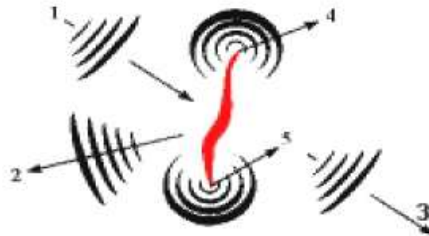


بازرسی با روش (TOFD) Time of flight diffraction

اصول

تکنیک TOFD¹ یکی از روش‌های آزمون غیر مخرب فراصوتی است که برای اولین بار در سال 1977 توسط سیلک (Silk) معرفی گردید. روش TOFD در مقایسه با روش‌های فراصوتی مرسوم، بر اساس پدیده فیزیکی پراش² عمل می‌کند. این روش بر پراش انرژی صوتی از کنج‌ها و لبه‌های (ends) موجود در ساختارهای داخلی (به ویژه عیوب) اجزا مورد آزمون استوار بوده و در اصل برای بهبود دقت اندازه‌گیری عیوبی که قبلاً با روش‌های دیگر شناسایی شده‌اند ابداع گردید.

در روش TOFD از پراش امواج فراصوتی از لبه‌های ناپیوستگی (به جای بازتابش از فصل مشترک آن‌ها) برای اندازه‌گیری دقیق آن استفاده می‌شود. با برخورد امواج فراصوتی به ناپیوستگی‌های خطی مانند ترک، علاوه بر امواج بازتابی معمول، در دو سر آن پراش روی می‌دهد (شکل 1). در اثر پراش امواج استوانه‌ای شکلی از لبه‌های (دو سر) ناپیوستگی منتشر می‌شوند. پراش در تمامی جهات صورت می‌گیرد. بنابراین نیاز به تعیین دقیق محل پروب‌های فرستنده و گیرنده نیست. دقت اندازه‌گیری این روش به ترکیب تکنیک‌های پراش و زمانبندی بستگی دارد. زمان انتقال (حرکت) پالس‌های فراصوتی مستقیماً به ابعاد عیب نسبت داده می‌شود. منشأ پراش‌ها لبه‌های عیوب است. بنابراین فواصل زمانی بین امواج به لبه‌های عیوب و در نتیجه اندازه آن‌ها مربوط می‌شود.



شکل 1: پراش امواج فراصوتی از نوک ناپیوستگی

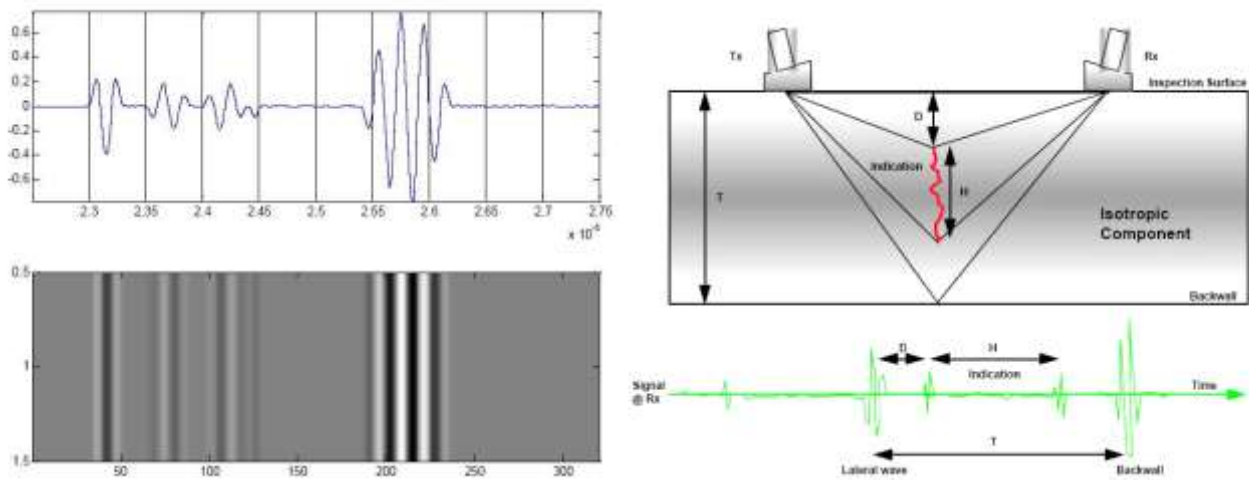
در روش TOFD معمولاً از دو پروب به عنوان فرستنده و گیرنده استفاده می‌شود (شکل 2). اولین سیگنال دریافتی به موج فشاری در حال انتشار در طول خط مستقیم بین پروب‌ها مربوط می‌شود. اگر ناپیوستگی وجود نداشته باشد، دومین سیگنال دریافتی مربوط به پیک سطح پشتی است. در صورت وجود ناپیوستگی دو سیگنال اضافی قبل از سیگنال سطح پشتی دیده می‌شود. این دو سیگنال به امواج مربوط می‌شوند که از دو سر ناپیوستگی پراش یافته‌اند.

امواج تشکیل دهنده تصویر در روش TOFD عبارتند از:

¹ Time of flight diffraction

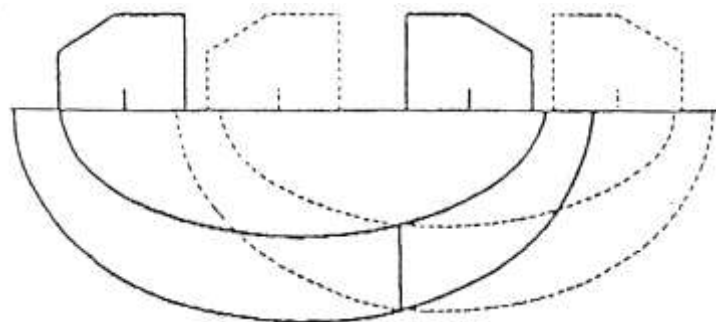
² Diffraction

- امواج طولی که توسط فرستنده تولید شده و هنگام برخورد پرتو به نوک عیب به صورت کروی در می آید.
- موج جانبی روی سطح بین پروبها
- موج طولی بازتابیده شده توسط سطح پشتی
- امواج برشی ایجاد در اثر تبدیل حالت امواج در فصل مشترک ناپیوستگیها



شکل 2: اصول تکنیک TOFD

به طور کلی فرض می کنیم که ناپیوستگی بین دو پروب قرار دارد. پس می توان عمق دو سر ناپیوستگی را با اندازه گیری زمان انتقال امواج فراصوتی محاسبه نمود. در صورتی که نیاز به دقت بیشتر در اندازه گیری ناپیوستگی باشد (مثل نحوه قرار گیری افقی) می توان مکان هندسی محل قرار گیری دو سر ناپیوستگی را به دست آورد (شکل 3). دو بار اندازه گیری با دو وضعیت پروبها، دو سری مکان هندسی می دهد که محل برخورد آنها دو سر ناپیوستگی را مشخص می کند.



شکل 3: اندازه گیری دقیق محل ناپیوستگی با روش TOFD.

مزایا

- بررسی و ارزیابی آنی یکپارچگی جوش، دقت بالا در شناسایی و اندازه گیری عیوب و ذخیره اطلاعات آزمون TOFD به صورت دیجیتالی.
- بالا بودن احتمال شناسایی عیب^۳ (POD)
- دقت بالای اندازه گیری محل و طول عیب
- همزمان با اسکن پروبها و جمع آوری اطلاعات می توان یکپارچگی جوش را روی صفحه نمایش بررسی نمود.
- تمامی اطلاعات و نتایج به صورت دیجیتالی بوده و قابل ذخیره و استفاده مجدد در بازرسی هنگام سرویس است.
- با جایگزینی رادیوگرافی با TOFD، فضای خط تولید بی مورد اشغال نشده (با عملیات رادیوگرافی) و در روند تولید اختلال به وجود نمی آید.
- قابل حمل بودن تجهیزات و سهولت دسترسی به محل آزمون
- TOFD باعث صرفه جویی می شود (اگر هنگام ساخت قطعات استفاده شود)، زیرا می توان عیوب قبل از سرویس و هنگام سرویس را مجزا نمود.
- با استفاده از سیستم خودکار و به کمک کامپیوتر و نرم افزارهای پیشرفته، می توان سیگنالها را به سرعت ارزیابی نمود.
- برای بازرسی مخازن با دیواره ضخیم مناسب تر است زیرا رادیوگرافی آنها به زمان زیادی نیاز دارد.
- هزینه آزمون و بازرسی به ضخامت قطعه بستگی ندارد. بنابراین در مقایسه با رادیوگرافی ارزانتر می شود.

محدودیتها

- روش TOFD برای شناسایی یا اندازه گیری ناپیوستگی های نزدیک به سطح بالایی (منطقه مرده که اندازه تقریب آن 3-4 mm است) مناسب نیست. به دلیل وجود پیک سطح پشتی قوی، ناپیوستگی های موجود در فاصله 2 mm از سطح پشتی نیز به سختی شناسایی می شوند.
- اندازه مناطق مرده را می توان با استفاده از پروب با تواتر بالا مثلا 20 MHz به حداقل رساند. در عوض این کار به سرعت سیگنال دهی^۴ بالایی نیاز دارد. برخی از تجهیزات (مثل R/D Tech) امکان ترکیب همزمان TOFD و روش پالس-پژواک را فراهم می کند. بنابراین مناطق مرده پوشش داده می شود. برخی از تجهیزات مانند Sonomatic Microplus of AEA Technology منطقه مرده را تا 2mm کاهش داده اند.

³ - Probability of Flaw Detection

⁴ - Signal sampling



- اندازه گیری عمق با روش TOFD ساده و دقیق است ($\pm 1/5\text{mm}$ برای هر سر ناپیوستگی) ولی تصمیم گیری در خصوص نوع ناپیوستگی که باعث به وجود آمدن نشانه شده مشکل تر است. هنگامی که روش TOFD برای اندازه گیری ناپیوستگی استفاده می شود، معمولاً نوع ناپیوستگی با روش شناسایی انتخابی تعیین می شود.
- نیاز به حساسیت (gain) خیلی بالا در تکنیک TOFD، پژواک سطح پشتی بزرگی ایجاد کرده و برای مواد دانه درشت مناسب نیست.
- تکنیک TOFD در شناسایی و اندازه گیری عیوب موازی سطح بازرسی موثر نیست.
- قیمت اولیه تجهیزات TOFD در مقایسه با روش های قدیمی نسبتاً بالا است.
- نیاز به کاربر ماهر و با تجربه دارد.
- باید به دو سمت جوش دسترسی داشته باشیم

کاربردها

- شناسایی، مستندسازی و ارزیابی عیوب در طول فرایند ساخت
- پایش هنگام سرویس قطعات و تجهیزات حساس
- روش TOFD آزمون UT کامپیوتری و خودکار پیشرفته ای است که برای بازرسی هنگام سرویس جوش کاری های مخازن تحت فشار مورد استفاده قرار می گیرد. سیستم TOFD قادر به اسکن، ذخیره و ارزیابی نشانه های عیوب بر حسب ارتفاع، طول و موقعیت است که این کار را با دقت بالا انجام می دهد و برای ضخامت جوش 1 تا 16 اینچ مناسب است.

استانداردها

- ASME استفاده از TOFD را به جای RT برای آزمون جوش ها با ضخامت بیشتر از 4 اینچ تایید نموده است. بلوک های کالیبراسیون مطابق با ASME Code Case 2235 تهیه می گردد. آزمون مطابق با ASME Sec.V Article 4 و با استفاده از دستورالعمل کتبی انجام می شود.

ENV 583-6 -

BSi: CEN/TS 14751 -

تجهيزات

- سیستم TOFD شامل شناسایی کننده UT (کامپیوتر)، پروب‌های فرستنده و گیرنده، تقویت کننده، رمزگذار (encoder) و کابل است (شکل 4). این سیستم کوچک، سبک، قابل حمل و قابل استفاده در محل بازرسی است.

عوامل موثر در کاربرد تکنیک TOFD عبارتند از:

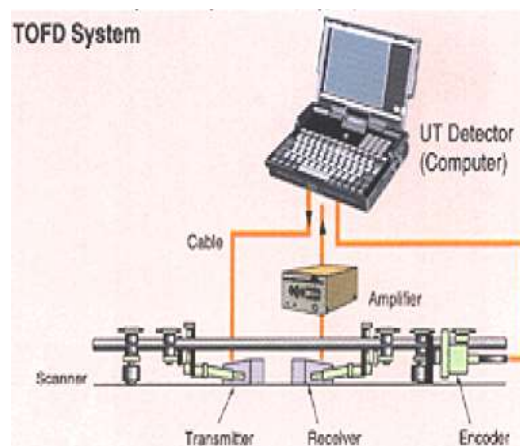
- فاصله بین پروب‌ها⁵ (PCS)

- منطقه مرده برای هر محدوده ضخامتی باید مشخص شده و تایید گردد.

- اندیس، تواتر و زاویه پروب

- قطر کریستال

- بلوک آزمون



شکل 4: سیستم TOFD

دقت:

دقت تکنیک با بهبود دقت زمانبندی افزایش می‌یابد. این امر برای عیوب نزدیک سطح با نزدیکتر کردن پروب‌ها ممکن می‌گردد. دقت در زمانبندی به تجهیزات و تواتر مورد استفاده بستگی دارد.

قدرت تفکیک تکنیک با همپوشانی پالس تعیین شده و با نزدیکتر کردن پروب‌ها به همدیگر و استفاده از پالس فراصوتی فشرده‌تر بهبود می‌یابد. پروب‌های با پهنای باند و تواتر بالا برای این منظور مناسبند. قدرت تفکیک با افزایش تواتر افزایش می‌یابد. با نزدیک کردن پروب‌ها به همدیگر قدرت تفکیک افزایش می‌یابد ولی دقت کم می‌شود.

دقت روش TOFD به هندسه قطعه، محل قرار گرفتن پروب و محل عیب بستگی دارد. دقت بین 1 تا 2 درصد ضخامت قطعه قابل دستیابی است.

⁵ - Probe center spacing

سطح حساسیت:

اگر حساسیت دستگاه در مقادیر خیلی کم تنظیم گردد، تصویر TOFD پژواک‌های پراش یافته را نمایش نمی‌دهد. اگر حساسیت دستگاه به مقدار کمی بالاتر از حد نویز الکتریکی تنظیم گردد، تصویر TOFD پژواک‌های پراش یافته زیادی را نشان می‌دهد که در اثر ناهمگنی‌های بسیار کوچک درز جوش ایجاد شده است و نشان‌دهنده معیوب بودن جوش نیستند. بنابراین در روش TOFD باید سطح حساسیت تعریف گردد.

روش اجرا

پروب‌های فرستنده و گیرنده در دو طرف عیب و در یک سطح از قطعه قرار داده می‌شوند. اگر عیب به سطح جلویی یا پشتی قطعه راه داشته باشد، سیگنال سطح جلویی و پشتی تحت تاثیر قرار می‌گیرد. اگر این عیب کوچک باشد، تاثیر آن بر سیگنال سطح پشتی کمتر است.

معمولا در تکنیک TOFD از دو پروب به عنوان فرستنده و گیرنده استفاده می‌شود. پروب‌ها معمولا مستقیم هستند که با زاویه تابش 45° تا 70° استفاده می‌شوند. سیگنال‌های پراش یافته توسط پروب گیرنده دریافت شده و توسط سیستم فراصوتی دستگاه ارزیابی می‌شوند. اختلاف در زمان پرواز جبهه امواج پراش یافته، ارتباط فضایی دو سر عیب و در نتیجه اندازه آن را مشخص می‌کند. روش TOFD فقط پژواک‌های پراش یافته را ارزیابی می‌کند که 20dB کمتر از پژواک‌های بازتابی است.

با روش‌های تصویر برداری سیاه و سفید، یکپارچگی جوش به طور لحظه‌ای ارزیابی می‌شود. عیوب به شکل طرح‌های لایه ماندی روی صفحه مشخص می‌شود. سیگنال‌های اسکن A نیز همراه با موقعیت سیگنال‌ها در حافظه دستگاه ذخیره می‌شود.

عمل اسکن با قرار دادن پروب‌ها در دو طرف محور جوش (با فواصل مساوی) انجام می‌شود. به تصویر حاصل اسکن D می‌گویند. اسکن با حرکت پروب به موازات محور جوش انجام می‌شود. پس از شناسایی عیب، برای ارزیابی بهتر، اسکن در جهت عمود نیز انجام می‌شود. با زمان پرواز هر مسیر پرواز، سرعت فراصوتی و رابطه فضایی دو پروب، موقعیت و ارتفاع عیوب با دقت بالا قابل محاسبه است.