

УДК 54.07

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ, МОДИФИЦИРОВАННЫХ В СВЧ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОМ ПОЛЕ

Кузеев И.Р., Ибрагимов И.Г., Абакачева Е.М.¹, Киреев К.А.
Уфимский государственный нефтяной технический университет, г. Уфа
e-mail:¹ elena-abakacheva@rambler.ru

Аннотация. В представленной работе приводятся результаты экспериментального исследования глубины проникновения электромагнитных волн сверхвысокочастотного диапазона в поливинилхлоридную пленку и гранулы для ее изготовления, которые продемонстрировали высокую эффективность использования электромагнитного излучения для нетепловой модификации полимеров. Показано, что повышается разрывная нагрузка модифицированной пленки.

Ключевые слова: полимер, модификация, электромагнитное излучение

В настоящее время для интенсификации процессов модификации полимерных материалов широко используются электрофизические методы, такие как: упругие колебания звукового и ультразвукового диапазонов частот, виброобработка, токи высокой частоты, лазерное, электронное, ультрафиолетовое излучения.

Необходимость в альтернативных технологиях модификации полимеров связана с многостадийностью традиционных процессов, высокими энерго- и трудовыми затратами, экологической напряженностью производства.

Исследования по применению электрофизических методов обработки материалов и изделий показали эффективность использования для этой цели сверхвысокочастотных (СВЧ) электромагнитных установок, конструкция которых может найти применение в химической промышленности при производстве липких полимерных пленок и решить техническую задачу повышения качества полимерной пленки.

Объемная обработка полимерных материалов и изделий позволяет значительно ускорить процесс модификации по сравнению с другими методами обработки, при этом повышается качество готовых изделий, уменьшаются термомеханические эффекты, габариты производственной установки, улучшаются экономические показатели процесса [1].

Для разработки эффективных промышленных процессов модифицирования полимерных материалов нетепловым воздействием в электромагнитном поле сверхвысокочастотного (СВЧ) диапазона с целью улучшения их механических свойств важно знать комплексные характеристики сред, на которые оказывает воздействие электромагнитное поле. К числу таких комплексных характеристик относится степень поглощения веществом электромагнитного излучения, которое

определяется глубиной проникновения δ [2, 3]. Глубина проникновения – это расстояние, при прохождении которого в веществе амплитуда колебаний вектора напряженности электрического поля уменьшается в e раз, где e – основание натурального логарифма.

$$E(x) = E_0 e^{-\frac{x}{\delta}}, \quad (1)$$

где $E(x)$ – напряженность электрического поля при высоте слоя равной x , В/см;

E_0 – первоначальная напряженность электрического поля, В/см;

x – высота слоя, см;

δ – глубина проникновения, см.

Чем меньше δ , тем выше поглощающая способность вещества, которая определяется действительной и мнимой частями диэлектрической проницаемости [4].

$$\delta_E = \frac{2}{\omega \sqrt{\varepsilon'_a \cdot \mu'_a \cdot \left(\operatorname{tg} \delta_E + \frac{\sigma}{\omega \varepsilon'_a} + \operatorname{tg} \delta_M \right)}}, \quad (2)$$

где $\varepsilon'_a = \varepsilon_0 \varepsilon'$ – действительная часть абсолютной диэлектрической проницаемости среды;

$\mu'_a = \mu_0 \mu'$ – действительная часть абсолютной магнитной проницаемости среды;

$\frac{1}{\sqrt{\varepsilon \cdot \mu}} = c$, $c = 3 \cdot 10^8$ м/с – скорость электромагнитных волн в вакууме;

σ – удельная проводимость среды;

ω – круговая частота электромагнитного излучения;

$\operatorname{tg} \delta_E = \frac{\varepsilon''}{\varepsilon'}$ – тангенс угла диэлектрических потерь;

$\operatorname{tg} \delta_M = \frac{\mu''}{\mu'}$ – тангенс угла магнитных потерь;

ε'' – мнимая часть относительной диэлектрической проницаемости вещества;

μ'' – мнимая часть относительной магнитной проницаемости вещества.

Для полимерных материалов удельная проводимость среды σ и тангенс угла магнитных потерь стремятся к 0, тогда формула (2) принимает вид

$$\delta_E \approx \frac{2}{\omega \sqrt{\varepsilon'_a \cdot \mu'_a \cdot \operatorname{tg} \delta_E}}. \quad (3)$$

В представленной работе определялась глубина проникновения липкой поливинилхлоридной пленки, используемой для изоляции трубопроводов, и гранулы для ее получения (ТУ 2245-001-00203312-2003). Исследования проводились на лабораторной установке представленной на рис. 1.

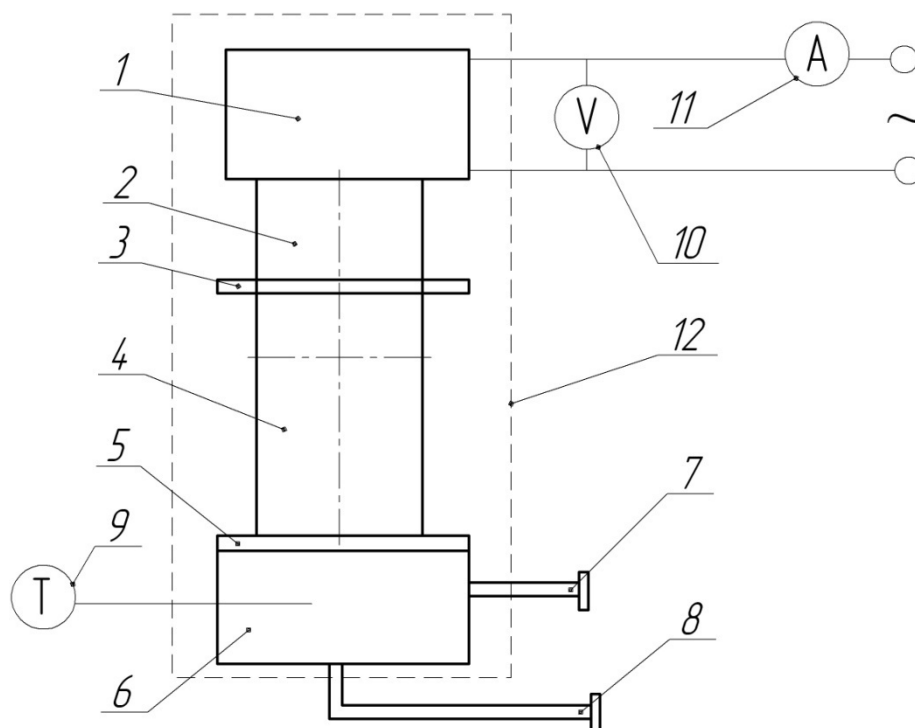


Рис. 1. Схема лабораторной установки для определения глубины проникновения СВЧ излучения:

- 1 – СВЧ генератор; 2 – волновод соединительный; 3, 5 – фланцы со встроенными мембранами;
 4 – рабочая камера (рабочий волновод); 6 – согласующая камера;
 7, 8 – штуцера ввода и вывода воды из согласующей камеры соответственно;
 9 – термопара; 10 – вольтметр; 11 – амперметр; 12 – корпус установки

Метод определения глубины проникновения основан на определении количества СВЧ энергии, поглощенной обрабатываемым веществом, вычисляемой по разности температур балластной нагрузки, помещенной в согласующую камеру без исследуемого материала и с ним.

На рисунке 2 представлена зависимость доли поглощенной СВЧ энергии от высоты поглощающего слоя полимера, которая определялась по формуле

$$\eta = \frac{\Delta T_0 - \Delta T_i}{\Delta T_0}, \quad (4)$$

где ΔT_0 – изменение температуры балластной нагрузки без исследуемого образца;

ΔT_i – изменение температуры балластной нагрузки в i -ом эксперименте с исследуемым образцом.

Как видно из приведенных зависимостей глубина проникновения излучения в гранулы ПВХ составляет ~ 19 см, а пленку ~ 10 см. Такая зависимость объясняется тем, что насыпная плотность гранул составляет 710 кг/м^3 , а плотность пленки $\sim 1400 \text{ кг/м}^3$. Из приведенных экспериментов следует, что ПВХ имеет достаточно высокую поглощающую способность, что позволяет осуществить его модификацию в электромагнитном поле.

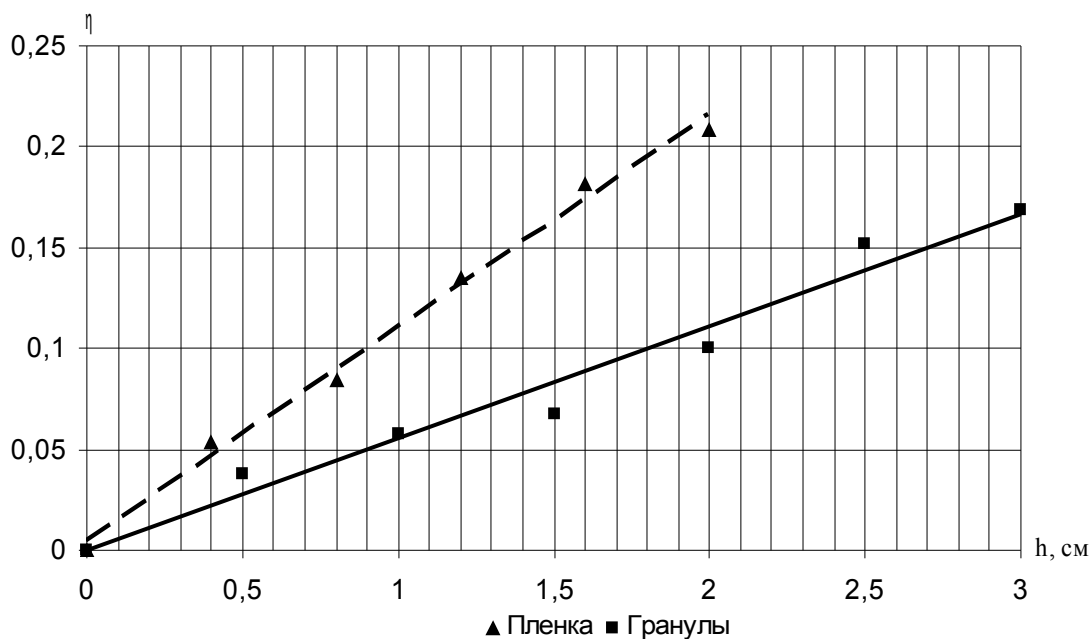


Рис. 2. Зависимость доли поглощенной СВЧ энергии от высоты слоя

На рис. 3 приведены зависимости напряжения разрыва модифицированной ПВХ пленки от ширины образца. Из их анализа следует, что механические свойства улучшаются до 10 %. Энергия электромагнитного излучения поглощаемой полимером составляет 54 кДж/кг.

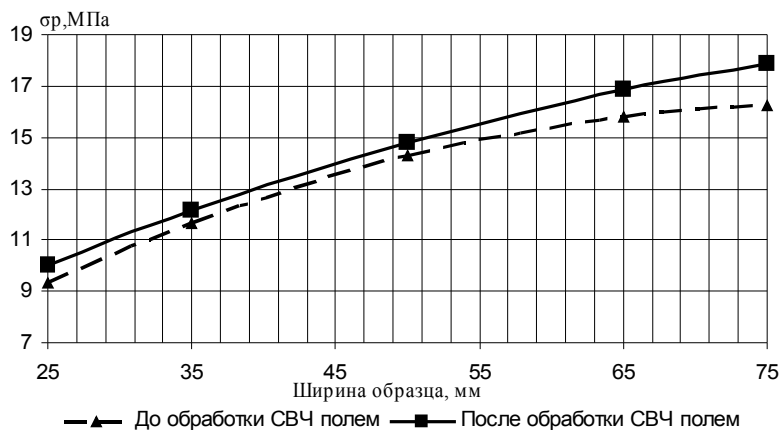


Рис. 3. Зависимость разрывной нагрузки от ширины образца

Исследование прочностных характеристик проводилось согласно ГОСТ 11262-80 на измерительной разрывной машине.

Проведенные исследования показали высокую эффективность использования электромагнитного излучения для нетепловой модификации полимеров позволяющего улучшить механические свойства и качество готовой продукции.

Литература

1. Калганова С.Г. Электротехнология нетепловой модификации полимерных материалов в СВЧ электромагнитном поле. Дис....доктора тех.н. Саратов: Саратов. гос. тех. ун-т, 2009.
2. Рахманкулов Д.Л., Бикбулатов И.Х., Шулаев Н.С., Шавшукова С.Ю. Микроволновое излучение и интенсификация химических процессов. М.: Химия, 2003. 220 с.
3. Даминев Р.Р., Бикбулатов И.Х., Шулаев Н.С., Рахманкулов Д.Л. Гетерогенно-каталитические промышленные процессы под действием электромагнитного излучения СВЧ-диапазона. М.: Химия, 2006. 134 с.
4. Архангельский Ю.С., Девяткин И.И. Сверхвысокочастотные нагревательные установки для интенсификации технологических процессов. Саратов: Саратов. гос. ун-т, 1983. 140 с.

STUDY OF ELECTRO-PHYSICAL PROPERTIES OF PVC IN ELECTROMAGNETIC FIELD OF MICROWAVE RANGE

I.R. Kuzeev, I.G. Ibragimov, E.M., Abakacheva E.M.¹, K.A. Kireev
Ufa State Petroleum Technical University, Ufa, Russia
e-mail:¹ elena-abakacheva@rambler.ru

Annotation. *This paper presents some results of experimental analysis of depth of microwave penetration into PVC tape and granules for those tapes fabrication, where a high efficiency of microwave radiation for a non-thermal polymer modification was appeared. It was shown an increasing of breaking load for modified tape.*

Key words: *polymer, modification, microwave radiation*

References

1. Kalganova S.G. Elektrotekhnologiya neteplovoi modifikatsii polimernykh materialov v SVCh elektromagnitnom pole (Electrotechnology for non-thermal modification of polymeric materials in a microwave electromagnetic field). PhD thesis. Saratov, SGTU, 2009.
2. Rakhmankulov D.L., Bikbulatov I.Kh., Shulaev N.S., Shavshukova S.Yu. Mikrovolnovoe izluchenie i intensivatsiya khimicheskikh protsessov (Microwave radiation and intensification of chemical processes). Moscow, Khimiya, 2003. 220 p.
3. Daminev P.P., Bikbulatov I.Kh., Shulaev N.S., Rakhmankulov D.L. Getero-genno-kataliticheskie promyshlennye protsessy pod deistviem elektromagnitnogo izlucheniya SVCh-diapazona (Heterogeneous catalytic industrial processes under the influence microwave electromagnetic radiation). Moscow, Khimiya, 2006. 134 p.
4. Arkhangel'skii Yu.S., Devyatkin I.I. Sverkhvysokochastotnye nagrevatel'nye ustanovki dlya intensivatsii tekhnologicheskikh protsessov (Microwave heating units for intensification of technological processes). Saratov, Saratov State University, 1983. 140 p.