

Science of Education: Theory and Practice
Науката за образованието: теория и практика



Physics is an Ever Young Science, Varna, October, 27 – 29, 2017
Физиката – вечно млада наука, Варна, 27 – 29 октомври 2017 г.

ИЗСЛЕДВАНЕ НА ПОЛИМЕРНИ МАТЕРИАЛИ С ПОМОЩТА НА ЕЛЕКТРОАКУСТИЧЕН И ВИХРОВОЛТОВ МЕТОД

Радостин Касъров, Самуил Динев
Университет „Проф. Асен Златаров“

Резюме. Полимерите намират все по-широко приложение при производството на различни изделия и детайли, като в много от тях заменят традиционните конструкционни материали. В доклада са представени резултати от изследване на термопластични полимери с помощта на електроакустичен и вихроволтов метод. Целта на проведените експерименти е чрез безразрушително изпитание да се получат данни за тези материали по отношение на техните физико-механични характеристики, което е особено важно при тяхното приложение. При електроакустичните изследвания в изучаваните полимери се пропускат ултразвукови вълни с определена честота и се проследява тяхното разпространение в зависимост от структурата на материала. Чрез приложението на ехоимпулсен метод на многократното отражение се отчитат амплитудите на ехосигналите по скалата на ултразвуков апарат. Получен е коефициентът на затихване на ултразвуковите вълни при тяхното разпространение в изследваните полимерни материали и са направени изводи за структурата им на базата на сравнение. Целта на проведените с помощта на вихроволтов метод експерименти е качествено да се охарактеризират и селектират изследваните

полимери в зависимост от преминаването през тях на възбудени в метална подложка вихрови токове. Резултатите показват минимални, но достатъчно различни и добре възпроизводими разлики при образци с еднакви дебелини, което може да бъде критерий за характеризиране на електроизолационните свойства на полимерните материали.

Keywords: electro-acoustic; ultrasonic attenuation coefficient; pulse-echo method; eddy current method; optical polymers

Увод

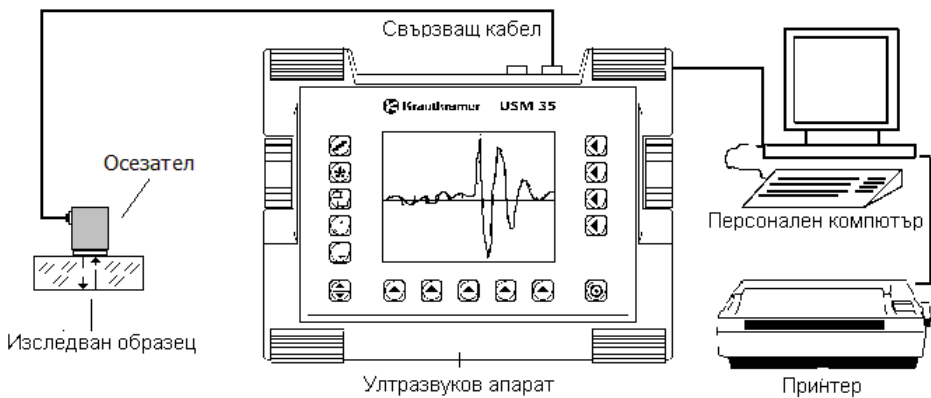
Основни характеристики при разпространението на звукови вълни в даден материал са скоростта и коефициентът на затихване α . Техните стойности, както и честотната им зависимост, са тясно свързани с химичния строеж, структурата и различните видове взаимодействия в средата. Kasarova & Kasarov (2007) са докладвали измерените скорости на разпространение на надлъжни ултразвукови вълни в прозрачни полимерни материали. Коефициентът на затихване най-общо може да се представи като сума от две съставлящи – коефициент на поглъщане и разсейване. При полимерите затихването на ултразвуковите вълни се дължи основно на поглъщането им и е свързано със структурата и хомогенността на материалите. Коефициентът α в значителна степен зависи от честотата, респективно от интензивността на топлинното движение в средата (Ermolov & Lange, 2004). Чрез определянето на коефициента на затихване и изследване на честотната му зависимост може да се съди за наличието на акустична анизотропия и нехомогенност в аморфната среда.

Kasarova et al. (2011) са провели ултразвукови измервания на тънкостенни полимерни образци при честоти от 2.25 до 10 MHz. В настоящата работа, използвайки електроакустичния метод, образците са изследвани при повисока честота, като по този начин се получава допълнителна информация относно акустичните свойства на полимерните материали. Проведени са и експерименти с помощта на вихроволтов метод за качествено охарактеризиране и селектиране на изследваните полимери в зависимост от преминаването на възбудени вихрови токове през тях. По този начин чрез безразрушително изпитание могат да се получат данни за тези материали по отношение на техните физико-механични характеристики, което е особено важно при тяхното приложение.

Експеримент

С помощта на ехоимпулсен метод са изследвани полимерни образци във вид на тънки прозрачни пластинки с дебелина от 2,00 до 5.57 mm с форма на правилен паралелепипед. Освен стандартния полиметил метакрилат (PMMA) са изучени стирен акрило-нитрил (SAN), стирен с ниска плътност (S-low Styrene), целулоза (Cellulose), Acrylic и някои запазени марки на фирми производители (Optorez, Zeonex и Bayer). За постигане на целта е приложен

ехоимпулсният метод в контактен вариант, при който се въвеждат ултразвукови вълни в образеца и се наблюдават измененията в амплитудата на отразения сигнал при многократно отражение. Използван е нормален осезател CLF-4 с работна честота от 15 MHz, изпълняващ функциите едновременно на предавател и на приемник. Скалата (X) от екрана на ултразвуковия апарат USM 35XS, отразяваща време, е подбрана така, че ултразвуковите вълни да преминават достатъчно голям път, отразявайки се многократно от две насрещни повърхнини на образец No.7 (PMMA). Осезателят се разполага нормално върху повърхността на образеца (фиг.1). По скалата (X) на апарата се регистрира броят на отразените ехосигнали за всеки един от образците в границите на фиксирания интервал от време. Отчитат се и резултатите, получени по амплитудната скала (Y) в dB с помощта на атенюатора на ниво 80%. Всички измервания са проведени при температура 20°C.



Фигура 1. Експериментална установка

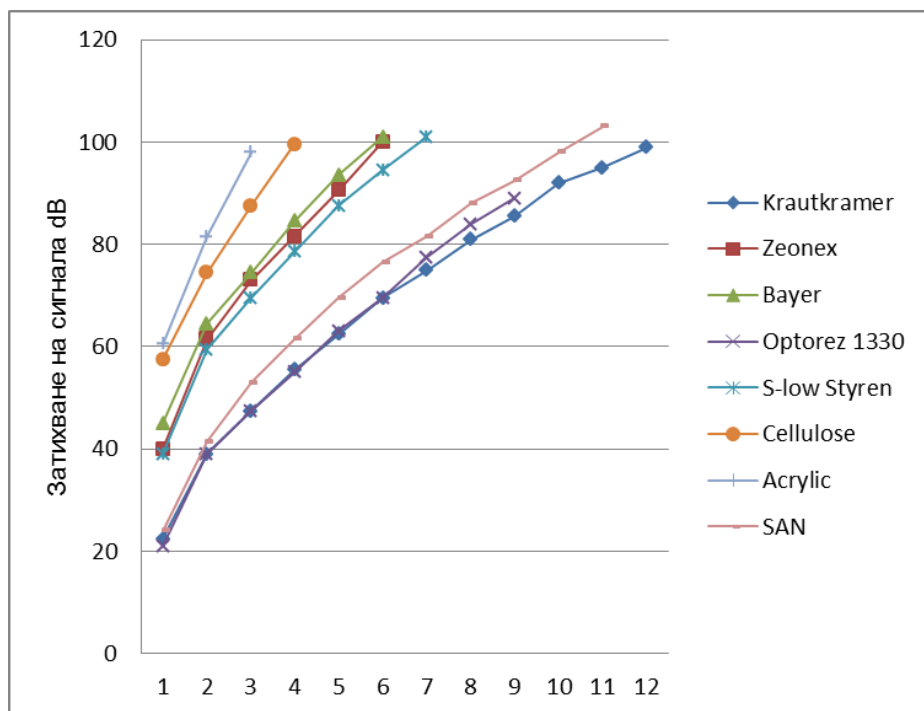
Във втората част експеримента се използва един нетрадиционен за полимерните материали метод за получаване на допълнителна информация. Идеята е чрез възбуждане на вихрови токове в електропроводим магнитен материал да се проследи върху екрана на вихроволтов апарат сигналът, преминал през дебелината на полимерните образци. Този сигнал е в пряка зависимост от два параметъра: (1) разстоянието между вихроволтовия преобразувател от стоманена пластина, т.е. от дебелината на изследвания полимерен образец; (2) от структурата на образеца, т.е. от неговите физико-механични свойства.

За да се намали влиянието на първия от двата параметъра, за осъществяването на експеримента бяха избрани образците No.7 (Krautkramer), No.1

(Zeonex) и No.3 (Optorez), които са с почти еднакви дебелини. Тъй като до момента не са известни резултати от такива изследвания, за сравнителен образец отново бе избран No.7.

По време на експеримента образците последователно се поставят между метална пластина от стомана Ст09Г2С с размери 150x50x10mm и вихроволтов диференциален преобразувател (осезател), като се проследяват промените на получените сигнали върху дисплея на вихроволтов апарат.

Обсъждане на получените резултати



Фигура 2. Зависимост между амплитудата на отразените сигнали и техния брой при различните образци

На фиг. 2 са представени графично кривите на затихване и броят на отразените сигнали от две срещуположни стени при всеки един от изследваните образци.

Таблица 1. Експериментални данни

No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6	No.7	No.8
Zeonex	Bayer	Optorez 1330	S-low Styren	Cellulose	Acrylic	Krautkramer	SAN
<i>t</i> =2.07mm	<i>t</i> =2.51mm	<i>t</i> =2.01mm	<i>t</i> =3.09mm	<i>t</i> =4.65mm	<i>t</i> =5.57mm	<i>t</i> =2.00mm	<i>t</i> =2.77mm
dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB
40	45	21	39	57,5	60,5	22,5	24
61,5	64,5	39	59,5	74,5	81,5	39	41,5
73	74,5	47,5	69,5	87,5	98	47,5	53
81,5	84,5	55	78,5	99,5		55,5	61,5
90,5	93,5	63	87,5			62,5	69,5
100	101	69,5	94,5			69,5	76,5
		77,5	101			75	81,5
		84				81	88
		89				85,5	92,5
						92	98
						95	103
						99	

В таблица 1 е показано необходимото увеличение на чувствителността в dB, компенсираща затихването на ултразвуковите вълни при неколkokратното изминаване на разстоянието *t*. Като основна база за сравнение са приети експерименталните данни, получени за образец No.7. Той е произведен от фирмата Krautkramer-Branson и е предназначен специално за акустична среда при различни ултразвукови изследвания на материали. Следователно неговите физико-механични свойства са изследвани и гарантирани от производителя. Това се доказва и от факта, че образец No.7 се характеризира с висок брой отчетливо регистрирани отразени ехосигнали за определения интервал от време и най-ниско акустично съпротивление.

Изминатият от ултразвуковата вълна път *L* за всеки от полимерните образци е даден в таблица 2. Въз основа на получените резултати е определен коефициентът на затихване α .

$$\alpha = \frac{1}{L} \lg \frac{A_0}{A_L}, \quad (1)$$

където A_0 и A_L са съответно амплитудите на звуковите вълни в точките $x = 0$ и $x = L$. Получените стойности са представени в таблица 2.

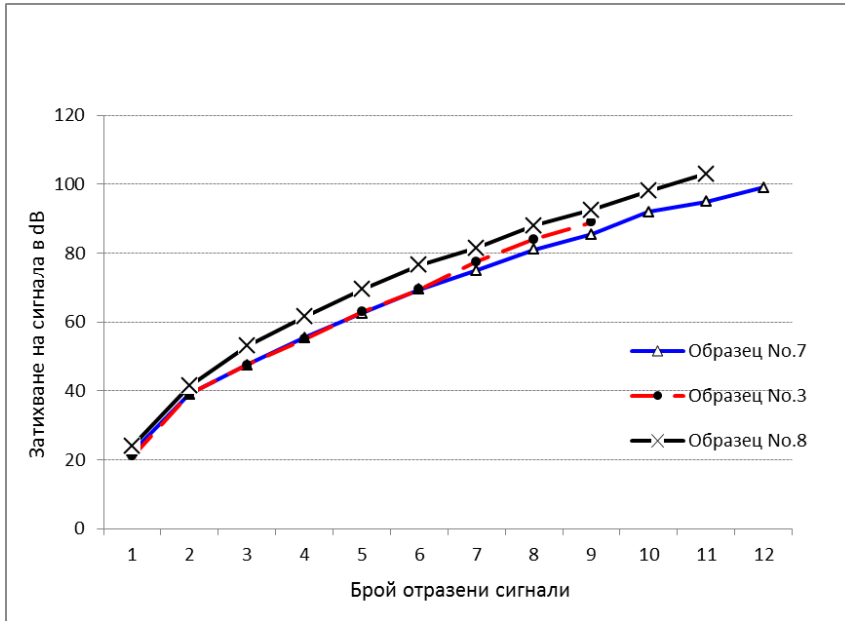
Таблица 2. Експериментални данни

Образец No.	Тип	Брой отражения	Изминат звуков път mm	Коеф. на затихване dB
1	<i>Zeonex</i>	6	24,84	4,02
2	<i>Bayer</i>	6	30,12	3,35
3	<i>Optorez 1330</i>	9	36,18	2,45
4	<i>S-low Styren</i>	7	43,26	2,33
5	<i>Cellulose</i>	4	37,2	2,67
6	<i>Acrylic</i>	3	33,42	2,93
7	<i>Krautkramer</i>	12	48	2,06
8	<i>SAN</i>	11	60,94	1,69

При избраната честота от 15 MHz образецът от PMMA (Krautkramer) има ултразвуков път на надлъжните вълни от 48 mm и коефициент на затихване от 2,06 dB/mm. В сравнение с него резултатите за останалите полимерни материали условно могат да бъдат разделени на три групи.

В първата група влизат образците с най-близки характеристики до тези на No.7. При тях са регистрирани повече от 6 отражения и коефициентите им на затихване не надхвърлят повече от 2,5 dB/mm. От кривите, представени на фиг. 2 и фиг. 3, се вижда, че това се отнася за образците No.3 и No.8.

Получените за образец No.3-Optorez резултати почти съвпадат с тези на образец No.7 за първите 6 отражения и изминат път от ултразвуковата вълна до 24 mm, след което се регистрира известно намаляване на амплитудата на отразения сигнал и увеличен акустичен шум. При това общият коефициент на затихване (отражение и разсейване) нараства до 2,48 dB/mm (таблица 2). Експериментът доказва, че образците имат много близки акустични характеристики и при дебелина до 24 mm могат да бъдат използвани за едни и същи цели. При следващо увеличаване на пътя на разпространение на ултразвуковите вълни в образец No.3-Optorez видимо нараства коефициентът на разсейване, който заедно с коефициента на поглъщане формира затихването в изследваната среда. Това може да се приеме като признак за наличието на разлики в структурата на двата образца.



Фигура. 3. Зависимост между затихване на отразените ехосигнали и техния брой при образците от първа група

Особен интерес представляват резултатите, получени за образец No. 8 (SAN). При него изминатият път от ултразвуковите вълни е 60.94 mm при относително нисък коефициент на затихване от 1.69 dB/mm (таблица 2 и фиг. 3). Тук не трябва да се пренебрегва фактът, че дебелината на образца е около 1.4 пъти по-голяма от тази на образците 1 и 2, което, от своя страна, води до по-малък брой отражения на ултразвуковите вълни и съответно по-ниски загуби на вълнова енергия при граничните повърхнини на материала в резултат на разсейване. Може да се приеме, че големият брой отчетливо регистрирани отразени ехосигнали при този образец, дори при честота от 15MHz, е признак за пренебрежимо малко време за релаксация на средата (релаксационната дисперсия) в сравнение с времето на действие на звуковите вълни, при което средата остава практически в равновесно състояние. Обобщено за образците No.3 и No.8 може да се предположи, че притежават слабо променливи физико-механични свойства в целия си обем, висока акустична чистота и ниска степен на структурни нееднородности.

Експериментът показва, че броят и амплитудите на ехосигналите, получени при образците No.1 и No.2 (Zeonex и Bayer) са характерни за материали с по-ниска акустична честота на средата. Тук коефициентите на затихване са 4,02 dB/mm

(за Zeonex) и 3,35 dB/mm (за Bayer), което допълва резултатите от публикувани вече изследвания (Kasarova et al., 2011).

Резултатите от нашия експеримент показват, че при тези образци известно намаляване на пътя, изминат от ултразвуковите вълни при честота от 15MHz, се дължи на общо увеличаване на коефициента на затихване (поглъщане и разсейване), тъй като броят на отраженията не е под 6, но първоначалното затихване на сигнала е над 38dB. Причината за това е наличието на известна акустична нееднородност и анизотропност в тези полимерни материали. Към същата група може да се причисли и образец No.4 (S-low Styrene). При него доминира поглъщането на вълните в материала въпреки относително ниския коефициент на затихване от 2,33 dB/mm. От представените резултати на фиг. 2 се вижда, че образците No.1, No.2 и No.4 формират втора група от близки по физико-механични свойства полимерни материали.

С подобни разсъждения може да се подходи и към експерименталните данни, получени при образците от третата група No. 5 (Cellulose) и No.6 (Acrylic). Тук трябва да се има предвид, че ниските коефициенти на затихване от 2,67 dB/mm за Cellulose и 2,93 dB/mm за Acrylic се дължат на повече от 2 пъти по-голямата дебелина на образците, съпътствана от по-малко на брой отражения, което води до намалени загуби на вълнова енергия при граничните повърхнини на материала. Доминиращ фактор тук е коефициентът на поглъщане в средата и високото акустично съпротивление вследствие на акустична нееднородност и анизотропност.

Резултатите от проведените изследвания с вихроволтовия метод показаха, че уверено можем да разграничим образците с различна структура. Получените данни еднозначно показаха нарастване на амплитудата на образец No.3 с 3% спрямо нулевата позиция на индикаторното изображение върху екрана на апарата при оптимален режим на настройване: фазов ъгъл – 355°, чувствителност – 27dB и честота 1kHz. При същите параметри за образец No.1 получаваме 10% по-висока амплитуда от тази на образец No.7.

Вижда се, че в хода на експеримента получаваме минимални, но достатъчно различни и добре възпроизводими разлики при образци с еднакви дебелини, което може да бъде критерий за характеризиране на електроизолационните свойства на изследваните полимерни материали.

Заклучение

Извършените експерименти показват, че приложените безразрушителни методи на изследване могат да послужат за сравнение между различните полимерни материали по отношение на структурата и хомогенността им, както и за контрол на качеството при образци с определена форма чрез т.нар. „експрес-анализ“, без да се нарушава целостта им. Съвместното прилагане на тези методи с оптичните и механичните измервания създава условия за по-добро изучаване и правилен подбор на полимерните материали при тяхното приложение в различни оптични, електрооптични и акустооптични устройства.

REFERENCES/ЛИТЕРАТУРА

- Ermolov, I.N. & Lange, Y.V. (2004). *Nerazrushayushtiy control – tom 3: ultrazvukoviy control*. Moskwa: Mashinostroenie [In Russian].
- Kasarova, S. & Kasarov, R. (2007). Izsledvane na optichni polimeri s pomoshta na ultrazvuk. *Akustika*, No. 9, 74 – 79 [Касарова, С. & Касаров, Р. (2007). Изследване на оптични полимери с помощта на ултразвук. *Акустика*, № 9, 74 – 79].
- Kasarova, S., Sultanova, N. & Kasarov, R. (2011). Izsledvane na tankos-tenni optichni polimeri s pomoshta na ultrazvukov eho-impulsen metod. *Nauchni izvestia*, No. 1, 56 – 59 [Касарова, С., Султанова, Н. & Касаров, Р. (2011). Изследване на тънкостенни оптични полимери с помощта на ултразвуков ехоимпулсен метод. *Научни известия*, № 1, 56 – 58].

INVESTIGATION OF POLYMER MATERIALS BY MEANS OF ELECTRO-ACOUSTICAL PULSE-ECHO METHOD AND EDDY CURRENT METHOD

Abstract. We have examined eight types of optical polymer plates including polymethyl methacrylate (PMMA) which is preferred material for ultrasonic purposes. Their longitudinal ultrasonic velocity and attenuation coefficient have been determined by means of pulse-echo technique. Comparison of acoustic properties of the investigated polymers and PMMA sample at 15MHz frequency. Obtained values of the ultrasonic attenuation coefficient and acoustic path length could be used to qualify homogeneity and isotropy of the polymer materials. Eddy current testing is based on the physics phenomenon of electromagnetic induction. The principle of the eddy current technique is based on the interaction between a magnetic field source and the test material. This interaction induces eddy currents in the test piece. The thickness of nonmetallic coatings on metals can be determined simply from the effect of liftoff on impedance. This method has used for measuring thickness and research a structure of thin walled non-conductive polymers.

✉ **Dr. Radostin Kasarov (corresponding author)**

Department of Electronics, Electrical Engineering and Machine Science
Univeresity “Prof. Dr. Assen Zlatarov”
1, Prof. Yakimov St.
8010 Burgas, Bulgaria
E-mail: diagnostika.kasarov@abv.bg