

تحلیل تجربی تاثیر اجزای داخلی ماده پشتی بر عملکرد تراگذار (پروب) فراصوتی

فرهنگ هنرور^۲

دانشکده مهندسی مکانیک

دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۱۲/۲۸؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۱۲/۰۲)

میلاد نصیری بابلانی^۱

دانشکده مهندسی مکانیک

دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

چکیده

تراگذار فراصوتی به دلیل نقش بسیار مهمی که در کیفیت، دقت و قابلیت اطمینان نتایج به دست آمده از آزمون غیرمخرب فراصوتی ایفا می کند از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است. تراگذار فراصوتی از سه جزء اصلی بلوره پیزوالکتریک، ماده پشتی و لایه تطابق امپدانس تشکیل شده است که چگونگی انتخاب و طراحی هر یک از این اجزاء، تاثیر به سزایی در عملکرد تراگذار دارد. ماده پشتی دارای خاصیت مستهلک کنندگی امواج فراصوتی بوده و وظیفه کاهش زمان لرزش بلوره پیزوالکتریک را برعهده دارد. در این مقاله، از ترکیب ذرات فلزی (تنگستن) و رزین اپوکسی به دلیل داشتن دو ویژگی مستهلک کنندگی امواج فراصوتی و چسبندگی مناسب به عنوان ماده پشتی تراگذار استفاده شده و تاثیر اجزای داخلی ماده پشتی بر عملکرد تراگذار به صورت تجربی مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج به دست آمده نشان می دهد که می توان با در نظر گرفتن اجزای مناسب برای ماده پشتی، عملکرد تراگذار را کاملاً تغییر داده و آن را برای پیدا کردن عیوب نزدیک به یکدیگر که نیاز به قدرت تفکیک بالا دارند و یا برای عیب یابی در قطعات با استهلاک صوتی بالا که نیاز به انرژی زیادی در تراگذار است بهینه کرد.

واژه های کلیدی: آزمون غیرمخرب، آزمون فراصوتی، تراگذار فراصوتی، ماده پشتی

Experimental Investigation of the Effect of the Backing Material on the Performance of an Ultrasonic Probe

M. Nasiri Babolani

Faculty of Mechanical Engineering
K. N. Toosi University of Technology

F. Honarvar

Faculty of Mechanical Engineering
K. N. Toosi University of Technology

(Received: 19/March/2016; Accepted: 20/February/2017)

ABSTRACT

An ultrasonic transducer (probe) is an important part of an ultrasonic testing system. It comprises of a piezoelectric disk, backing material and matching layer. The process of selection and design of these components for any specific ultrasonic transducer is a challenging task. The backing material should be able to attenuate the ultrasonic waves and to reduce the ringing time of the piezoelectric disk. In this paper, a combination of metal particle (tungsten) and epoxy resin is used as backing material in fabricating transducers. The results show that the performance of the ultrasonic transducer is highly dependent on the characteristics of the backing material constituents. A high resolution or a high energy transducer can be produced just by changing the backing material.

Keywords: Nondestructive Testing (NDT), Ultrasonic Testing, Ultrasonic Probe, Backing Material

۱- کارشناس ارشد: mnasiri@mail.kntu.ac.ir

۲- استاد (نویسنده پاسخگو): honarvar@kntu.ac.ir

فهرست علائم و اختصارات

t	ضخامت، m
V	سرعت امواج فراصوتی، m/s
n	تعداد رفت و برگشت‌های امواج فراصوتی
Z	میزان امپدانس صوتی، Mrayl

طراحی هر یک از این اجزاء تاثیر به‌سزایی در عملکرد تراگذار دارد. ماده پشتی در واقع یکی از مهم‌ترین و تاثیرگذارترین پارامترهای فیزیکی تراگذارها، حسگرها، ضخامت‌سنج‌های فراصوتی، سونارهای شناورهای سطحی و سونارهای زیردریایی است.

کوسوف^۷ در سال ۱۹۶۶ با استفاده از روش مدار معادل^۸ [۱]، سیلک^۹ در سال ۱۹۸۳ با استفاده از مدل KLM [۲] و پرسون^{۱۰} و همکاران در سال ۱۹۸۵ با استفاده از مدل مایسون [۳] چگونگی تاثیر امپدانس اجزای مختلف تراگذار فراصوتی را بررسی کردند. گاچاگان^{۱۱} و همکاران در سال ۱۹۹۴ با استفاده از مدل سیستم‌های خطی و روش اجزاء محدود [۴] و صدر^{۱۲} در سال ۲۰۰۴ با استفاده از مدل KLM بر روی تراگذارهای با بلوره پیزوپلیمر [۵] تحقیقاتی را بر روی نحوه اثرگذاری اجزای تراگذار به‌صورت کاملاً تئوری انجام دادند. در پایان کیم^{۱۳} و همکاران در سال ۲۰۱۰ با استفاده از مدل KLM بر روی تراگذارهای با بلوره پیزوکامپوزیت و پیزوسرامیک [۶] و گائو^{۱۴} و همکاران در سال ۲۰۱۱ با استفاده از مدل KLM و روش اجزاء محدود [۷] تاثیر امپدانس ماده پشتی و لایه تطابق را بر روی عملکرد تراگذار فراصوتی مورد بررسی قرار دادند. امینی و سینکلر^{۱۵} در سال ۲۰۱۴ از سرامیک متخلخل به‌عنوان ماده پشتی برای تراگذارهایی که در دمای بین ۶۰۰ تا ۸۰۰ درجه سانتی‌گراد کاربرد دارند، استفاده کردند. زمانی که مخلوط پودر سرامیک و ذرات پلی‌اتیلن تحت شرایط خاصی پخته می‌شوند، ذرات پلی‌اتیلن در داخل پودر سرامیک سوخته و تخلخل‌های استوانه‌ای از خود برجای می‌گذارند که باعث ایجاد پدیده پراکندگی می‌شود [۸].

پژوهش‌های منتشرشده قبلی در این زمینه، هر کدام براساس یک مدل تئوری خاص انجام شده است که به مرور زمان، کارایی این مدل‌ها به‌دلیل داشتن محدودیت‌های اساسی تحت‌الشعاع قرار گرفته است. لذا با توجه به این‌که تاثیر ماده پشتی بر روی عملکرد تراگذار بسیار پراهمیت است، لازم است تا با انجام یک روش مطمئن، تاثیر واقعی و عینی این بخش پراهمیت تراگذار مورد بررسی قرار گرفته تا بتوان برای ساخت

۱- مقدمه

با پیشرفت صنایع و فناوری‌ها در دنیا، کنترل کیفیت محصولات تولیدشده نیز اهمیت بسیار زیادی یافته است. از روش‌های گوناگونی برای کنترل کیفیت محصولات در زمان تولید و حین بهره‌برداری استفاده می‌شود. در بین این روش‌ها، آزمون‌های غیرمخرب^۱ به‌دلیل داشتن مزایایی از جمله عدم آسیب‌رسانی به قطعه، بازرسی سریع، قابلیت اطمینان بالا و امکان استخراج اطلاعات متنوع از محصول به‌عنوان ابزاری کارآمد برای ارزیابی محصولات تولیدشده شناخته می‌شوند. آزمون فراصوتی^۲ یکی از مهم‌ترین روش‌های بازرسی غیرمخرب است که در آن با ارسال امواج فراصوتی به داخل قطعه و دریافت امواج بازگشتی، ساختار داخلی قطعه مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. از مزایای آزمون فراصوتی می‌توان به قدرت نفوذ بالای امواج فراصوتی در قطعات، حساسیت زیاد، عدم نیاز به دسترسی به دو طرف قطعه و بی‌خطر بودن امواج فراصوتی برای محیط زیست و سلامت انسان اشاره کرد.

برای انجام آزمون فراصوتی به تجهیزاتی نیاز است، از جمله: دستگاه فراصوتی، ماده واسط^۳، بلوک کالیبراسیون و تراگذار (پروب) فراصوتی^۴. دستگاه فراصوتی منبع تولید پالس‌های الکتریکی بسیار کوتاه ولی با انرژی زیاد است که از طریق کابل رابط به تراگذار فرستاده می‌شوند. پالس‌های برگشتی از قطعه نیز توسط تراگذار دریافت شده و به دستگاه فرستاده می‌شوند تا در آن‌جا پس از تقویت بر روی صفحه نمایش نشان داده شوند. تراگذار فراصوتی به‌دلیل نقش بسیار مهمی که در کیفیت، دقت و قابلیت اطمینان نتایج به‌دست‌آمده از آزمون فراصوتی ایفا می‌کند، از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است. تراگذار فراصوتی از سه جزء اصلی بلوره پیزوالکتریک، ماده پشتی^۵ و لایه تطابق امپدانس^۶ تشکیل شده است که چگونگی انتخاب و

8- Equivalent Circuit Method

9- Silk

10- Persson

11- Gachagan

12- Sadr

13- Kim

14- Gao

15- Amini and Sinclair

1- Nondestructive Testing (NDT)

2- Ultrasonic Testing (UT)

3- Coupling Medium

4- Ultrasonic Transducer (Probe)

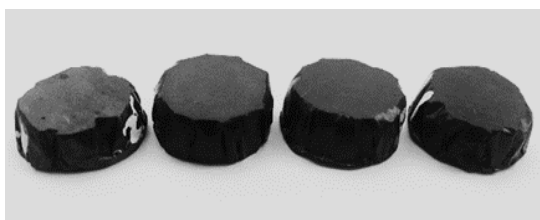
5- Backing Material

6- Matching Layer

7- Kossoff

۲-۱- آماده‌سازی نمونه‌ها

ماده پستی تراگذر فراصوتی می‌بایست به‌طور همزمان دارای دو ویژگی استهلاک و چسبندگی مناسب باشد تا هم به‌خوبی به بلوره پیزوالکتریک بچسبد و هم بتواند امواج فراصوتی را به‌خوبی مستهلک کند. ترکیبی از ذرات فلزی و رزین اپوکسی این دو خاصیت را به‌طور همزمان داراست [۱۱ و ۱۳]. در این پژوهش، برای بررسی تاثیر اندازه ذرات فلزی و جنس رزین اپوکسی بر روی عملکرد تراگذر فراصوتی از دو نوع پودر تنگستن با دو اندازه متفاوت (۱۰ و ۳۰ میکرون) و دو نوع رزین اپوکسی (این^۴ و آرالدایت^۵) استفاده شده و طراحی آزمایش‌ها توسط نرم‌افزار مینیتب^۶ انجام شده است. در شکل ۱، نمونه‌هایی که برای به‌دست‌آوردن خواص مواد پستی آماده شده‌اند، نشان داده شده است. لازم به ذکر است که قالب‌گیری نمونه‌ها به‌گونه‌ای انجام شده است که دو سطح آن‌ها با دقت بالایی با یک‌دیگر موازی باشند.



شکل (۱): نمونه‌های مواد پستی.

۲-۲- اندازه‌گیری سرعت صوت

امپدانس صوتی (Z)، برابر با حاصل ضرب چگالی ماده در سرعت صوت است [۱۴]. در این پژوهش برای به‌دست‌آوردن سرعت صوت، از استاندارد ASTM E494 استفاده شده است [۱۵]. براساس این استاندارد، برای اندازه‌گیری سرعت موج طولی باید از تراگذر قائم تماسی^۷ استفاده شود و ضخامت قطعه نیز باید ۵ میلی‌متر یا بیشتر باشد.

تخمین اندازه سرعت صوت با استفاده از مقایسه زمان رفت و برگشت امواج فراصوتی در قطعه استاندارد (بلوک کالیبراسیون) و نمونه‌های مورد نظر، به‌شرح زیر انجام شده است:

- اندازه‌گیری ضخامت قطعه با دقت ± 0.02 میلی‌متر یا ± 0.1 % ضخامت قطعه.

و در نهایت بهبود عملکرد تراگذرها تصمیماتی درست اتخاذ کرد. از طرف دیگر، ورود به حوزه ساخت تراگذرها برای کشور بسیار استراتژیک است و دانش فنی لازم در این زمینه بسیار محدود است. در این مقاله تاثیر اجزای داخلی ماده پستی بر عملکرد تراگذر به‌صورت تجربی مورد بررسی قرار گرفته است. بدین منظور، از دو نوع پودر تنگستن با دو اندازه متفاوت و دو نوع رزین اپوکسی استفاده شده است و با ساخت چهار تراگذر فراصوتی، در همه موارد به جز ماده پستی، کاملاً شبیه به یک‌دیگرند چگونگی تاثیر اجزای داخلی ماده پستی بر عملکرد تراگذر بررسی شده است. همچنین با اندازه‌گیری خواص ماده پستی (چگالی، سرعت صوت و استهلاک)، نحوه تاثیرگذاری جنس رزین اپوکسی و اندازه ذرات تنگستن بر خواص ماده پستی ارزیابی شده است.

۲- ماده پستی تراگذر

زمانی که بلوره پیزوالکتریک توسط یک پالس الکتریکی با ولتاژ بالا تحریک می‌شود، به‌دلیل اختلاف امپدانس آکوستیک میان بلوره پیزوالکتریک و قطعه، مقدار زیادی از انرژی با بازتابش مکرر از سطوح بالا و پایین بلوره مستهلک می‌شود [۹]. بازتابش‌های متوالی از دو سطح بلوره، باعث افزایش زمان لرزش^۱ و در نتیجه افزایش طول پالس^۲ می‌شود و افزایش طول پالس، کاهش قدرت تفکیک^۳ تراگذر را به‌دنبال دارد [۱۰]. با چسباندن قطعه‌ای به پشت بلوره پیزوالکتریک، یعنی همان ماده پستی که دارای خاصیت مستهلک‌کنندگی امواج فراصوتی می‌باشد، می‌توان زمان لرزش تراگذر را کاهش داد [۱۱].

زمانی که امواج فراصوتی به‌صورت عمود به سطح مشترک بلوره پیزوالکتریک و ماده پستی که دارای امپدانس‌های آکوستیک متفاوتی هستند می‌رسند، درصدی از انرژی امواج از فصل مشترک عبور کرده و به‌درون ماده پستی راه می‌یابد و مابقی انرژی به‌درون بلوره پیزوالکتریک بازتابیده می‌شود. موجی که از بلوره پیزوالکتریک به ماده پستی منتقل شده است اگر مجدداً به سطح بلوره بازگردد، باعث ایجاد سیگنال‌های مزاحم و گمراه‌کننده خواهد شد [۱۲]. در نتیجه، میرایی ماده پستی باید به اندازه‌ای باشد که موج وارد شده به آن کاملاً مستهلک شده و دیگر به سطح بلوره بازنگردد.

4- Epon
5- Araldite
6- Minitab
7- Contact Straight Beam Probe

1- Ringing Time
2- Pulse Duration
3- Resolution

۲-۳- اندازه‌گیری استهلاک

یکی از مهم‌ترین خواص ماده پستی، میزان استهلاک امواج فراصوتی در آن است. برای به‌دست‌آوردن استهلاک از استاندارد ASTM E 664-93 استفاده شده است [۱۶-۱۷]. در این استاندارد امواج فراصوتی طولی با استفاده از پروب تخت به روش غوطه‌وری^۲ به داخل قطعه فرستاده می‌شوند و با توجه به سیگنال‌های دریافت‌شده و با استفاده از معادله (۲)، میزان استهلاک ماده، اندازه‌گیری می‌شود [۱۶-۱۷]:

$$\alpha = \frac{20 \log \frac{A_m}{A_n}}{2(n-m)T} \quad (2)$$

که در این رابطه، α ضریب استهلاک، A_m و A_n دامنه اکوی m ام و n ام دیواره پستی و T ضخامت قطعه است. ضخامت قطعاتی که میزان استهلاک آن‌ها توسط این استاندارد به‌دست می‌آیند نباید بیشتر از دو برابر با یک‌دیگر تفاوت داشته باشند و موج باید بتواند حداقل دوبرار ضخامت قطعه را طی کرده و دو اکوی دیواره پستی تولید کند. علاوه بر این، باید توجه داشت که به‌دلیل این‌که دامنه موج در ناحیه نزدیک^۳ تراگذار مرتباً تغییر می‌کند، می‌بایست فاصله ستون آب میان تراگذار و قطعه طوری تنظیم شود که سطح قطعه در ناحیه دور^۴ تراگذار قرار گیرد. تخمین میزان استهلاک امواج فراصوتی در یک قطعه با استفاده از میزان افت دامنه سیگنال، طی مراحل زیر انجام می‌شود [۱۶]:

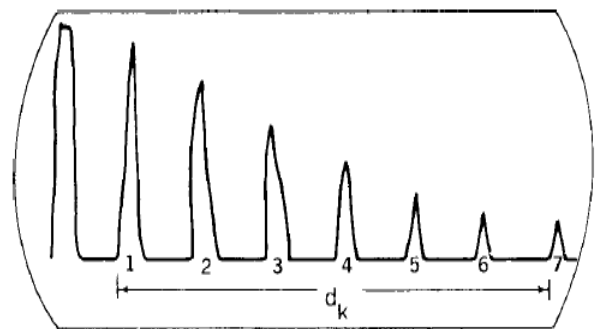
- اندازه‌گیری ضخامت قطعه با دقت ± 0.02 میلی‌متر یا $\pm 0.1\%$ ضخامت قطعه
- تنظیم ارتفاع ستون آب به‌نحوی که سطح قطعه در ناحیه دور تراگذار قرار گیرد.
- ثبت و اندازه‌گیری دو سیگنال بازگشتی از پشت قطعه مشابه با آنچه در شکل ۳ نشان داده شده است (برای به‌دست‌آوردن نتیجه بهتر در مقایسه استهلاک چند قطعه، بهتر است از دو سیگنال مشخص برای تمامی قطعات استفاده شود).
- محاسبه استهلاک قطعه با استفاده از رابطه (۲)

- اعمال ماده واسط^۱ و قراردادن تراگذار فراصوتی بر روی قطعه.
- تنظیم پایه زمانی دستگاه به‌طوری که چندین سیگنال در صفحه نمایش به‌خوبی دیده شوند.
- اندازه‌گیری فاصله بین اولین اکوی دیواره پستی تا چندمین اکوی دیواره پستی (مثلاً چهارمین).
- قراردادن تراگذار بر روی بلوک کالیبراسیون و اندازه‌گیری فاصله زمانی بین اولین اکوی دیواره پستی تا چندمین اکوی دیواره پستی بدون این‌که پایه زمانی دستگاه تغییر داده شود.
- محاسبه اندازه سرعت صوت در نمونه مورد نظر با استفاده از رابطه (۱):

$$V_1 = \frac{A_k n_1 t_1 V_k}{A_1 t_k n_k} \quad (1)$$

که در آن، A_k = فاصله میان اکوی اولیه و N مین اکوی دیواره پستی در بلوک کالیبراسیون (شکل ۲)
 n_1 = تعداد رفت و برگشت‌های امواج فراصوتی در قطعه که یکی کمتر از تعداد اکوهای دیواره پستی است (شکل ۲).
 t_1 = ضخامت قطعه (m)
 V_k = سرعت در بلوک کالیبراسیون (m/s)
 A_1 = فاصله میان اکوی اولیه و N مین اکوی دیواره پستی در قطعه
 t_k = ضخامت بلوک کالیبراسیون (m)

n_k = تعداد رفت و برگشت‌های امواج فراصوتی در بلوک کالیبراسیون که یکی کمتر از تعداد اکوهای دیواره پستی است.

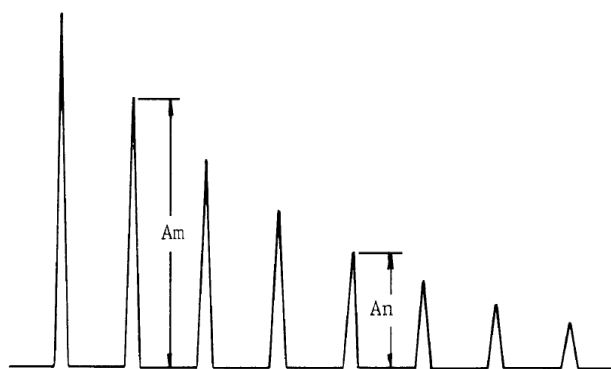


شکل (۲): پالس اولیه و هفت اکو از دیواره پستی [۱۵]

2- Immersion
 3- Near Field
 4- Far Field

1- Coupling Medium

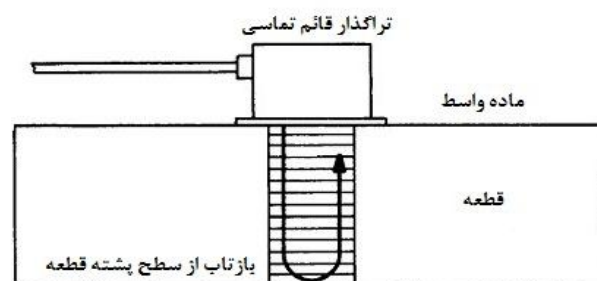
از ماده پستی از جنس پودر تنگستن دانه ریز (۱۰ میکرون) و رزین اپوکسی آرالدایت استفاده شده است (شکل ۵). قدرت تفکیک این تراگذار از دیگر تراگذارها بیشتر بوده و لذا برای عیب‌یابی و پیدا کردن عیوب نزدیک به یکدیگر مناسب است. از آنجایی که انرژی و طول پالس تراگذار با یکدیگر رابطه مستقیم دارند [۱۸]، بیشترین انرژی پالس مربوط به تراگذار با ماده پستی پودر تنگستن دانه درشت و رزین اپوکسی این است (شکل ۸) و لذا این تراگذار برای عیب‌یابی قطعاتی که میزان استهلاک امواج فراصوتی در آنها بالا است، مناسب می‌باشد. علت تفاوت عملکرد تراگذارهای فراصوتی را می‌بایست در خواص ماده پستی آنها جستجو کرد.



شکل (۳): اکوهای متعدد بازگشتی از پشت قطعه برای اندازه‌گیری ضریب استهلاک [۱۶].

۲-۴- نحوه گرفتن سیگنال از تراگذار فراصوتی

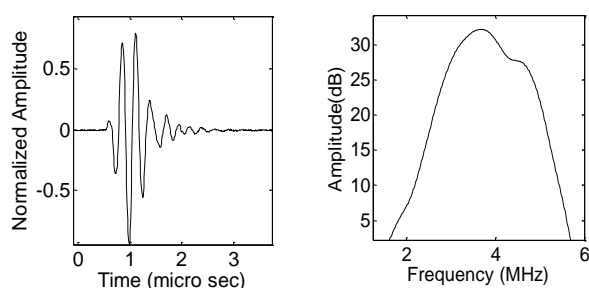
برای بررسی تاثیر اندازه ذرات فلزی و جنس رزین اپوکسی موجود در ماده پستی بر روی عملکرد تراگذار، لازم است تا پس از اعمال ماده پستی و انجام عملیات پخت، سیگنال هر کدام از تراگذارها تحت شرایط یکسان ذخیره شود. در شکل ۴ نحوه انجام آزمون فراصوتی برای گرفتن سیگنال از تراگذار قائم تماسی جهت ارزیابی تاثیر ترکیب ماده پستی و به‌دست‌آوردن پهنای باند فرکانسی نشان داده شده است.



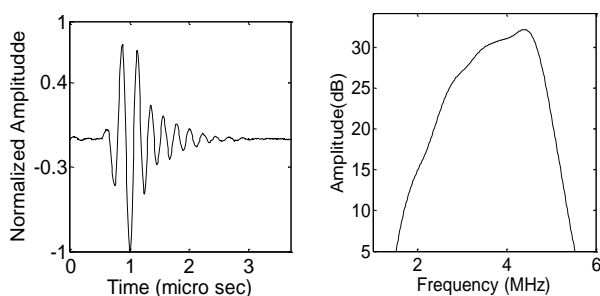
شکل (۴): نحوه انجام آزمون فراصوتی برای گرفتن سیگنال از تراگذار قائم تماسی.

۳- نتایج

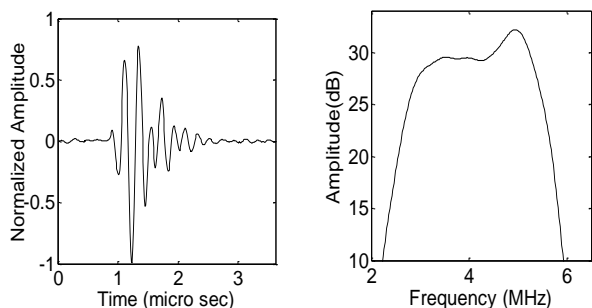
از چهار تراگذار فراصوتی، که به‌غیر از ترکیب ماده پستی در تمامی موارد مشابه یکدیگر هستند، برای بررسی تاثیر اندازه ذرات فلزی و جنس رزین اپوکسی بر روی رفتار تراگذار استفاده شد. در شکل‌های ۵-۸، سیگنال و طیف فرکانسی این چهار تراگذار نمایش داده شده است. با توجه به شکل‌های ۵-۸، کوتاه‌ترین طول پالس (مدت زمانی که طول می‌کشد تا بیشینه دامنه سیگنال به سطح یک دهم کاهش یابد) و نیز متقارن‌ترین طیف فرکانسی متعلق به تراگذاری است که در آن



شکل (۵): سیگنال و طیف فرکانسی تراگذار با ترکیب ماده پستی پودر تنگستن دانه ریز و رزین اپوکسی آرالدایت.

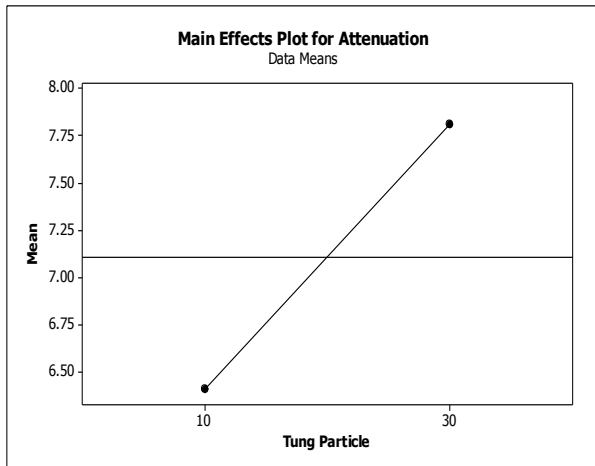


شکل (۶): سیگنال و طیف فرکانسی تراگذار با ترکیب ماده پستی پودر تنگستن دانه ریز و رزین اپوکسی این.

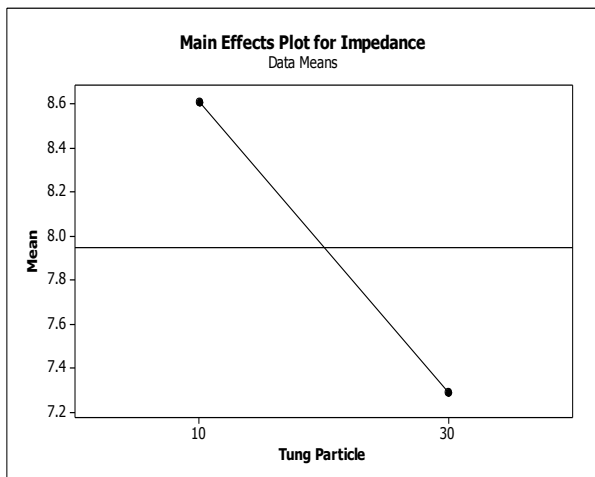


شکل (۷): سیگنال و طیف فرکانسی تراگذار با ترکیب ماده پستی پودر تنگستن دانه درشت و رزین اپوکسی آرالدایت.

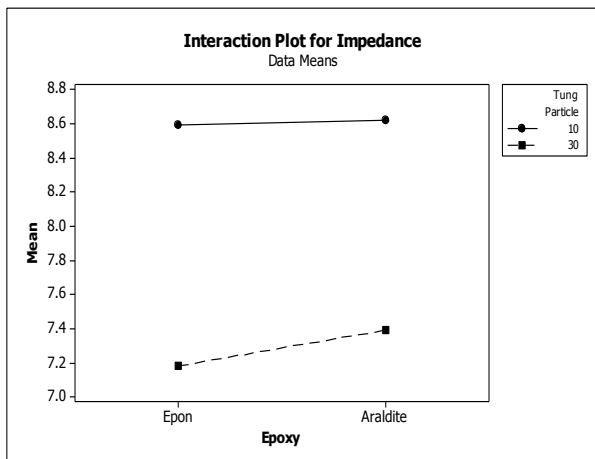
تنگستن دانه ریز و رزین اپوکسی آرالدایت است را می توان در تطابق امپدانس بیشتری که میان بلوره پیزوالکتریک و ماده پستی که به دلیل ریزدانه بودن ذرات، ایجاد شده دانست.



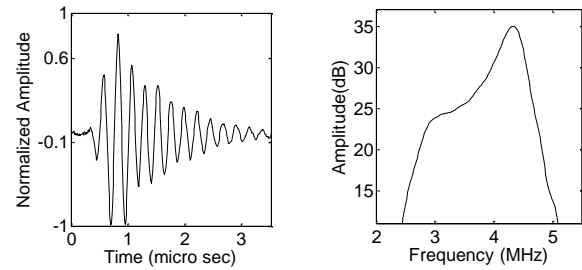
شکل (۹): تاثیر اندازه ذرات پودر تنگستن بر روی استهلاک ماده پستی.



شکل (۱۰): تاثیر اندازه ذرات پودر تنگستن بر روی امپدانس آکوستیک ماده پستی.



شکل (۱۱): نمودار بررسی تعامل اثر دو فاکتور اندازه ذرات تنگستن و جنس رزین اپوکسی بر روی امپدانس آکوستیک ماده پستی.



شکل (۸): سیگنال و طیف فرکانسی تراگذار با ترکیب ماده پستی پودر تنگستن دانه درشت و رزین اپوکسی این.

در جدول ۱ خواص چهار ماده پستی مورد آزمایش نشان داده می شود. با ارزیابی این جدول، می توان نتیجه گرفت که با افزایش قطر ذرات تنگستن، ضریب استهلاک ماده پستی افزایش یافته است. در شکل ۹، علت آن را می توان رابطه مستقیم ضریب استهلاک ناشی از پراکندگی^۱ با قطر ذرات (در ناحیه پراکندگی معمولی) دانست. از طرف دیگر با افزایش قطر ذرات تنگستن، امپدانس آکوستیک ماده پستی کاهش می یابد، شکل ۱۰، که این موضوع به دلیل افزایش فضای خالی میان ذرات تنگستن به دلیل افزایش قطر آن ها است. به بیان دیگر، هر قدر ذرات تنگستن دانه ریزتر باشند، فضای خالی میان ذرات (که با رزین اپوکسی پر می شود) کمتر شده و به تبع آن چگالی ماده پستی افزایش می یابد که در نتیجه آن، امپدانس آکوستیک ماده پستی افزایش می یابد. اما از طرف دیگر، ضریب استهلاک نیز در این شرایط کاهش می یابد و نیاز است تا ارتفاع ماده پستی بیشتر شود تا مطمئن شویم امواجی که به داخل ماده پستی وارد می شوند، نمی توانند مجدداً به سطح بلوره پیزوالکتریک بازگردند و باعث ایجاد سیگنال های مزاحم در تراگذار شوند.

در شکل ۱۱، نمودار تعامل اثر^۲ دو فاکتور اندازه ذرات تنگستن و جنس رزین اپوکسی بر روی امپدانس آکوستیک ماده پستی، که پراهمیت ترین فاکتور ماده پستی است، نشان داده می شود. با توجه به این که دو نمودار موجود در شکل ۱۱ با یکدیگر موازی هستند، هیچ گونه تعامل اثری میان دو فاکتور اندازه ذرات تنگستن و جنس رزین اپوکسی وجود ندارد.

امپدانس آکوستیک بلوره پیزوالکتریک استفاده شده در تراگذارها، که نوعی پیزوسرامیک است، در حدود ۳۳ مگاریل می باشد. در نتیجه، علت کوتاه بودن زمان پالس و متقارن بودن طیف فرکانسی تراگذاری را که ماده پستی آن ترکیبی از پودر

جدول (۱): خواص مواد پشتی.

ترکیب ماده پشتی	چگالی (kg/m^3)	سرعت صوت (m/s)	امپدانس (MRayl)	استهلاک (dB/cm at 1 MHz)
پودر تنگستن دانه ریز و رزین اپوکسی آرالدایت	۴۲۹۰/۸	۲۰۰۸/۹۴	۸/۶۲	۵/۹۶
پودر تنگستن دانه ریز و رزین اپوکس این	۴۵۹۶/۱	۱۸۶۸/۹۷	۸/۵۹	۶/۸۶
پودر تنگستن دانه درشت و رزین اپوکسی آرالدایت	۵۰۹۶/۰۳	۱۶۸۶/۳۱	۷/۳۹	۷/۹۸
پودر تنگستن دانه درشت و رزین اپوکسی این	۵۰۶۸/۶۷۹	۱۷۰۲/۲۱	۷/۱۸	۷/۶۴

۴- جمع بندی و نتیجه گیری

در این پژوهش با ساخت چهار تراگذر فراصوتی که به جز ترکیب ماده پشتی، در تمامی موارد کاملاً مشابه به یکدیگر هستند و اندازه گیری خواص ماده پشتی، تاثیر اندازه ذرات تنگستن بر روی خواص ماده پشتی و همچنین تاثیر اجزای داخلی ماده پشتی بر روی عملکرد تراگذر به صورت تجربی برای چهار ترکیب مختلف ذرات تنگستن و رزین اپوکسی مورد بررسی قرار گرفت. به عنوان نتیجه گیری می توان به موارد زیر اشاره کرد:

- برای ساخت تراگذر فراصوتی با قدرت تفکیک بالا که برای عیب یابی و یافتن عیوب نزدیک به یکدیگر مناسب باشد، باید از ترکیب پودر تنگستن دانه ریز (۱۰ میکرون) و رزین اپوکسی آرالدایت استفاده کرد.
- برای ساخت تراگذر فراصوتی با انرژی نفوذ بالا برای عیب یابی در قطعاتی که مستهلک کننده امواج فراصوتی هستند لازم است از ترکیب پودر تنگستن دانه درشت (۳۰ میکرون) و رزین اپوکسی این استفاده شود.
- با استفاده از ذرات تنگستن دانه درشت به جای ذرات دانه ریز، ضریب استهلاک ماده پشتی افزایش یافته اما امپدانس آکوستیک آن کاهش می یابد.

- دو فاکتور اندازه ذرات تنگستن و جنس رزین اپوکسی ماده پشتی، هیچ گونه تعامل اثری با یکدیگر نسبت به امپدانس آکوستیک ماده پشتی ندارند.
- اگر در ترکیب ماده پشتی تراگذر فراصوتی از ذرات تنگستن دانه درشت استفاده شود، ضخامت ماده پشتی باید به نسبت زمانی که از ذرات تنگستن دانه ریز استفاده می شود بیشتر در نظر گرفته شود.

۵- مراجع

1. Kossoff, G. "The Effects of Backing and Matching on the Performance of Piezoelectric Ceramic Transducers," *Sonics and Ultrasonics*, IEEE Transactions on, Vol. 13, pp. 20-30, 1966.
2. Silk, M. G. "Predictions of the Effect of Some Constructional Variables on the Performance of Ultrasonic Transducers," *Ultrasonics*, Vol. 21, pp. 27-33, 1983.
3. Persson, H. W. and Hertz, C. H. "Acoustic Impedance Matching of Medical Ultrasound Transducers," *Ultrasonics*, Vol. 23, pp. 83-89, 1985.
4. Gachagan, A., Bennett, J. T. and Hayward, G. "A Finite Element Modelling Approach into the Influence of Mechanical Matching and Damping in 1-3 Piezocomposites," in *Ultrasonics Symposium*, 1994. Proceedings., 1994 IEEE, Vol. 2, pp. 995-998, 1994.
5. Sadr, A. "Effects of Backing, Bonding, and Electrode Layers on the Performance of Piezo-

12. Krautkramer, J. and Krautkramer, H. "Ultrasonic Testing of Materials," By J. Krautkramer And H. Krautkramer in Collaboration With W. Grabendorfer And L. Niklas. Translation of the 2D Rev. German Ed. By B.W. Zenzinger: Springer-Verlag, 1969.
13. N. F. Howard E. VanValkenburg, Conn, "Backing for Ultrasonic Transducer Crystal," United States Patent US4420707, 1983.
14. Honarvar, F. "Ultrasonic Evaluations," Ultrasonic Testing: Noorpardazan: Tehran, 2009.
15. ASTM_E_494_95, "Standard Practice for Measuring Ultrasonic Velocity in Materials," Ed. ASTM International, 1995.
16. ASTM_E664_93, "Standard Practice for the Measurement of the Apparent Attenuation of Longitudinal Ultrasonic Waves by Immersion Method," ed: ASTM International, 2000.
17. ASTM_E214_68, "Practice for Immersed Ultrasonic Testing by the Reflection Method Using Pulsed Longitudinal Waves," Ed: ASTM International, 2007.
18. Davis, R., Metals, A. S. f. and Committee, A. I. H. ASM Handbook: Nondestructive evaluation and quality control: ASM International, 1989.
- Polymer Transducers Used in Biomedical Laser-Ultrasonography," presented at the 12th Iranian Conference on Electric Engineering, 2004.
6. Kim, K.-B., Hsu, D. K., Ahn, B., Kim, Y.-G. and Barnard, D. J. "Fabrication and Comparison of PMN-PT Single Crystal, PZT and PZT-based 1-3 Composite Ultrasonic Transducers for NDE Applications," Ultrasonics, Vol. 50, pp. 790-797, 2010.
7. Gao, C., Xiao, D., Pan, Q. and Xu, C. "Ultrasonic Transducers Frequency Response Study with Equivalent Circuit and Finite Element Method," in Mechatronics and Automation (ICMA), 2011 International Conference on, pp. 1746-1750, 2011.
8. Amini, M. H., Sinclair, A. N. and Coyle, T. W. "Development of a High Temperature Transducer Backing Element with Porous Ceramics," in Ultrasonics Symposium (IUS), 2014 IEEE International, pp. 967-970, 2014.
9. Jerry, J. T. F., Leach, G. "Stratified Particle Absorber", United Satates Patent 4381470, 1983.
10. Bray, D. E. and Stanley, R. K. "Nondestructive Evaluation: A Tool in Design, Manufacturing and Service", Taylor & Francis, 1996.
11. W. Ju-Zhen, "Backing Material for the Ultrasonic Transducer," United States Patent 4800316, 1989.