معرفی آزمون‌های غیر مخرّب (NDT)

(نویسنده: ندا عسکرزاده)

منظور از آزمون‌های غیر مخرّب استفاده از روش‌های فیزیکی برای شناسایی خصوصیات مواد یا آسیب‌های آن‌ها است که نیازی به تخریب قطعه و نمونه‌برداری نیست؛ به‌عبارت‌دیگر در این روش‌ها قطعه یا نمونه دچار تغییر شکل، تغییر خواص مکانیکی، تغییر سختی، تغییر خواص فیزیکی و ... نمی‌شود. [۱]انجمن آزمون و مواد آمریکا[۱] و انجمن مهندسین مکانیک آمریکا[۲]، آزمون غیر مخرّب را به ترتیب NDT[۳] و NDE[۴] نامگذاری کرده‌اند. [۲]

با استفاده از آزمون‌های غیر مخرّب می‌توان انواع عیوب ایجادشده در حین فرایند تولید و کار را شناسایی نمود. تخلخل، حفره‌های داخلی، ترک‌های ناشی از خستگی و خوردگی، ناپیوستگی‌های سطحی و داخلی و ناخالصی‌ها ازجملهٔ این عیوب هستند. با توجه به گوناگونی در منشأ عیوب، برخی از آن‌ها عبارت‌اند از:

- حفرات گازی و انقباضی و ترک‌های تنشی ناشی از فرایند ساخت و ریخته‌گری
- ترک‌های ناشی از تنش پسماند، عیوب ماشین‌کاری و عملیات حرارتی ناشی از فرایند تولید قطعه
- عیوب ناشی از مونتاژ قطعات
- عیوب ناشی از خوردگی، خستگی، سایش، خزش و ...

پیشرفت صنایع مختلف نیازمند تولید قطعات، ماشین‌آلات و تجهیزات مناسب است و اطمینان از سلامت و کیفیت محصولات یکی از اهداف مرتبط با ساخت و تولید است، به همین منظور استفاده از آزمون‌های غیر مخرّب از مؤثرترین و کاربردی‌ترین ابزارهای شناسایی عیوب است. امروزه از آزمون‌های غیر مخرّب در صنایع مختلف مهندسی به‌منظور تشخیص کیفیت محصولات و به‌طور گسترده در بازرسی جوش، بازرسی قطعات ریختگی، قطعات آهنگری، تخمین عمر خستگی و بررسی میزان خوردگی و همچنین در زمینه‌های پزشکی استفاده می‌شود. بهره‌گیری از آزمون‌های غیر مخرّب به‌موجب پیشگیری از حوادث، کاهش هزینه‌ها و افزایش اطمینان استفاده از محصولات است. [۱]

با توجه به شرایط و خواص فیزیکی مواد انواع مختلفی از آزمون‌های غیر مخرّب به کار گرفته می‌شود که هر یک از این روش‌ها قادر به شناسایی برخی از عیوب عنوان‌شده‌اند. لازم به ذکر است که یک روش به‌تنهایی قادر به شناسایی تمامی عیوب نیست.

از انواع آزمون‌های غیر مخرّب می‌توان به موارد ذیل اشاره داشت:

۱. آزمون چشمی[۵] (VT): برای بررسی عیوب سطحی

۲. آزمون مادون‌قرمز[۶] یا ترموگرافی (IR): بررسی عیوب موجود در سیستم‌های برقی

۳. آزمون انتشار صوت[۷] (AE): برای بررسی عیوب در سازه‌های تحت بار و اجزای آن‌ها [۳]

۴. آزمون مایع نفوذی[۸] (PT): بررسی عیوب سطحی و عیوب راه‌یافته به سطح

۵. آزمون مغناطیسی[۹] (MT): بررسی عیوب سطحی و زیرسطحی تا فاصلهٔ معین از سطح

۶. آزمون رادیوگرافی[۱۰] (RT): بررسی عیوب درون حجمی

۷. آزمون جریان گردابی[۱۱] (ET): بررسی عیوب و ناهمگنی‌های سطحی و زیرسطحی در قطعات رسانا

[۱] American Society for Testing and Materials(ASTM)
[۲] American Society of Mechanical Engineers(ASME)
[۳] Nondestructive Testing(NDT)
[۴] Nondestructive Evaluation(NDE)
[۵] Visual Testing
[۶] Infra red Testing
[۷] Acoustic emission Testing
[۸] Liquid penetrant Testing
[۹] Magnetic particle Testing
[۱۰] Radiography Testing
[۱۱] Eddy current Testing

۸. آزمون التراسونیک[۱۲] (UT): بررسی عیوب درونی و صفحه‌ای [۲].
در این مقاله به معرفی یکی از روش‌های پرکاربرد و مهم در علم خوردگی، یعنی آزمون التراسونیک پرداخته شده است.

آزمون التراسونیک

آزمون التراسونیک یا آزمایش فراصوت به‌عنوان یکی از روش‌های بسیار دقیق برای بررسی عیوب سطحی و زیرسطحی ماده، مانند ترک‌های ناشی از خوردگی، حفره‌های انقباضی، منافذ و خلل و فرج‌ها کاربرد دارد. به‌منظور تولید امواج التراسونیک از پروب‌هایی که امواج صوتی با دامنه فرکانس ۰/۲ هرتز تا ۵۰ مگاهرتز اعمال می‌کنند، استفاده می‌شود.
هنگامی‌که این امواج به قطعه اعمال می‌شود، به عیوب و ناپیوستگی‌ها برخورد کرده و منعکس می‌شود و یا عبور می‌کند. این پرتوها توسط مولّد صوتی دریافت شده و تبدیل به پالس‌های الکتریکی[۱۳] می‌شوند و به‌صورت یک سیگنال بر روی صفحه‌نمایش ظاهر می‌گردند. با بررسی این سیگنال‌ها می‌توان مکان، عمق، ابعاد و نوع عیب را تشخیص داد. در همان ابتدای اعمال امواج، یک پالس بر روی آشکارساز مشاهده می‌شود که نشانهٔ سطح قطعه است. یک پالس هم در انتها که نشانهٔ سطح انتهایی قطعه است مشاهده می‌شود. حال اگر بین این دو پالس، پالس دیگری نیز مشاهده شود، بیانگر وجود عیوب در قطعه است.
این پروب‌های فرستنده و گیرنده از جنس کریستال‌های پیزوالکتریک است که معمولاً از کوارتز، سولفات لیتیم، تیتانات باریم و تیتانات زیرکونیت سرب و... برای ساخت آن‌ها استفاده می‌شود. این پروب‌ها امواج الکتریکی را به امواج صوتی تبدیل می‌کنند. [۴]
پروب‌های مورداستفاده در آزمون التراسونیک به پروب‌های تک‌کریستاله، دوکریستاله و زاویه‌ای تقسیم‌بندی می‌شوند. پروب‌های تک‌کریستاله امواج طولی تولید می‌کند. برای افزایش مقاومت به سایش، پروب‌ها معمولاً از جنس کوارتز ساخته می‌شوند. اصولاً از پروب‌های تک‌کریستاله برای اندازه‌گیری ضخامت‌های زیاد، ناهمگنی‌های موازی با سطح و کاهش ضخامت مانند خوردگی استفاده می‌شود. در پروب‌های دوکریستاله یکی از کریستال‌ها امواج فراصوت را تولید و منتشر می‌کند و کریستال دیگر ساکن می‌ماند. از این پروب در آزمون قطعات کم ضخامت و تعیین عیوب نزدیک به سطح استفاده می‌شود و نسبت به سطح زبر حساس‌تر هستند. نوع بعدی پروب‌ها، پروب‌های زاویه‌ای هستند. در این نوع پروب‌ها از چند کریستال استفاده شده است. در این نوع پروب امواج به حالت طولی تولید و در لحظهٔ برخورد با قطعه، تبدیل به امواج عرضی می‌شوند. در پروب زاویه‌ای از تیتانات باریم استفاده می‌شود و معمولاً این پروب‌ها در سیستم‌های خودکار کاربرد دارند؛ اما جهت بررسی قطعات فولادی مناسب نیستند.
با توجه به جهت و موقعیت عیوب در قطعه، چند نوع موج می‌تواند در بازرسی آزمون التراسونیک مورداستفاده قرار گیرد. برای شناسایی عیوبی که موازی سطح هستند از امواج طولی و برای شناسایی عیوب زاویه‌دار نسبت به سطح از امواج عرضی استفاده می‌شود. در آزمون التراسونیک

[۱۲] Ultrasonic Testing
[۱۳] به مجموعه‌ای از امواج کوتاه که تحت اثر انرژی الکتریکی متناوبی در واحد زمان، به شکل یک دسته موج صوتی تکرار می‌گردند پالس گفته می‌شود.

فرکانس‌های پایین‌تر دارای قدرت نفوذ بیشتری دارند و توانایی دیدن عیوب کوچک را ندارند و بالعکس، فرکانس‌های بالاتر به عمق نفوذ می‌کنند و عیوب کوچک را می‌توانند شناسایی کنند. [۵]

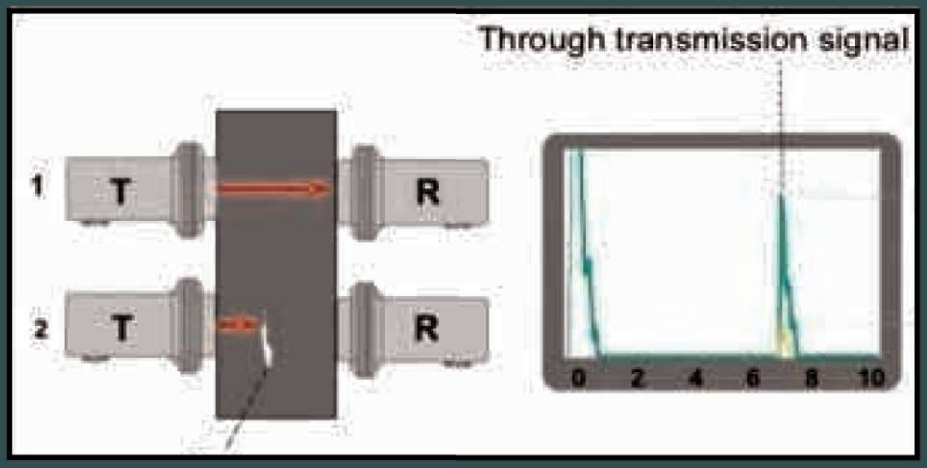
آزمون التراسونیک به دو صورت تماسی و غیرتماسی انجام می‌شود. در روش تماسی پروب به‌صورت مستقیم بر روی قطعه قرار می‌گیرد اما در روش غیرتماسی قطعه و پروب درون یک مایع(با توانایی حرکت صوت در آن) قرار می‌گیرند. در روش غیر تماسی صوت پس از عبور از مایع به قطعه رسیده و وارد آن می‌شود و درون قطعه را بررسی می‌کند.

انواع روش‌های بازرسی التراسونیک عبارت است از:

۱. عبوری[۱۴]

در این روش آن قسمتی از پرتو را که از قطعه عبور کرده است را موردبررسی قرار می‌دهند. همان‌طور که در شکل ۱ نشان داده شده است، در دو طرف نمونه پروب قرار دارد که پروب روی نمونه، فرستندهٔ پرتو و پروب دیگر، گیرنده صوت است. در صورت وجود نقص شدت صوت دریافت شده کاهش پیدا می‌کند؛ باید توجه داشت که دو پروب دقیقاً باید رو به روی یکدیگر قرار گیرند.

با روش عبوری نمی‌توان تعیین کرد که عیوب در چه عمق و محلی از قطعه قرار دارد و تنها وجود و یا عدم وجود عیوب بررسی می‌شود. از این روش به‌منظور بررسی شمش‌ها و ورق‌های نوردی استفاده می‌شود. از طرف دیگر به دلیل جدایی گیرنده و فرستنده ازنظر الکتریکی تفاوتی در استفاده از پالس‌های صوتی و یا صوت پیوسته وجود ندارد. [۶]

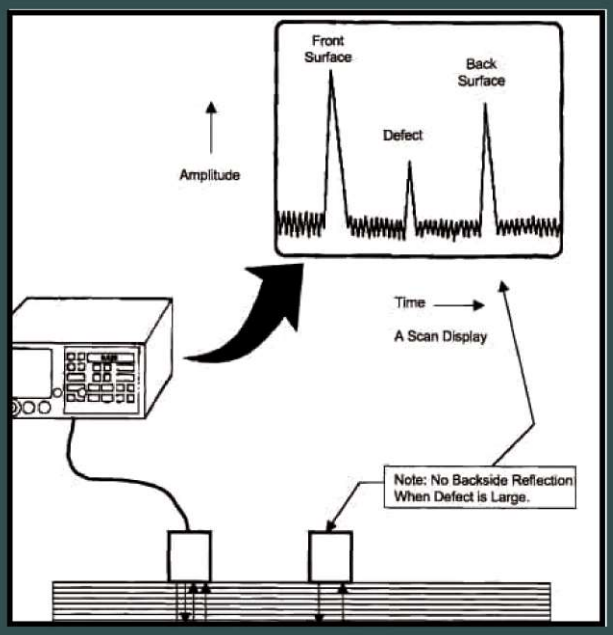


شکل۱- شماتیک طرز کار آزمون التراسونیک عبوری [۶]

[۱۴] Trough Transmission

۲. پالس اکو[۱۵]

از روش پالس اکو معمولاً برای بررسی قطعات پیچیده استفاده می‌شود. در این روش از یک پیزوالکتریک هم به‌عنوان فرستنده و هم به‌عنوان گیرنده استفاده می‌شود.

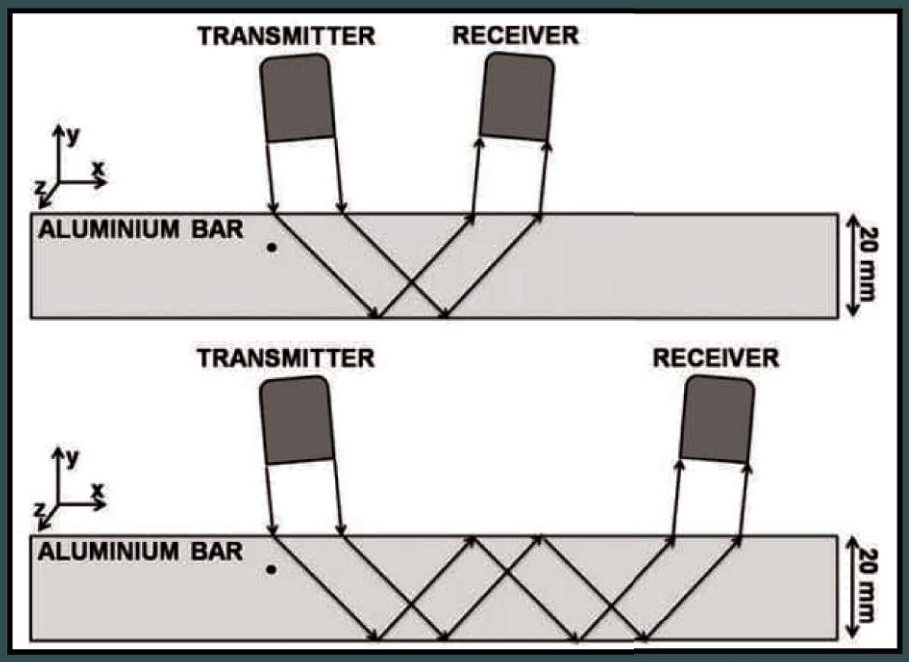


شکل۲- شماتیکی از روش التراسونیک پالس اکو

انرژی امواج دریافت شده به‌مراتب ضعیف‌تر از انرژی امواج فرستاد شده است زیرا بخشی از صوت در برخورد با عیوب بازتاب شده و بخشی دیگر در همان جهت عبور می‌کند. درنتیجه نمی‌توان از صوت پیوسته استفاده کرد و تنها از صوت پالسی استفاده می‌شود. امواجی که از داخل ماده عبور می‌کنند در صورت برخورد به یک عیب کامل یا ناقص منعکس و توسط پروب دریافت و بر روی نمایشگر یک پیک تشکیل می‌شود. در شکل۲ روش پالس اکو به‌طور کامل نشان داده‌شده است. این روش به هر دو صورت تماسی و غیر تماسی انجام می‌شود.

۳. روش عبوری همراه بازتاب[۱۶]

در روش عبوری همراه بازتاب، مانند روش عبوری از دو پروب استفاده می‌شود اما با این تفاوت که هر دو پروب در یک سمت نمونه و با فاصلهٔ معینی از هم قرار می‌گیرند. در شکل ۳ این موضوع به‌طور واضح نشان داده‌شده است.

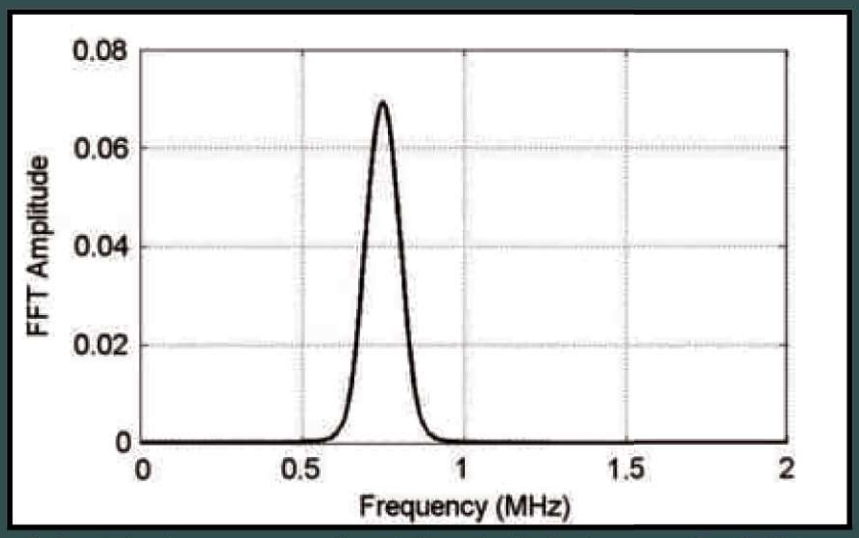


شکل۳- شماتیک روش التراسونیک عبوری همراه بازتاب [۷]

[۱۵]Pulse Echo
[۱۶]Transmission with Reflection

از این روش برای بررسی عیوب عمود بر سطح و یا زاویه‌دار استفاده می‌شود. به این صورت که صوت پس از عبور از نمونه و برخورد با عیوب منعکس شده و توسط پروب دوم دریافت می‌شود و یک پیک مانند شکل ۴ بر روی نمایشگر باقی می‌گذارد [۷].

در روش‌های پالس اکو و عبوری همراه بازتاب می‌توان فاصلهٔ عیوب از سطح و مکان دقیق عیوب را مشخص کرد به همین دلیل از این دو روش در بسیاری از موارد استفاده می‌شود [۴].



شکل۴-پیک روی نمایشگر از طریق التراسونیک عبوری هم‌زمان بازتابی [۷]

کاربردهای آزمون التراسونیک

- بررسی قطعات آهنگری
- بررسی ترک‌ها و امواج سطحی مانند پره‌های توربین
- اندازه‌گیری خودکار ضخامت
- آزمون زنگ‌زدگی
- اتصالات لحیم‌کاری
- تخمین میزان کاهش ضخامت ناشی از خوردگی
- تعیین خواص فیزیکی
- شناخت ریزساختار
- اندازه‌گیری مدول الاستیک

مزایا

- بررسی قطعات با دیواره‌های ضخیم
- بسیار حساس برای بررسی ترک‌های سطحی
- روش چندمنظوره و انعطاف‌پذیر
- عدم محدودیت در جنس برای قطعات
- تشخیص عمق و محل قرارگیری عیوب
- امکان استفاده قطعات با اشکال پیچیده

- قدرت نفوذ بالا
- دقت بسیار زیاد در تعیین شکل عیوب معایب

از مهم‌ترین معایب این روش عبارت‌اند از:

- مشکل در بازرسی قطعات نازک
- باید جهت عیوب مشخص باشد
- نسبتاً گران
- وابستگی زیاد به مهارت
- نیاز به تجهیزات پیشرفته [۵]

[۱] P. Shull, Nondestructive Evaluation-Theory and Applications, M. Dekker ,2002 , p .841.

[۲] L. Cartz, Nondestructive Testing, Materials Park, OH : ASM International ,2010.

[۳] B. R. C. Meola, Nondestructive Testing and Evaluation: Overview, Elsevier , 2016

[٤] A. Ahmad and L. J. Bond, Nondestructive evaluation of materials, Materials Park, Ohio : ASM International, 2018 .

[٥] C. H. Chen, Ultrasonic and Advanced Methods for Nondestructive Testing and Material Characterization, 2007.

[٦] M. T. S. M. K. G. Tamil M. Loganathan, «Sustainable Composites for Aerospace Applications,» in Ultrasonic inspection of natural fiber-reinforced composites, Elsevier,2018 ,pp.227-251.

[٧] K. V. D. A. E. B. J. D. P. L. O. B. M. Steven Delrue, «Two-dimensional simulation of the single-sided air-coupled ultrasonic pitch-catch technique for non-destructive testing ,»vol.50,no.2,p.9, 2010.