШ), учитывающий допустимые пределы изменения расхода газов. В том случае, если расход газа превышает эти пределы, на выходе триггера появляется высокий уровень напряжения, включающий дополнительный контур регулирования, содержащий регулятор силы тока и исполнительный механизм ИМ2 – тиристорный усилитель тока.

ВЫВОДЫ

Проведен анализ процесса нагрева фторидных заготовок. Разработан и исследован модуль перетяжки фторидных заготовок в оптическое волокно. Получены переходные характеристики и передаточные функции объекта управления по двум ка-

налам: "сила тока в обмотке печи – температура нагрева в зоне формования" и "расход газа, подаваемого в кварцевую трубу, – температура нагрева в зоне формования". На основе проведенного исследования предложена структура системы управления процессом нагрева фторидных заготовок.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Кацояма Т., Мацумура Х.* Инфракрасные волоконные световоды. – М.: Мир, 1992.
2. *Дианов Е.М., Дмитрук Л.Н., Плотниченко В.Г., Чурбанов М.Ф.* // Высокочистые вещества. – 1987, № 3.
3. *Симою М.П.* // – М.: Приборостроение. – 1958, №3.

Рекомендована кафедрой автоматики и промышленной электроники МГТУ им.А.Н. Косыгина.
Поступила 08.04.05.
