

## تست های غیر مخرب

| فصل اول : کلیات (وظایف و انواع) |                  |  |
|---------------------------------|------------------|--|
| ردیف                            | عنوان            |  |
| 1-1                             | مقدمه            |  |
| 2-1                             | آسیب های درز جوش |  |
| 1-2-1                           | انواع ترک ها     |  |
| 2-2-1                           | ارزیابی ترک ها   |  |
| 3-2-1                           | حفره ها          |  |
| فصل دوم : بازرسی چشمی           |                  |  |

| فصل سوم : بازرسی با مواد نافذ |                                  |  |
|-------------------------------|----------------------------------|--|
| ردیف                          | عنوان                            |  |
|                               |                                  |  |
| 1-3                           | مراحل بازرسی                     |  |
| 2-3                           | مواد بازرسی                      |  |
| 3-3                           | قواعد آزمایش                     |  |
| 4-3                           | معایب ومحاسن و نمونه های کاربردی |  |

| فصل چهارم : بازرسی با ذرات مغناطیسی |                                      |  |
|-------------------------------------|--------------------------------------|--|
| 1-4                                 | مقدمه                                |  |
| 2-4                                 | اصول                                 |  |
| 3-4                                 | روش های مغناطیسی سازی                |  |
| 1-3-4                               | تولید طیف مغناطیسی توسط جریان        |  |
| 2-3-4                               | تولید طیف مغناطیسی توسط بوبین        |  |
| 3-3-4                               | تولید طیف مغناطیسی توسط یوغ          |  |
| 4-3-4                               | انواع جریان ها و خصوصیات آنها        |  |
| 5-3-4                               | انواع ذرات مغناطیسی                  |  |
| 6-3-4                               | امتیازات معایب و نمونه های کاربردی   |  |
| 4-4                                 | بازرسی مغناطیسی به کمک ردگیری حسگرها |  |
| 1-4-4                               | مقدمه                                |  |
| 2-4-4                               | انواع حسگرها                         |  |
| 3-4-4                               | مدرج نمودن                           |  |

| فصل هفتم : بازرسی با امواج ماورا صوت |                                               |  |
|--------------------------------------|-----------------------------------------------|--|
| 1-7                                  | مقدمه                                         |  |
| 2-7                                  | بررسی خصوصیات انتشار امواج                    |  |
| 1-2-7                                | انواع امواج                                   |  |
| 2-2-7                                | بررسی رفتار امواج صوتی در سطوح مرزی مواد جامد |  |
| 3-7                                  | روش های بازرسی                                |  |
| 1-3-7                                | روش عبور صوت                                  |  |
| 2-3-7                                | روش پالس - اکو                                |  |
| 3-3-7                                | حسگرهای بازرسی                                |  |
| 4-3-7                                | مواد واسط                                     |  |
| 5-3-7                                | مدرج کردن و ارزیابی                           |  |
| 6-3-7                                | امتیازات، معایب و نمونه های کاربردی           |  |

| فصل ششم : بازرسی تشعشعی |                                                   |  |
|-------------------------|---------------------------------------------------|--|
| 1-6                     | مقدمه                                             |  |
| 2-6                     | بازرسی با اشعه X(اشعه رونگتن )                    |  |
| 1-2-6                   | تولید اشعه X                                      |  |
| 2-2-6                   | شناسایی آسیب ها به کمک اشعه X                     |  |
| 3-2-6                   | روش های مختلف بازرسی با اشعه X                    |  |
| 4-2-6                   | دستگاه های اشعه X                                 |  |
|                         | - دستگاه های جریان متناوب                         |  |
|                         | - دستگاه های جریان مستقیم                         |  |
|                         | - ظاهر سازها                                      |  |
|                         | - گیرنده های رادیو گرافی                          |  |
|                         | - گیرنده های رادیوسکوپی                           |  |
|                         | - صفحات تصویر                                     |  |
|                         | - صفحات تصویر با دوربین تلویزیون                  |  |
|                         | - تقویت کننده های تصویر اشعه با دوربین تلویزیون   |  |
|                         | - گیرنده های رادیومتری                            |  |
|                         | - دوربین تلویزیون با لامپ الکترونی حساس به اشعه X |  |
| 5-2-6                   | روش های اشعه دهی                                  |  |
| 6-2-6                   | نمونه یافته های اشعه X در درزجوش ها               |  |
| 7-2-6                   | امتیازات، معایب و نمونه های کاربردی               |  |
| 3-6                     | بازرسی درشت شبکه ها به کمک ایزوتوپ ها             |  |
| 1-3-6                   | اشعه گاما و خصوصیات آن                            |  |
|                         | - تابنده های گامای طبیعی                          |  |
|                         | - تابنده های گامای مصنوعی                         |  |
| 2-3-6                   | دستگاه های گاما رادیو گرافی                       |  |
| 3-3-6                   | آشکارسازی تشعشع گاما                              |  |
| 4-3-6                   | کاربرد تشعشع گاما برای بازرسی                     |  |

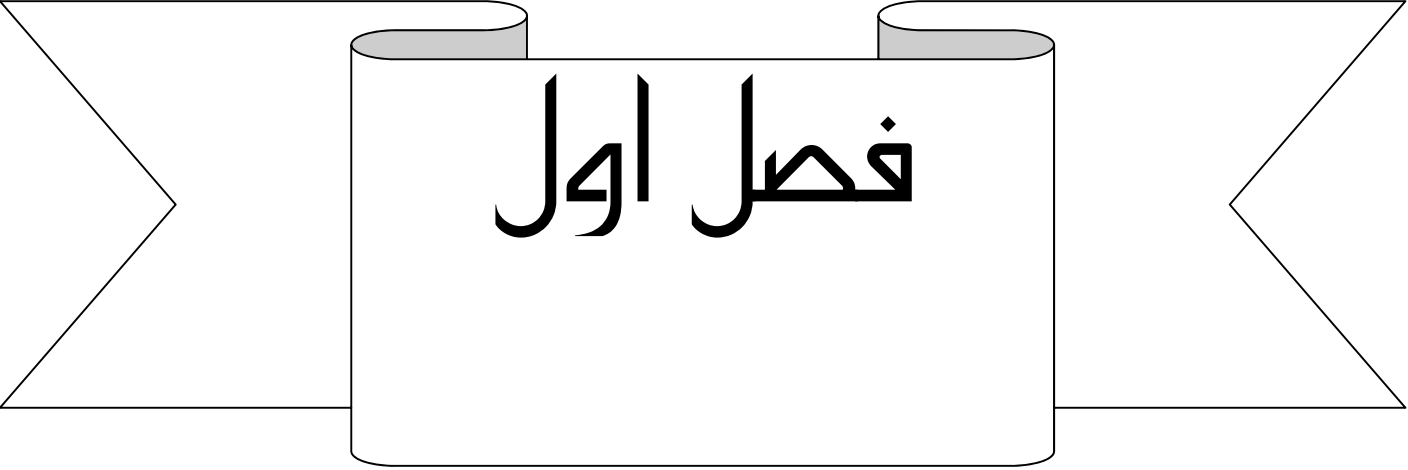
| فصل پنجم : بازرسی با جریان گردابی (eddy current) |                                     |  |
|--------------------------------------------------|-------------------------------------|--|
| ردیف                                             | عنوان                               |  |
| 1-5                                              | اصول بازرسی با جریان گردابی         |  |
| 2-5                                              | خصوصیات واستقرار بوبین ها           |  |
| 3-5                                              | کمیت های موثر                       |  |
| 4-5                                              | مدرج کردن                           |  |
| 5-5                                              | امتیازات، معایب و نمونه های کاربردی |  |

| فصل هشتم : بازرسی به کمک انتشار صوت |                                     |  |
|-------------------------------------|-------------------------------------|--|
| ردیف                                | عنوان                               |  |
| 1-8                                 | مقدمه                               |  |
| 2-8                                 | اصول فیزیکی                         |  |
| 3-8                                 | گیرنده صدا                          |  |
| 4-8                                 | آزمایش انتشار صوت                   |  |
| 5-8                                 | کاربرد در صنعت جوشکاری              |  |
| 6-8                                 | امتیازات، معایب و نمونه های کاربردی |  |

| فصل نهم : بازرسی به کمک ترموگرافی |             |  |
|-----------------------------------|-------------|--|
| ردیف                              | عنوان       |  |
| 1-9                               | مقدمه       |  |
| 2-9                               | اصول بازرسی |  |
| 3-9                               | نتایج       |  |

تست های غیر

مخرب



# فصل اول

کلیات (وظایف و انواع آن)

## 1-1: مقدمه

منظور از تست های غیر مخرب استفاده از روش های فیزیکی برای شناسایی خصوصیات مواد یا آسیب های آن ها است که بدون ایجاد ضایعات مکانیکی در قطعه انجام میگیرد.

هنگام ساخت قطعه نیمه ساخته یا قطعات کامل و غیره نمیتوان از ایجاد مواضع آسیب در آن به طور کامل جلوگیری نمود. آسیب های دیگر نیز ممکن است در طول کار یک قطعه به وجود آیند برای شناسایی این گونه آسیب ها از روش های تست های غیر مخرب استفاده می کنند.

چون تست های غیر مخرب اظهار نظر در مورد موقعیت و گستردگی یک آسیب را نیز امکان پذیر می نمایند یک ارزیابی به طور مثال به کمک ابزارهای مکانیک شکست قابلیت ادامه استفاده از یک قطعه را نیز ممکن می نماید. علاوه بر این می توان به کمک تست های غیر مخرب از قطعاتی که تحت بارگذاری بسیار بالایی قرار دارند یا از قطعات آسیب پذیر در طول کار نیز مراقبت نمود.

انواع تست های غیر مخرب زیاد هستند هر روش تست دارای ویژگی های محدوده کاربردی خاص خود را دارد که گاهی با هم تداخل دارند. یک روش به کار رفته بایستی به این جهت بر جنس قطعه نمونه و بر نوع آسیب مورد انتظار تطبیق داشته باشد. اغلب کاربرد ترکیب چند روش نیز مفید بوده است. همانند هر نوع روش آزمایش دیگر روش های تست غیرمخرب نیز مرزهای خود را دارند. این مرزها چنان کشیده شده اند که با کاربرد روش ها اغلب یک تصویر واقعی از آسیب ایجاد نمی شود. این واقعیت باعث می شود که در بعضی موارد به خاطر طراحی نامتناسب با آزمایش قطعه آسیب با وجود کاربرد چندین روش تست غیرمخرب باز هم شناسایی نشود. با این وجود اغلب به خاطر کاربرد ساده و اقتصادی بودن روش های تست غیرمخرب متداول از جمله ابزارهای مهم تست مواد به حساب می آیند.

اهمیت تست های غیر مخرب را از آنجا می توان دید که امروزه کاربرد آن ها در چهار چوب قواعد فنی و بعضی از قوانین تدوین شده برای ساخت مخازن ساده و مخازن تحت فشار، ساخت تاسیسات شیمیایی و

ساخت لوله های تحت فشار و ساخت ساختمان های بلند و صنعت پل سازی و همین طور برای صنایع خودروسازی و غیره اجباری شده اند.

در جدول (1-1) انواع آسیب ها و انواع روش های تست های غیر مخرب معرفی شده اند.

در جدول (2-1) موضوعات بازرسی های آسیب ها نشان داده شده اند و در نهایت در جدول (3-1) معیارهای انتخاب روش ها مشاهده می شوند.

جدول (1-1): انواع متداولترین آسیب های مواد و روش های تست غیر مخرب مناسب برای شناسایی آن ها

| انواع آسیبها به عنوان موضوع تست مواد                                                         |                                                                                                               |                                                                                              |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|
| آسیب های داخلی                                                                               | آسیب های سطحی                                                                                                 | آسیب های ساختاری                                                                             |
| حفره های ریختگری<br>ناهم جنس بودن محبوس شده<br>سوراخ های موین<br>ترک های داخلی<br>سستی موضعی | ترک های سطحی<br>سوراخ های باز<br>حفره های نزدیک به سطح                                                        | تعویض ماده<br>تغییر خصوصیات سختی<br>عمق سختی<br>مقاومت<br>آسیب های شبکه ای<br>سوختگی سنگ زنی |
| فن آوری های تست غیر مخرب                                                                     |                                                                                                               |                                                                                              |
| روش تشعشع (اشعه X)<br>روش ماوراء صوت (UT)<br>(Spec .Ultrasonic test)                         | تست جریان گردابی<br>تست ذرات مغناطیسی (MT)<br>(Magnetic Particle Test)<br>تست فاقد (PT)<br>(Penetration Test) | تست های مغناطیسی القایی<br>روش های ویژه ماوراء صوت (UT)<br>(Spec Ultrasonic test)            |

| معیارهای انتخاب:             | تست جریان گردابی:                                                                                                                                                                                                                        | تست ذرات مغناطیسی                                                                                                                                                                                                                       | تست نفوذ: |
|------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| موضوع تست:                   | توضیح:                                                                                                                                                                                                                                   | دلایل کاربرد:                                                                                                                                                                                                                           |           |
| ترک های سطحی                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• ترک های باز به طرف سطح</li> <li>• اغلب ترک های بعد از عملیات حرارتی و گاهی بعد از عملیات پرداخت مانند سنگ زنی</li> </ul>                                                                        | <ul style="list-style-type: none"> <li>• قطعات با اهمیت از نظر ایمنی (مثل قطعات سیستم فرمان و قطعات اکسل خودرو)</li> <li>• تمایل زیاد به ایجاد خسارات بعدی و از دست دادن پرستیژ تولیدی هنگام خسارت (مثل میله بادامک ، سوپاپ)</li> </ul> |           |
| سوراخ های موئین باز          | <ul style="list-style-type: none"> <li>• حباب های گاز باز شده بعد از ماشینکاری</li> </ul>                                                                                                                                                | <ul style="list-style-type: none"> <li>• سطوح عملکردی نشت بندها ( مثل سوراخ سوپاپ های هیدرولیکی)</li> </ul>                                                                                                                             |           |
| سوراخ های موئین نزدیک به سطح | <ul style="list-style-type: none"> <li>• محبوس شده های مواد خارجی یا گاز مستقیم زیر سطح در محدوده ی کمتر از 0.1 mm</li> <li>• به ویژه در قطعات ریختگری شده (مثل بوش های یاتاقانی استوانه ای شکل در روش ریختگری گریز از مرکز )</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• جلوگیری از بازسازی (بطور مثال در سطوح حرکتی سیلندر – پوسته میل لنگ قبل از ماشینکاری)</li> </ul>                                                                                                |           |
|                              |                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                         |           |

جدول (1-2): موضوعات تست های غیر مخرب

|                             |                                                                                   |                                                |                                                  |
|-----------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|--------------------------------------------------|
| ماده :                      | هادی الکتریکی<br>هادی مغناطیسی                                                    | هادی مغناطیسی                                  | - فلزات<br>- غیر فلزات                           |
| هندسه نمونه:                | - تقارن دورانی سطوح داخلی و خارجی<br>- سطوح خارجی استوانه ای<br>شکل<br>- سطوح صاف | - هم چنین هندسه های پیچیده                     | - هم چنین هندسه های پیچیده                       |
| ظاهرسازی آسیب:              | - بالا                                                                            | - بسیار بالا                                   | - بسیار بالا                                     |
| درجه اتوماسیون ارزیابی:     | - همیشه بطور خودکار                                                               | - اغلب بطور دستی<br>- اتوماسیون تصویرسازی ممکن | - اغلب به طور دستی<br>- اتوماسیون تصویرسازی ممکن |
| قابلیت مستندسازی نتایج تست: | - همیشه ممکن                                                                      | - مشروط ممکن ، تنها برای ارزیابی با تصویرسازی  | - مشروط ممکن ، فقط برای ارزیابی با تصویرسازی     |
| مواد مصرفی :                | • بدون                                                                            | - ذرات مغناطیسی<br>- مواد تمیزکننده            | - مواد نافذ<br>- ظاهرسازها<br>- مواد تمیزکننده   |

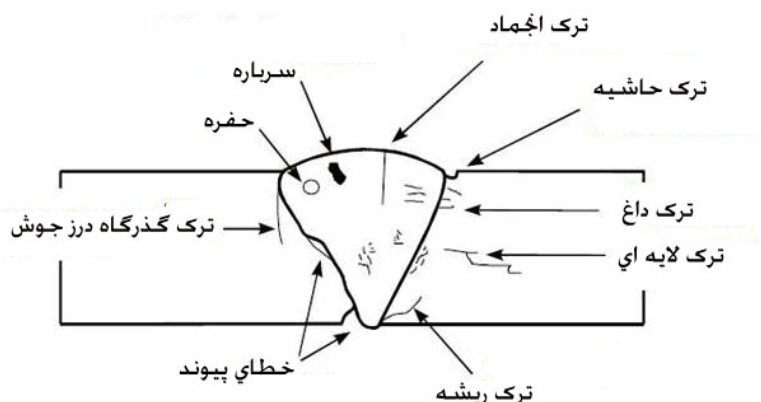
جدول (1-3):مهیاری انتخاب رو شهای تست غیر مخرب

در اغلب صنایع نام برده روش تولید حاکم جوشکاری است. هنگام محاسبات مقاومت قطعات جوشکاری شده معمولاً تصور بر این است که با پیش فرض استفاده از اضافه مواد یکسان برای جوشکاری، درز جوش ها دارای مقاومت یکسانی مشابه ماده مبنا هستند. این تصور اما در هر صورت وقتی صحیح است که در کنار خصوصیات ماده یکسان از نظر خصوصیات مقاومت و تغییر شکل نیز خطایی وجود نداشته باشد اما درز جوش ها به عنوان اتصالات ایجاد شده در یک روند متالورژیکی تقریباً همیشه در عمل همراه با خطا هستند ، به طوری که در محاسبات ضرایب کاهنده ی مقاومت به کار می برند. این ضرایب کاهنده تابع شکل درز ، ساختار درز، طرز ایجاد و تابع عملیات اتصالات جوش بوده و به ویژه تابع زحمت بازرسی آن ها تعیین می شود.

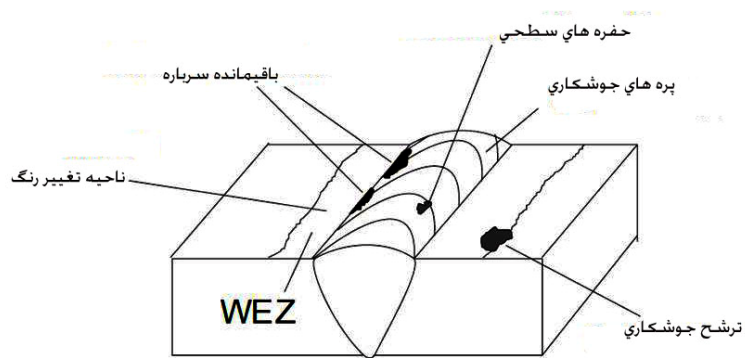
بازرسی ممکن است بطور مثال به صورت آزمایش های کشش ، خمش و ضربه نیز انجام گیرد که این روش ها طبیعتاً همراه با تخریب قطعات هستند. به این جهت روش های مختلف آزمایش های غیرمخرب نیز توسعه یافته اند که با بکار گرفتن پدیده ها و کمیت های مختلف فیزیکی و بدون این که اتصال ماده از بین برود شناسائی آسیب ها را در قطعات ممکن می نمایند. بررسی روش های غیرمخرب موضوع این درس است . بدلیل اهمیت آسیب های جوشکاری ابتدا به معرفی اجمالی آسیب های درز جوش ها می پردازیم.

## 1-2 آسیب های درز جوش ها

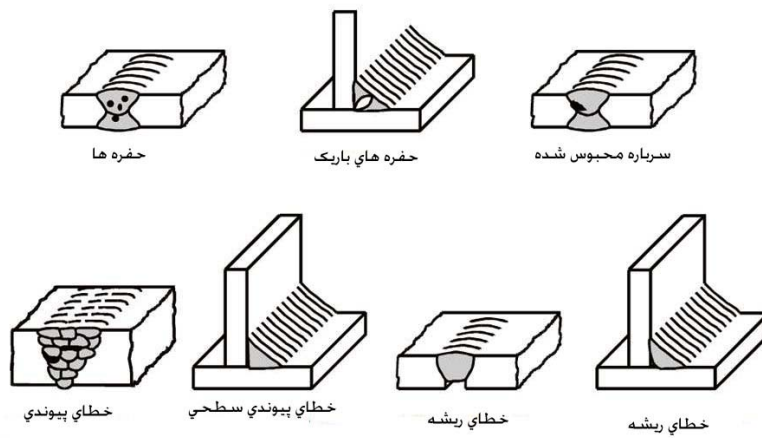
درز جوش ها تابع روش تولید عموماً کم و بیش همراه با آسیب هایی هستند که در استاندارد آلمانی DIN 8524t1 جمع آوری شده اند. این آسیب ها نسبت به موقعیتشان به آسیب های خارجی و داخلی و همین طور تابع ابعاد، شکل و نوعشان از هم متمایز شده اند .



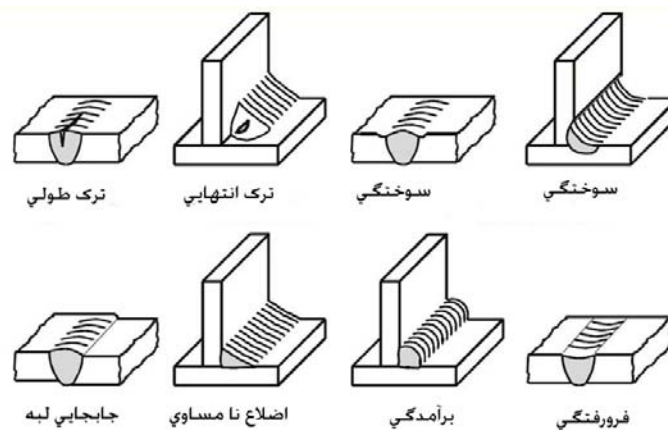
شکل (1-2 الف): آسیب های داخلی از جوش



شکل (3-1 ب): آسیب های سطحی درز جوش



شکل (الف): انواع آسیب های جوشکاری نوع 1



شکل (2-1 ب): انواع آسیب های جوشکاری نوع

آسیب های خارجی را اغلب می توان با ابزارهای ساده اپتیکی یعنی به کمک روش های زیر شناسایی نمود :

1- چشمی

2- با یک ذره بین تا نسبت 10.1

3- با روش پودر مغناطیسی

4- روش نفوذ

میکرو آسیب ها و آسیب های داخلی تنها با روش ها و ابزارهای خاص قابل کشف هستند، از قبیل :

5- روش اشعه X

6- روش ماوراء صوت

7- روش نشتی

8- روش انعکاس صوت

## 1-2-1: ترک ها

ترک ها بخاطر تاثیر شدیدشان بر ایجاد تمرکز تنش خطرناک ترین نوع آسیب ها هستند . بین به اصطلاح ترک های سرد و ترک های گرم تفاوت قائل شده اند:

- ترک های سرد : این گونه ترک ها اغلب ترک های سخت کاری هستند و بخاطر قابلیت تغییر شکل کم تر در اثر تغییرات شبکه های حرارتی ( مارتنزیت ، لدبوریت و ..... ) یا در اثر **ترد** کنندگی ترکیباتی مانند  $N_2$  ،  $S$  ،  $P$  ، و به ویژه  $H$  به وجود می آیند.
- ترک های گرم : این نوع ترک ها به عنوان ترک های طولی در مواد فریتی و به عنوان ترک های داخلی در مواد آوستنیتی ایجاد می شوند. ترک های گرم به عنوان ترک های انجماد در ماده جوش در اثر **تنش های** کششی هنگام انجماد یا در اثر ترک های ذوب مجدد در مناطق **تاثیرگذار حرارتی** در اثر فازهای ذوب پایین و اغلب در فاز اویکتیکی در مرز دانه ها ایجاد می شوند. ترک ها در اثر طراحی های نامناسب نیز ایجاد می شوند ، یعنی در اثر :

- مقاطع تیز و گذرگاه های صلب

- در محدوده هائی که مانع انبساط می شوند

- در اثر انتخاب غلط ماده ( ماده طراحی یا **اضافه جوش** )

همین طور در اثر آسیب های تولیدی فرآیندی نیز ایجاد می شوند ، مانند :

- ترتیب غلط جوش ها

- شرایط نامناسب محکم کردن قطعه

- هدایت غلط گرما

### ---: ارزیابی ترک ها

برای ارزیابی ترک ها بایستی به سوالات زیر پاسخ داده شود:

\_\_\_ آیا ترک غیر مهم است؟

\_\_\_ آیا ممکن است ترک در حین کار قطعه رشد کند؟

\_\_\_ آیا سرعت رشد ترک آن قدر زیاد است که در حین کار انتظار یک شکست قطعه می رود؟

در این ارتباط شناخت های زیر نیز ضرورت دارند:

\_\_\_ ابعاد، شکل و موقعیت ترک

\_\_\_ بارگذاری قطعه به انضمام تنش های طبیعی

\_\_\_ خصوصیات ماده

\_\_\_ تاریخچه تولید و عملکرد قطعه

### ---: حفره ها

حفره ها در اثر توسعه گاز در ماده جوش مایع ایجاد می شوند و وقتی که بطور تکی ایجاد شوند بدون خطرند.

ضوابط ارزیابی آن ها عبارتند از :

\_\_\_ بزرگی و ابعاد

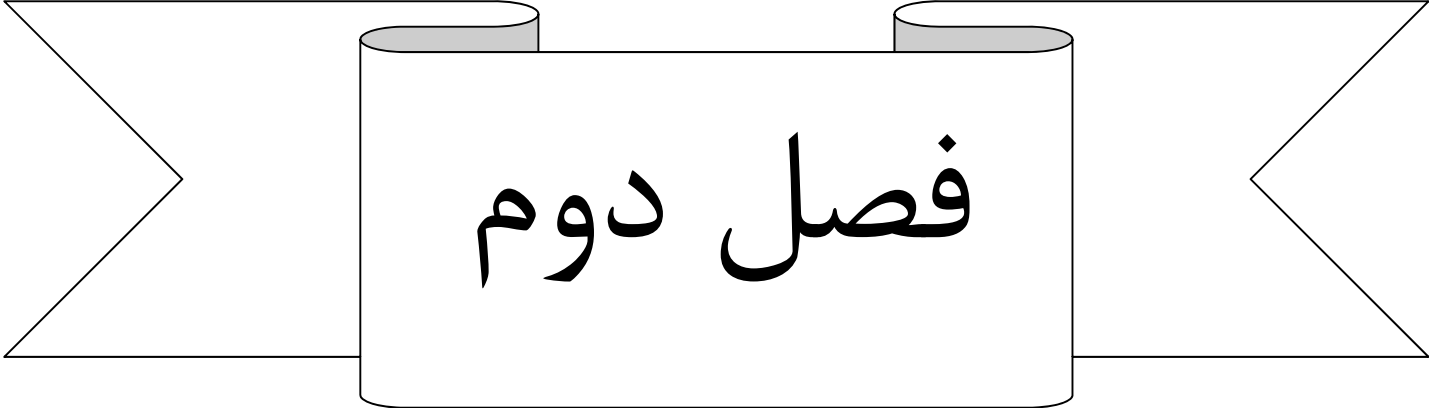
\_\_\_ تعداد

\_\_\_ فاصله آن ها از هم

موارد زیر غیرمجازند :

\_\_\_ شبکه حفرها بطور مثال در گودی های انتهایی و همین طور

\_\_\_ حفره های لوله ای



## فصل دوم

# بازرسی چشمی

بازرسی چشمی یک نوع بازرسی نوری یا چشمی یک محصول یا یک قطعه کار است که به عنوان یک مرحله تولیدی رسمی در انتهای مراحل تولید یا در پایان یک بخش از تولید قسمتی از محصول و به منظور شناسایی آسیب و تضمین کیفیت بکار می رود.

علاوه بر این برای مراقبت چشمی قطعه کار در حین عملکرد آن نیز مورد استفاده قرار می گیرد. بازرسی چشمی به عنوان یک روش غیر مخرب در استاندارد DIN EN 13018 (اصول کلی بازرسی چشمی) استاندارد شده است. در این استاندارد تفاوت های زیر تعریف شده اند :

1- بازرسی مستقیم چشمی بدون ابزارهای کمکی ( یعنی مشاهده سطح قطعه نمونه تنها با چشم )

2- بازرسی مستقیم چشمی با ابزارهای کمکی ( ابزارهای نوری از قبیل عدسی، آندسکپ و آینه یا انواع رنگ های نوری ، نور جهت دار یا نفوذ کننده )

3- بازرسی غیرمستقیم چشمی (با دوربین، ویدئوسکپ و غیره)

تفاوت بین بازرسی مستقیم و غیرمستقیم نیز در استاندارد نام برده چنین تعریف شده است :

بازرسی مستقیم چشمی: با بازرسی چشمی بدون قطع کردن مسیر اشعه بین سطح نمونه و چشم

بازرسی غیر مستقیم چشمی: با بازرسی چشمی با قطع شدن مسیر اشعه بین سطح نمونه و چشم ، یعنی اشعه نور به یک نوع دیگر انرژی بطور مثال یک زیگنال الکتریکی (دوربین) تبدیل می شود.

یک نوع بازرسی چشمی ویژه و خاص "بازرسی نوری اتوماتیک" است که در آن به کمک رایانه از هر قطعه عکس برداری انجام گرفته و با مخزن تصاویر موجود در رایانه مقایسه می شود. به این صورت می توان یک گروه ساختمانی را بسیار سریع از نظر وجود یا عدم وجود آسیب ، یا اینکه از نظر صحیح بودن یا غلط بودن تقارن قطعات کنترل نمود. همین طور این روش را می توان برای بازرسی چشمی مواضع لحیم کاری شده یک گروه ساختمانی بکار گرفت چون بازرسی چشمی معمولا به عنوان عملکرد انسان ها انجام می گیرد در مقایسه با بازرسی اتوماتیک از راندمان بدتری برخوردار است. دلایل آن عبارتند از :

- نوسانات تمرکز
- فشار کار
- خستگی
- تاثیرات محیط و غیره

به این جهت همیشه امکان کشف آسیب وجود ندارد و بر حسب پیچیدگی نمونه و شرایط امکان خطا بین 5% تا 30% قرار دارد و حتی چندین بازرسی یکسان هم که بدنبال هم انجام گیرد . تنها باعث بهینه نسبی کار می شود.

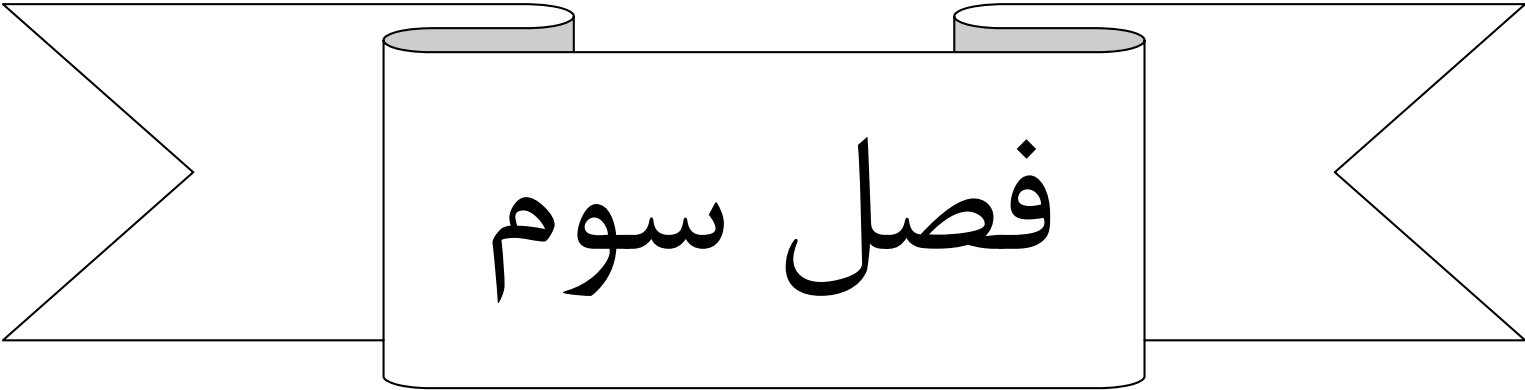
آسیب های نوعی که می توان توسط بازرسی چشمی کشف کرد عبارتند از:

- آسیب های مکانیکی ( خراش ، تغییر شکل و ...)
- ناهم جنسی ها و آلودگی ها
- اتصالات و مونتاژهای ناقص یا معیوب
- تشکیل پلیسه ، ترک در انتهای گودی ها ، آثار بجا مانده از سوختگی ها
- تغییرات رنگ ( مانند رنگ های عملیات حرارتی در فولادهای اوستنیتی)
- زبری های سطح
- سوختگی ها و زنگ زدگی های محلی

در جدول (1-2) امتیازات و معایب و نمونه های کاربردی جمع بندی شده اند :

| امتیازات :                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | معایب :                                                                                                                                                                                                                                                |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• روش ساده</li> <li>• سریع ، ارزان قیمت</li> <li>• همه جا قابل کاربرد</li> <li>• توسعه امکانات به کمک ابزارهای کمکی مانند ذره بین ، آینه ( دوربین تست) و (Borroskop)</li> </ul>                                                                                                                                               | <ul style="list-style-type: none"> <li>• محدوده بازرسی بایستی در دسترس باشد</li> <li>• سطح بایستی تمیز باشد</li> <li>• آسیب بایستی در سطح مشخص شده باشد</li> <li>• عمق ترک قابل شناسایی نیست</li> <li>• کاربرد محدود به ابعاد Borroskop است</li> </ul> |
| <p>نمونه های کاربردی :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• تولید صفحات هادی الکترونیکی</li> <li>• تولید گروه های ساختمانی مکانیکی و الکترونیکی</li> <li>• کیفیت سطح محصولات مکانیکی</li> <li>• کاربرد مجدد و تمیز کردن شیشه های چند راهه</li> <li>• تولید محصولات غذایی و بازرسی تخم مرغ ها</li> <li>• تست های غیرمخرب ( بطور مثال در هوا و فضا)</li> </ul> |                                                                                                                                                                                                                                                        |

جدول ( 1-2) خصوصیات بازرسی چشمی



# فصل سوم

## بازرسی با مواد

## نافذ

## —: مقدمه

بازرسی با مواد نافذ طبق استاندارد DIN EN 571-1 یک روش تست غیرمخرب مواد است که از نیروهای موئین ترک های سطحی و منافذ ظریف استفاده می شود تا آن آشکار شوند. این روش برای مکان یابی ترک هائی مناسب است که با چشم غیرمصلح قابل رویت نیستند.

به کمک بازرسی با مواد نافذ فقط می توان بنابراین آسیب های سطحی مانند ترک ها ، حفره های باز ، **تا خوردگی ها** ، لب به لب شدن ها و خطاهای اتصالات را شناسایی نمود. محدوده کاربرد از نظر نوع آسیب های مشابه بازرسی های چشمی است ، اما میزان شناسایی به مراتب وسیع تر است، علاوه بر این کشفیات را می توان به کمک عکس برداری بهتر تشریح نمود. کلیه مواد یعنی هم فلزات و هم مواد غیر فلزی آلی (ارگانیکی) و معدنی با بافت متراکم و متخلخل قابل بررسی هستند.

شرایط اصلی بازرسی عبارتند از:

- آسیب بایستی از سطح آغاز شده و دهانه ی آن آزاد باشد
- ماده بایستی با مواد تست هم خوانی داشته باشد ( قابل تحمل باشد)

## 3-2: مراحل بازرسی

اصول اجرای تست نافذ را به کمک خود عملیات تست بهتر می توان توضیح داد. این عملیات طی مراحل زیر انجام می گیرد.

- 1- پیش تمیز کاری و خشک کردن : به کمک یک مرحله پیش تمیزکاری این اطمینان حاصل می شود که محل تست بدون آلودگی بوده و برای نفوذ ماده مربوطه آزاد است.
- 2- عملیات نفوذ: یک ماده نافذ شدید رنگ ده یا درخشنده روی سطح تست اضافه می کنند که در اثر تاثیر خاصیت لوله های موئین به داخل محل آسیب نفوذ می کند.
- 3- تمیزکاری بین کاری: بعد از اتمام عملیات نفوذ ماده نفوذ اضافی و ماده چسبیده روی سطح را دور می کنند. این تمیزکاری بین عملیاتی بایستی به صورتی انجام گیرد که ماده نافذ داخل شده در محل آسیب در آنجا بماند .

4- عملیات خشک کردن: قبل از اضافه کردن ماده ظاهر ساز بایستی سطح تست را خشک کنند ، مگر اینکه

نوع ظاهرسازی بکار رود که شامل آب به عنوان نگهدارنده باشد.

5- عملیات آشکار سازی: پس از عملیات خشک سازی یک ماده ظاهر سازی سایه روشن (contrast) اضافه

می کنند تا ماده نافذ را به سطح بمکد در این ارتباط در اثر تاثیر ظاهرساز یک نشانه بزرگتری و واضح تری

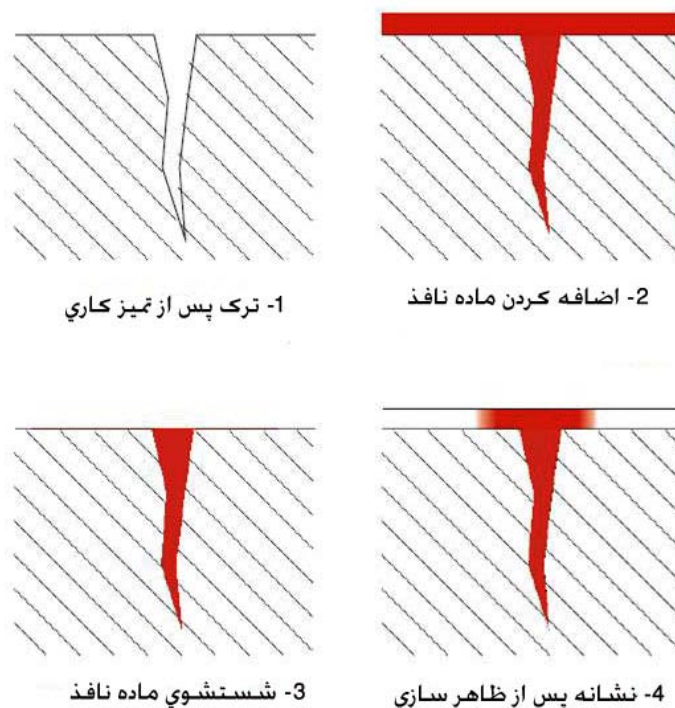
از محل آسیب و آشکار می شود.

6- بازرسی: بعد از عملیات آشکار سازی، سطح در دست تست را در یک شرایط مناسب روشنایی از نظر نشانه

های آسیب جستجو می کنند.

6- تمیز کاری بعدی: یک تمیز کاری نهایی همیشه وقتی لازم میشود که پس مانده های مواد تست هدف

کاربرد قطعه را مختل می کنند.



شکل (3-1 الف) : روش تست نافذ با رنگ ( اصول )

| 1.                                                                                 | 2.                                                                                                                                                                                                              | 3.                                                                                                                                                                          | 4.                                                                                 | 5.                                                                                                                                                                                                                                       | 6.                                                                                                                                                                                                            | 7.                                                                                   |
|------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| Reinigen                                                                           | Aufbringen<br>des Eindring-<br>mittels                                                                                                                                                                          | Entfernen<br>des Eindring-<br>mittels                                                                                                                                       | Trocknen                                                                           | Aufbringen<br>des Entwicklers                                                                                                                                                                                                            | Inspektion                                                                                                                                                                                                    | Nachreinigen                                                                         |
| Ziel:<br>Risse müssen<br>für<br>Eindringmittel<br>zugänglich sein                  | Ziel:<br>Eindringmittel<br>dringt tief in<br>Risse ein<br><br>Es wirken<br>Kapillarkräfte,<br>daher muß<br>das Eindring-<br>mittel niedrige<br>Viskosität<br>besitzen und<br>hinreichend<br>lange<br>einwirken. | Ziel:<br>Eindringmittel<br>darf nur noch in<br>Rissen vorhanden<br>sein<br><br>Varianten:<br><b>Wasser</b><br><b>Lösungsmittel</b><br><b>Emulgator</b><br><b>und Wasser</b> | Ziel:<br>Oberfläche<br>muss Entwickler<br>aufnehmen<br>können                      | Ziel:<br>Sichtbarmachen<br>der Fehlstellen<br><br>Der Entwickler<br>saugt einen<br>Teil des Eindring-<br>mittels aus dem<br>Riss und macht<br>ihn sichtbar.<br>Die Anzeigebreite<br>übersteigt die<br>Rissbreite bis<br>zum 1000-fachen. | Ziel:<br>Feststellen,<br>Dokumentieren<br>und Bewerten<br>der Anzeigen<br><br>Varianten:<br><b>Tages- oder</b><br><b>Kunstlicht</b><br><b>UV-Licht für</b><br><b>fluoreszierende</b><br><b>Eindringmittel</b> | Ziel:<br>Rückstände<br>beseitigen                                                    |
|  |                                                                                                                               |                                                                                           |  |                                                                                                                                                       |                                                                                                                           |  |

شکل (ب- -): هفت مرحله اجرایی یک تست با ماده نافذ

### 3-3: مواد تست

#### 3-3-1: مواد نافذ

سیستم مواد نافذ در استاندارد DIN 54152T1 مشخص شده اند جدول (2-1). در صورت استفاده از رنگ های نافذ از رنگ های مایع بسیار رقیق شده استفاده می شود که می توانند در شیارها و ترک ها یا حفره ها بطور عمیق نفوذ کنند. گاهی به عنوان ماده نافذ از روغن داغ نیز استفاده شده است. زمان های نفوذ معمولاً حدود 10 تا 30 دقیقه است. مواد رنگی چنان انتخاب می شوند که تا حد ممکن یک حالت رنگی سایه روشن

بزرگی نسبت به ماده ظاهر ساز ایجاد شود. معمولا از رنگ های قرمز رنگ یا رنگ هایی که تحت نور ماوراء بنفش می درخشند و یک نشانه کاملا واضح نشان می دهند استفاده می شود. بر حسب نوع رنگ به کاررفته تفاوت های زیر را قائل شده اند :

- ماده رنگ نافذ : از ماده رنگی که در روشنایی روز قابل روئیت است استفاده می شود که معمولا رنگ های نافذ قرمز رنگ متداول اند.

- ماده نافذ درخشنده

- ماده رنگی نافذ درخشنده

در مورد اخیر از مواد رنگی استفاده می شود که تحت تاثیر نور ماوراء بنفش می درخشند. مواد معمول درخشان

به رنگ زرد و سبز هستند و دارای دو ماده اضافی اند و به این جهت در روشنایی روز و تحت تاثیر نور ماوراء

بنفش قابل روئیت می شوند. مواد اضافی فعال کننده سطوح مرزی یا باعث یک قابلیت مرطوب سازی بالایی

شده و یا باعث ایجاد یک خاصیت بالای لوله های مویین می شوند. به این وسیله در مدت زمان کوتاهی حتی به

داخل شیارها و سوراخ های تنگ نیز نفوذ می کنند. علاوه بر این به کمک اضافات یک قابلیت تر سازی خوب در

سطح ایجاد می شود که برای تشکیل یک سطح کل با پوشش یکنواخت فیلم مهم است.

| آشکارساز                     |              | تمیز کننده مابینی  |              | ماده نافذ                |              |
|------------------------------|--------------|--------------------|--------------|--------------------------|--------------|
| نامگذاری                     | حرف<br>مشخصه | نامگذاری           | حرف<br>مشخصه | نامگذاری                 | حرف<br>مشخصه |
| ظاهرساز خشک                  | A            | ماده حلال فاز مایع | A            | ماده نافذ                | A            |
| ظاهرساز تر بدون<br>ماده حلال | B            | ماده حلال فاز بخار | B            | ماده نافذ رنگی           | B            |
| ظاهرساز تر آب مبنا           | C            | آب                 | C            | ماده نافذ درخشان<br>رنگی | C            |
|                              | D            | امولگاتر آب مبنا   | D            |                          |              |
|                              | E            | امولگاتر روغن مبنا | E            |                          |              |

جدول (3-1) : سیستم مواد تست طبق DIN 54152T2

### 3-3-2 مواد تمیز کننده بین عملیاتی

تمیز کننده های بین عملیاتی باید قادر باشند مواد نافذ باقی مانده روی سطح رابط کامل دور کنند بدون اینکه مواد وارد در محل آسیب را به خارج شستشو دهند. این مواد تمیز کننده بایستی بر نوع ماده نافذ به کار رفته تطبیق داده شده باشند. مواد زیر معمول اند :

- مواد تمیز کننده مایع : منظور نوع مواد آلی با تاثیر تمیزسازی قوی هستند هنگام عمل با این گونه مواد بایستی به خاطر تاثیر گذاری آن ها بر سلامت نسبت به تامین یک تهویه خوب یا امکان مکش هوای فضای مناسب اهمیت مناسب را قائل شد.

- مواد گازی شکل : این گونه مواد در دمای کاربرد گازی شکل اند. این گونه گاز ها معمولا در محفظه های بسته به کار می روند و همانند سایر مواد مشابه دارای یک تاثیرسازی خوب برای چربی ها و روغن هستند.
- آب : معمولا آب لوله کشی معمولی به کار می رود. در حالت های خاص اگر بایستی از تاثیرزنگ زدن آب جلوگیری شود از آب نمک گرفته شده نیز استفاده می شود. آب به عنوان یک ماده تمیز کننده و بین عملیاتی فقط همراه با یک امولسیون ساز تاثیر می کند.
- امولسیون سازها : این مواد باعث می شوند که مواد نافذ به شکل قطره درآمده و به این شکل با آب به صورت امولسیون مخلوط شده در آمده و قابل دور کردن شوند. در مواد نافذی که خود به اصطلاح با آب قابل شستشو هستند به اندازه کافی امولسیون ساز به میزان تطبیق شده با کل سیستم مواد تست وجود دارد. در این صورت شستشوی بین عملیاتی با آب به طور مستقیم امکان پذیر است. در موادی که قابل امولسیون سازی بعدی هستند ماده امولسیون ساز را در یک مرحله کاری مخصوص اضافه می کنند. بعد شستشوی با آب به عنوان یک گام بعدی شستشوی بین عملیاتی امکان پذیر می شود.

### 3-3-3 ظاهر سازها

- به عنوان ظاهر ساز از پودر های ظریف (کربنات ها و سیلیکات ها) استفاده می شود.
- **ظاهر ساز های خشک** : در ظاهر سازهای خشک پودر را بدون افزودن یک ماده نگهدارنده اضافه می کنند.
  - **ظاهر سازی های تر** : در ظاهر سازی تر از یک ماده نگهدارنده استفاده شده و پودر در آن شناور می شود. مناسب ترین آن ها الکل است، زیرا به سادگی بخار شده و یک خشک سازی سریع لایه ممکن می شود.

آب به عنوان مایع نگه دارنده کم تر مناسب است چون برای خشک سازی به طور مثال استفاده از یک کوره لازم می شود.

### 3-4 قواعد آزمایش

قواعد عام برای انجام آزمایش ها در استاندارد DIN54152T1 معرفی شده اند. مانند همه استاندارد ها موضوع مهم نوع قراردادی است که بین سازنده و سفارش دهنده منعقد می شود. حتی در مواردی هم که توافق خاصی دیده نشده باشد حفظ چنین قواعد فنی مناسب است و تنها در موارد اثبات شده خاصی می توان از آن ها منحرف شد.

استاندارد DIN54152 شامل مقیاس های کلی برای یک ارزیابی عام نیست و قواعد فنی بایستی تابع خواسته ها و شرایط خاص و نسبت به یک موضوع معین انتخاب شوند.

منظور از عنوان انتخاب متناسب با شرایط خاص روش تست این است که مضافا بایستی فضای معین برای امکانات تست تابع خصوصیات موضوع و خواسته های موضوع در دست کار تعیین شود. به طور مثال فقط سیستم های ماده تست معین با خصوصیات معینی مانند "بدون هالوژن"، یا "بدون گوگرد" را مجاز می کنند. معمولا آزمایش ها را به شرح زیر انجام می دهند:

1- تعیین سیستم مواد تست

2- تعیین مراحل و انجام تست

- تمیز کاری ابتدایی سطح (برس زنی، پرتو دهی، ماده تمیز کننده شیمیایی، بخار داغ و ...)

توجه: ممکن است توسط پرتو دهی محل آسیب پوشیده شود.

- اضافه کردن ماده تست (شناور کردن، مالیدن، ...، تزریق، الکترواستاتیکی)

دمای تست  $5 - 50^{\circ}\text{C}$

زمان تست 5-30min

- تمیز کردن بین عملیاتی و خشک کردن (خشک کردن هوایی، با پارچه، فشار هوا، خشک کردن با فشار هوا)
- اضافه کردن ظاهرساز
- خشک : الکترو استاتیکی
- تر : پاشش
- مرحله ارزیابی نشانه های آسیب



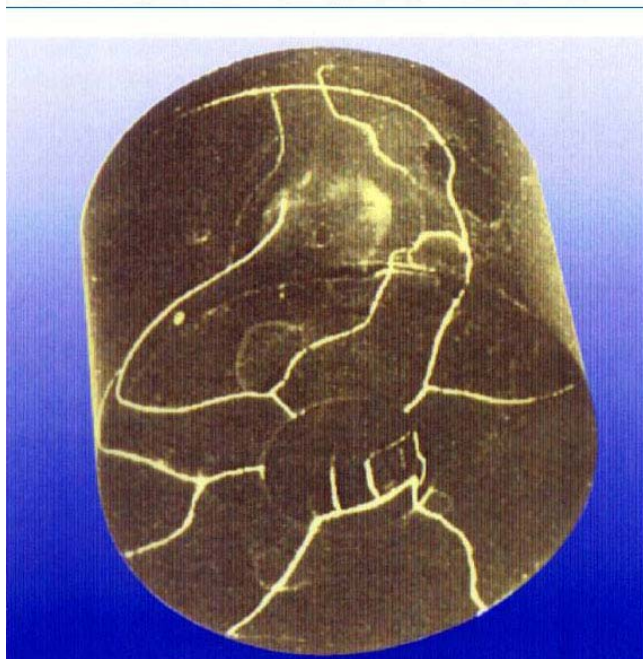
شکل (3-3 الف) : روش تست نافذ - مثال روش سفید - قرمز



شکل (3-3 ب): روش تست نافذ - مثال روش سفید - قرمز



شکل (3-3 ج): روش تست نافذ مثال روش درخشان.



شکل (3-3 د) : روش تست نافذ - روش درخشان



شکل (3-3 ه) : روش تست نافذ - روش درخشان

### 3-5. معایب ، محاسن و نمونه های کاربردی

در جدول (3-2) امتیازات و معایب روش های نافذ جمع بندی شده و نمونه های کاربردی معرفی شده اند. در

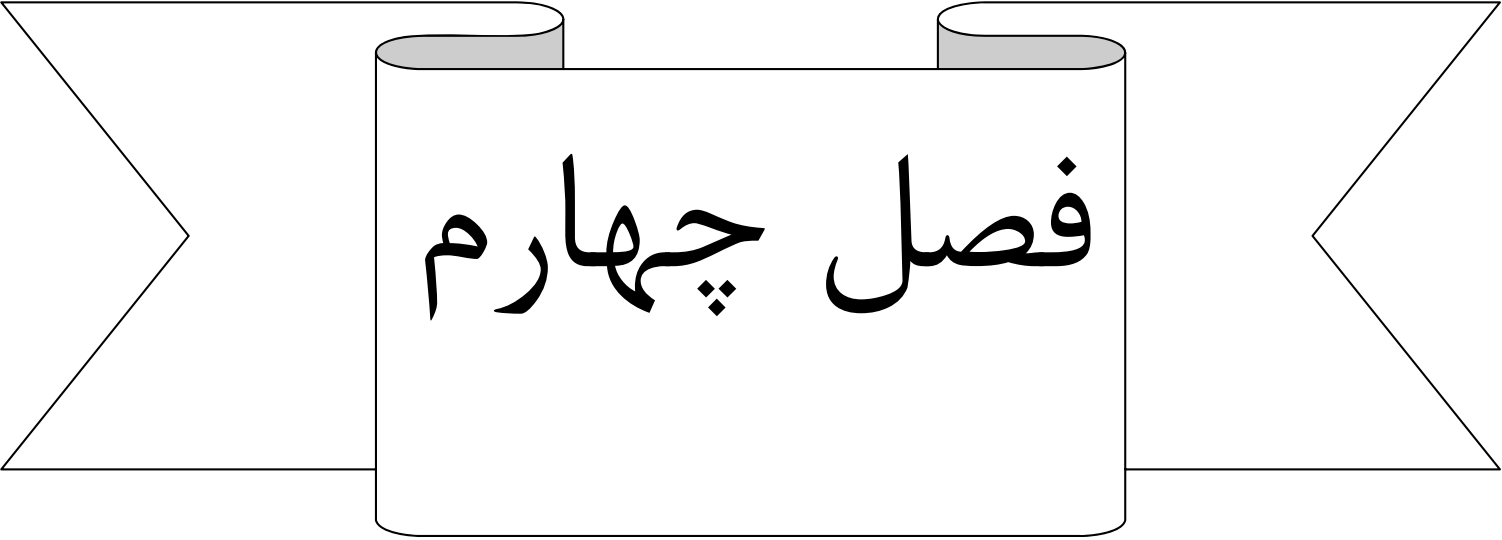
شکل (3-4) نمونه تجهیزات به کار رفته در یک تست نافذ نشان داده شده است.

| امتیازات                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | معایب                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- کاربرد ساده</li> <li>- بدون وابستگی به شکل و ابعاد قطعه</li> <li>- تست کامل قطعه ممکن است</li> <li>- بسیار حساس برای آسیب های سطحی</li> <li>- زحمت آموزش نیروی انسانی کم</li> <li>- هزینه سرمایه گذاری کم</li> <li>- قابل خودکار سازی</li> <li>- آسیب به طور مستقیم قابل روئیت است</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- فقط آسیب های سطحی باز قابل شناسایی است</li> <li>- محدوده کار بایستی در دسترس باشد</li> <li>- لایه های گالوانیزه و رنگی بایستی دور شوند</li> <li>- تمیز کاری و عملیات سطح لازم است</li> <li>- تعیین عمق آسیب به ندرت ممکن است</li> <li>- نسبتا زمان براست</li> <li>- درصد ناتوانی تست تابع ماده است</li> <li>- ترک های بزرگتر گاهی قابل روئیت نیستند</li> <li>- سرمایه گذاری زیاد برای تجهیزات و خودکار سازی</li> </ul> |
| <p>نمونه های کاربردی:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- کنترل روزانه بیشتر قطعات غیر مغناطیسی و مغناطیسی</li> <li>- تست ترک ها در محل</li> </ul>                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |

جدول (3-2) : معایب و محاسن و نمونه های کاربردی



شکل 3-4: نمونه تجهیزات بکار رفته در تست نافذ



## فصل چهارم

# بازرسی با ذرات

## مغناطیسی

#### 4-1: مقدمه

بازرسی با ذرات مغناطیسی نیز برای مکان یابی ترک های سطحی و ترک های موجود در نزدیکی سطح مناسب اند. این روش نیز اظهاراتی در مورد عمق محل آسیب به دست نمی دهد. آزمایش با ذرات مغناطیسی بر این فرض استوار است که یک جریان مغناطیسی وجود دارد و به این جهت تنها برای مواد فرو مغناطیسی کاربرد دارد. اصول عملکرد روش بر مبنای تغییر طیف فیزیکی است که توسط ترک ها، محبوس شده های سر باره، فسفرو یا سایر آسیب ها ایجاد می شود.

بنابراین بازرسی با ذرات مغناطیسی نیز یک روش آزمایش سطح است که از ایجاد پراکندگی در طیف مغناطیسی برای اثبات آسیب های مواد فرو مغناطیسی استفاده می شود. کلیه مواد فرو مغناطیسی با قابلیت هدایت مغناطیسی بزرگتر یا مساوی 100 قابل آزمایش اند. از جمله گروه های مواد فرو مغناطیسی عبارتند از :

- کلیه انواع فولاد ها و آلیاژهای آن به جز اوستنیت

- چدن آهنی

آن نوع آسیب های ترک مانندی در محدوده سطح قابل شناسایی هستند که به خاطر مکان و ابعادشان یک عامل برای برای ایجاد پراکندگی در طیف مغناطیسی می شوند. وسعت یک ترک وقتی قابل شناسایی است که تا حد امکان ابعاد آن در ارتباط با هم دارای نسبت های زیر باشد:

عرض : عمق : طول = 1 : 10 : 50

در همین ارتباط عمق یک محل آسیب بایستی حداقل سه برابر عمق زبری سطح باشد.

قابلیت اثبات آسیب ها ممکن است در اثر شباهت ظاهری نشانه ها کاهش یابد.

در موارد زیر امکان ایجاد شباهت های ظاهری نشانه ها وجود دارد:

پراکندگی طیف مغناطیسی در ساختار های سطحی از قبیل شیار ها، خراش ها، سوختگی ها و غیره . همین طور

با وجود فراهم بودن امکان مغناطیسی شدن ایده ال ممکن است در بعضی موارد به ندرت نیروهای لازم برای

آشکارسازی نشانه آسیب ایجاد شوند. به ویژه در موارد زیر امکان وجود نامناسب ترین شرایط فراهم است:

- شکاف های ماده نسبتا عریض
- محل های شکاف مانند با لبه های بسیار گرد
- شکاف های تخت موجود در قطعه
- شکاف های ماده پر شده با اکسید های فرو مغناطیسی
- نمونه های مجهز به پوشش های سطح غیر مغناطیسی با ضمانتی بزرگتر یا مساوی  $40\mu\text{m}$

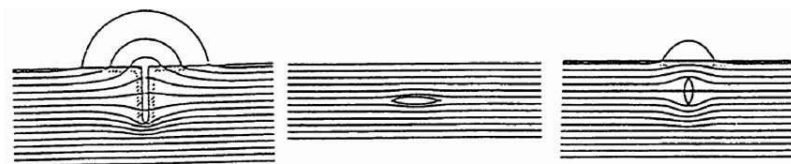
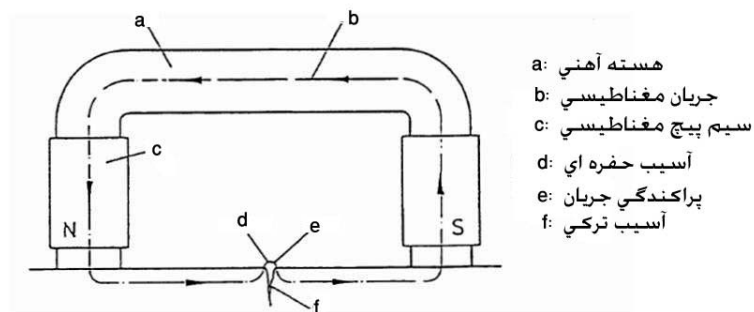
## 4-2/ اصول مغناطیس سازی

هنگام مغناطیسی سازی یک ماده با قابلیت هدایت مغناطیسی خوب خطوط طیف مغناطیسی یکنواختی تشکیل

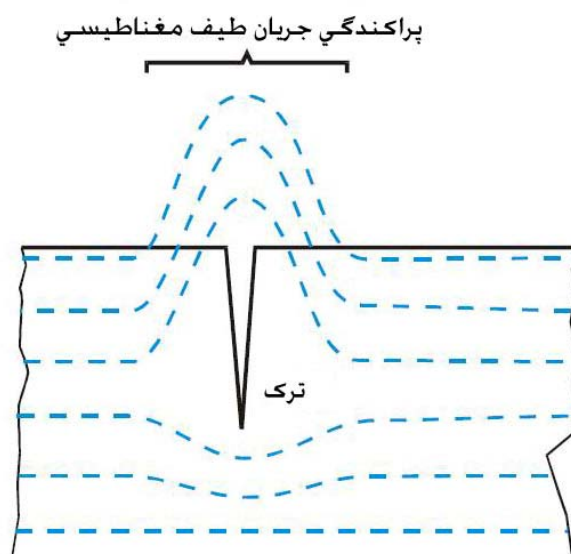
می شود. اما اگر خطوط دامنه به طور عمودی بر یک محدوده با قابلیت هدایت کم برخورد کنند، به طور مثال

اگر به یک محل آسیب برخورد کنند خطوط به سمت سالم ماده منحرف می شوند. شکل (1-4 الف و ب) در

این حالت یک قسمت قابل توجه خطوط نیز از سطح خارج شده و در محل آسیب یک پل می سازند.



شکل (1-4 الف): تست با ذرات مغناطیسی - جریان پراکندگی خطوط طیف

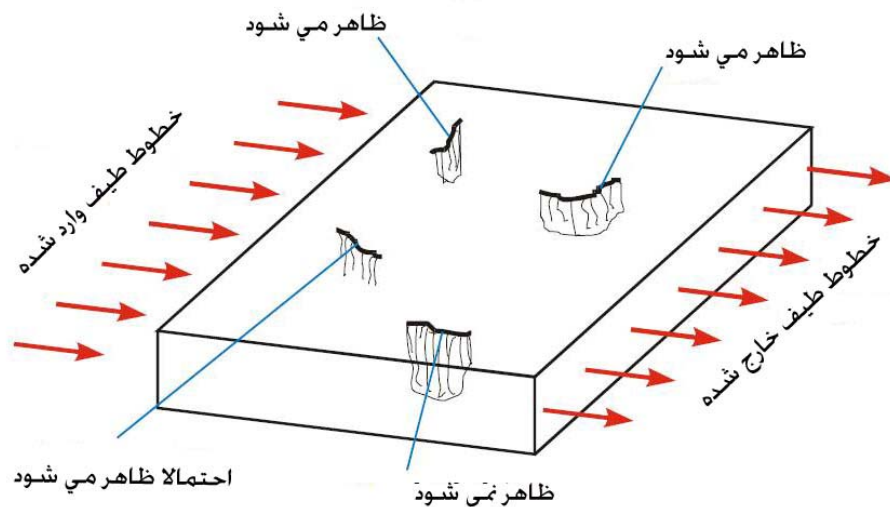


شکل (1-4 ب): جریان پراکندگی طیف مغناطیسی

درروش بازرسی با ذرات مغناطیسی برای آشکارسازی جریان پراکندگی مغناطیسی ذرات آهن بسیار ظریف را روی سطح قطعه کار می ریزند.

چون اصولاً خطوط طیف مغناطیسی در هوا حرکت می کنند و همیشه با یک مقاومت نسبی بالای مغناطیسی مواجه هستند، برای کاهش مقاومت هدایت، میدان های مغناطیسی موجود سعی دارند از سریع ترین راه کلیه ذرات آهن آزاد موجود قابل جذب روی سطح قطعه کار را جذب کرده و به صورت یک پل مغناطیسی بالای محل آسیب با هم جمع کنند. این تجمع به شکل یک کوهان ذرات را می توان به عنوان محل آسیب شنایابی کرد.

نشانه های آسیب هایی که عمود بر طیف هستند بهتر آشکار می شوند، به این جهت انحراف مواضع آسیب تا حداکثر  $30^0$  نسبت به عمود امکان پذیر است، شکل (2-3). آسیب هایی که عمق آنها بیشتر از 0.2mm زیر سطح باشد نیز به ندرت بطور هدفمند قابل شناسایی هستند.

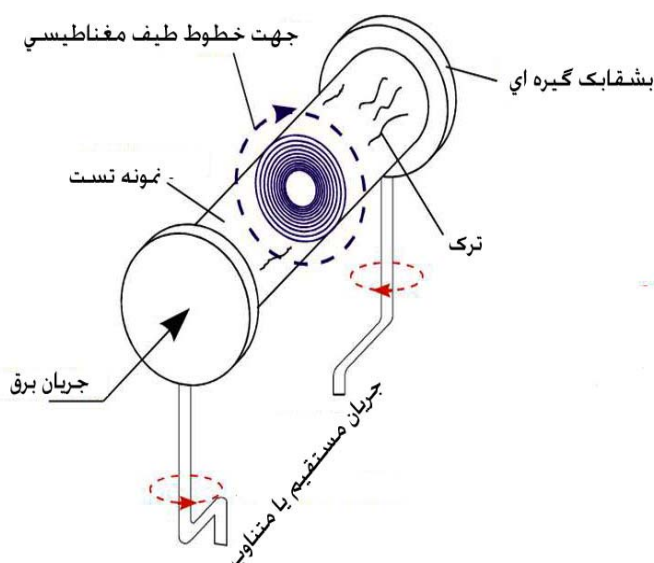


شکل (2-4) : موقعیت و نشانه آسیب در روش با ذرات مغناطیسی

## 3-4 روش های مغناطیسی سازی

### 3-4-1 تولید میدان مغناطیسی توسط جریان برق

اگر یک نمونه آزمایش بین دو الکتروود به جریان برق متصل شود در پیرامون و در سطح آن یک طیف خطوط مغناطیسی دایره ای شکل ایجاد می شود، شکل (3-4). این روش مغناطیسی سازی برای جستجوی ترک های طولی به کار می رود، به طور مثال در لوله هایی که به طور طولی جوشکاری شده اند و یا بطور مشابه در پروفیل ها.



شکل (3-4): مغناطیس سازی به کمک جریان

- ضوابط اعمال روش:

چون تابع ابعاد قطعه جریان برق کم و بیش زیادی به آن وارد می شود بایستی دقت زیادی هنگام طراحی اتصالات جریان شود و بایستی به این نکته توجه شود که با طراحی یک سطح مقطع گذرگاهی تا حد ممکن بزرگ در مواضع اتصال مقاومت الکتریکی به اندازه ای کوچک شود که از یک گرم شدن غیرمجاز محل اتصالات و در نتیجه از سوختگی جلوگیری به عمل آید.

- استقرار الکترودها برای تست درز جوش ها

- عیوب طولی

برای دست یابی به عیوب طولی و عرضی هنگام تست یک بخش از جوش بایستی تست در دو جهت بعد از یک دیگر و تا حد ممکن عمود بر هم انجام گیرد. برای تست عیوب طولی الکترودها را در دو طرف درز جوش چنان قرار می دهند. که جهت جریان با درز جوش یک زاویه حدود 20 درجه تا 30 درجه تشکیل دهد. هر یک از بخش های تست بایستی در این ارتباط حدود 40 mm تا 50 mm با هم هم پوشانی داشته باشند . فاصله الکترودها می تواند 200 mm تا 300 mm باشد ، در دستگاه ها با توان بالا این فواصل می تواند بزرگ تر نیز انتخاب شود.

- عیوب عرضی

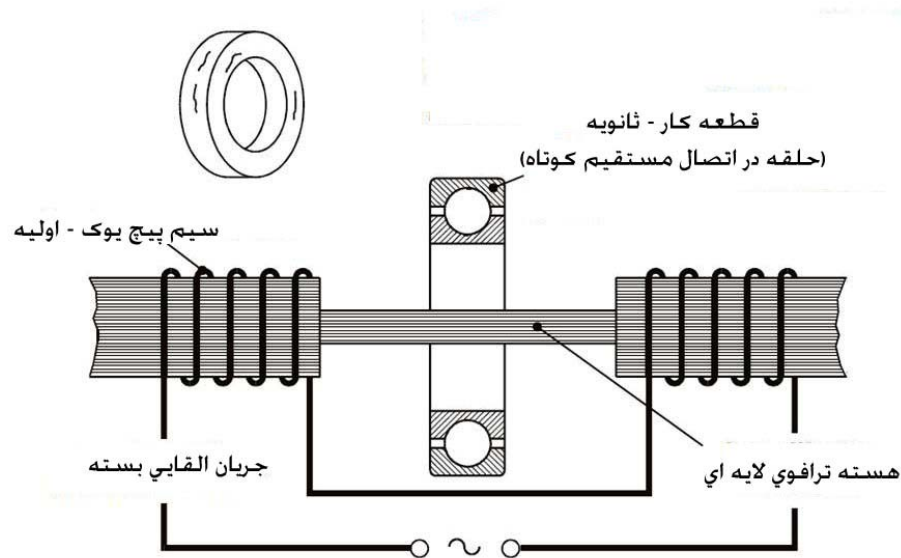
برای تست عیوب عرضی جهت جریان بایستی نسبت به درز جوش زاویه ای حدود 90 درجه تا 120 درجه تشکیل دهد و فاصله بین هر یک از بخش های مورد تست بیش از 100mm نباشد. فاصله الکترودها در این ارتباط بایستی بزرگ تر از 75mm انتخاب شود تا نفوذ توزیع طیف در محل اتصالات در محدوده تست وارد نشود، در غیر این صورت آشکار سازی بهینه عیوب به خطر می افتد.

### **4-3-2 تولید میدان مغناطیسی به روش القا**

تولید میدان مغناطیسی به روش القا شکل (4-4) یک روش مغناطیسی سازی بر مبنای اصول ترانسفور ماترها است. هسته ترانسفور ماتر یک یوغ جریان متناوب لایه ای را تشکیل می دهد که سیم پیچ یوغ آن سیم پیچ اول آن است. قطعه حلقه مانند که پیرامون هسته یوغ قرار می گیرد سیم پیچ دوم است ، البته به صورت حلقه اتصال کوتاه. طبق قوانین القا جریان عبور کرده از سیم پیچ اول در سیم پیچ دوم (قطعه نمونه حلقه ای شکل)

یک جریان دورانی القا می کند که همانند کلیه کابل های هادی جریان در پیرامون مقطع هادی یک میدان مغناطیسی دایره ای شکل ایجاد می کند.

به این نحو می توان در یک قطعه حلقه ای شکل کلیه عیوب پیرامونی را نشان داد.



شکل (4-4): مغناطیس سازی به کمک جریان القایی

شرایط تولید میدان مغناطیسی به روش القایی به شرح زیر است :

- تنها می توان قطعات حلقه ای و لوله ای شکل را تست نمود که دارای سطح مقطع بسته هستند ، به طوری که ایجاد جریان القایی دور تا دور آن امکان پذیر باشد.
- برای ایجاد یک جریان القایی یک طیف دینامیکی لازم است ، یعنی تنها می توان با جریان متناوب یک جریان القایی ایجاد نمود .

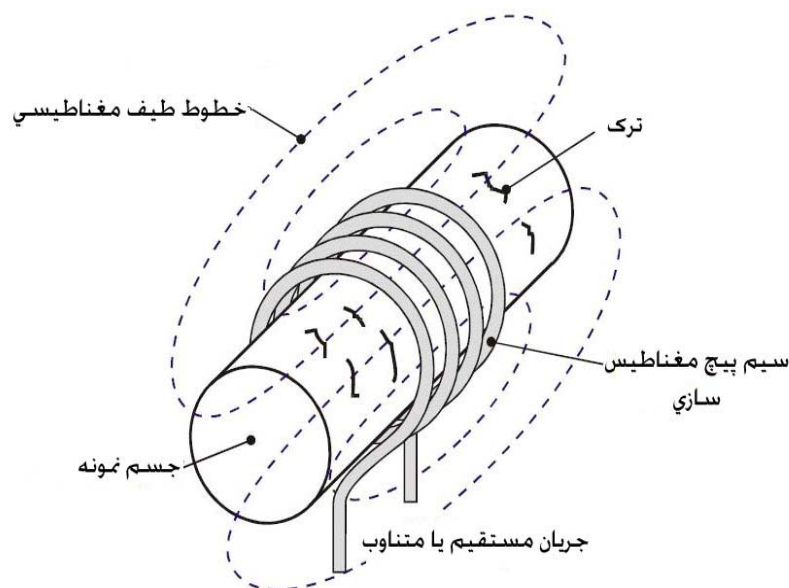
امتیازات تولید میدان مغناطیسی به روش القایی عبارتند از :

- مغناطیسی سازی بدون تماس است. به این جهت خطر سوختگی محلی وجود ندارد.

- امکان ترکیب سازی خوبی با یک جریان کمکی وجود دارد ، در نتیجه عیب یابی ایده آل بدون تماس در همه جهت ها امکان پذیر است.

### 3-3-4: تولید خطوط طیف مغناطیسی توسط بوبین

در روش مغناطیسی سازی با بوبین شکل (3-5) یک کابلی که جریان برق از آن عبور می کند را به شکل یک سیم پیچ با تعداد حلقه مناسب می پیچند. بعد از عبور جریان از سیم پیچ پیرامون هر یک از حلقه های آن یک طیف مغناطیسی دایره ای شکل ایجاد می شود که در داخل بوبین به صورت یک طیف طولی مشترک با هم جمع می شوند. در این ارتباط اصولاً حاصل ضرب جریان و تعداد حلقه ها، به اصطلاح تعداد حلقه آمپر A.W برای میزان مغناطیسی سازی تعیین کننده است. مغناطیسی سازی بوبین برای نشان دادن ترک های عرضی بسیار عالی پاسخ داده است ، به خصوص وقتی که جهت طولی آن تحت زاویه 90 درجه نسبت به طیف مغناطیسی قرار گرفته باشد. این به معنی موازی بودن آن با جهت جریان است یعنی به موازات حلقه های بوبین.



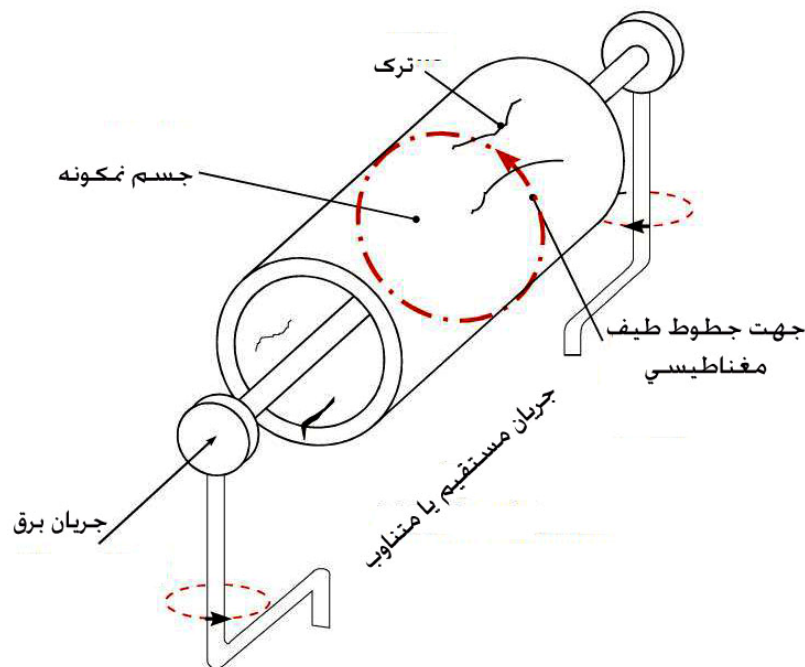
شکل ( 4-5 ) : مغناطیسی سازی به کمک بوبین

شرایط مغناطیسی سازی بوبین به شرح زیر است:

- برای تست لوله ها با جریان متناوب یک مغناطیسی سازی فقط در سطح خارجی امکان پذیر است .
- برای تست قطعات فلانچ شکل خطوط طیف مغناطیسی در سطح صاف در ماده به طور عمودی ایجاد می شوند به طوری که در ترک ها ی دوری در طرف فلانچ بایستی با یک کاهش حساسیت آشکار سازی حساب کرد.

#### 4-3-4: تولید خطوط طیف مغناطیسی توسط جریان کمکی

در لوله ها و قطعات حلقه ای شکل مغناطیس سازی توسط کابل های جریان برق را می توان بدون بوبین بدون تماس انجام داد، شکل (4-6) . در این ارتباط توسط یک کابل کمکی میدان مغناطیسی دایره ای شکل دور نمونه تست ایجاد می شود به طوری که در کنار ترک های طولی عیوبی که ستاره مانند در سطوح صاف از مرکز به طرف خارج قرار دارند نیز ظاهر می شوند. برای ایجاد امکان یک توزیع یکنواخت طیف در روش جریان کمکی بایستی به این نکته توجه داشت که کابل کمکی از وسط نمونه عبور کند.



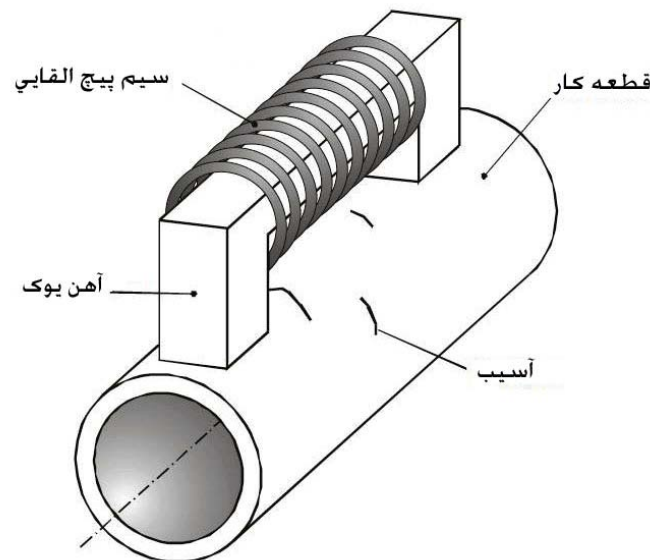
شکل (4-6) : تست به کمک جریان کمکی

امتیازات روش جریان کمکی :

- مغناطیس سازی بدون تماس انجام می گیرد. به این جهت بدون خط ایجاد سوختگی است.
- داخل لوله ها را نیز می توان با استفاده از جریان متناوب نیز مغناطیسی سازی نمود.
- امکان ترکیب سازی خوبی با یک جریان القایی وجود دارد، در نتیجه بدون نیاز به اتصالات بهترین امکان برای آشکارسازی عیوب در همه جهت ها به وجود می آید.

#### 4-3-5: تولید خطوط طیف مغناطیس توسط یوغ (Joke)

در روش مغناطیس سازی توسط یوغ ، شکل (4-7) طیف مغناطیسی ایجاد شده توسط یک سیستم بوبین را توسط قطب های یک هسته آهنی به نمونه آزمایش انتقال می دهند، در حالی که توسط هسته آهنی و قطعه کار یک مدار بسته مغناطیسی تشکیل می شود. خطوط طیف مغناطیسی در یک خط ارتباطی مستقیم بین قطب ها از داخل نمونه عبور می کنند ، به طوری که ترک های عرضی می توانند نشان داده شوند. چون در مغناطیسی سازی یوغی یک میدان مغناطیسی و نه جریان به نمونه آزمایش انتقال داده می شود خطر ایجاد مواضع سوختگی به طور مطلق وجود ندارد.



35

شکل (4-7): مغناطیس سازی به کمک یوغ

## 4-3-6 انواع جریان ها و خصوصیات آن ها

### 1- جریان متناوب

- فرکانس 50/60 HZ علامت اختصاری طبق DIN54130 W
- خصوصیات : مغناطیسی سازی حتی با وجود تغییرات بزرگ تر سطح مقطع بسیار یکنواخت و خوب است .
- تابع میزان فرکانس عمق نفوذ قابل شناسایی فقط 2/25mm برای فرکانس 50 HZ است
- (پدیده \*skineffect') در نتیجه حساسیت آشکارسازی با افزایش عمق آسیب از سطح سریع کاهش پیدا می کند.

### 2- جریان متناوب یکسو شده بدون فیلتر

- نیمه موج - اتصال یک راهه فازی علامت اختصاری طبق DIN54130 H
- خصوصیات : قسمت جریان یک سو حدود 32% مقدار حد اکثر (Peak Value) است عمق نفوذ در نتیجه در یک محدوده بزرگ تر مقدار حداکثر قرار می گیرد.

- موج کامل - اتصال پلی یک فازی علامت اختصاری طبق DIN54130 V
- خصوصیات : قسمت جریان یکسو حدود ... مقدار حداکثر . به خاطر قابلیت عمق نفوذ نسبتا زیاد جریان مستقیم موج کامل زحمت مغناطیس زدایی به مراتب بیشتر است .

### 3- جریان مستقیم

- اتصال پلی سه فاز علامت اختصاری طبق DIN54130 C
- خصوصیات : با یک باقی مانده موجی بودن حدود 5% تقریبا تمام سطح مقطع بطور مغناطیس اشباع می شود . به این جهت چون فقط مقاومت اهم وجود دارد احتمال نشان دادن عیوب زیر سطح بیشتر است .

\*1 با افزایش فرکانس در اثر ایجاد طیف مغناطیسی خود القا جریان از وسط کابل به طرف سطح آن فشار داده می شود این پدیده فشار دادن را suinmeffect نامیده اند.

جریان زیاد تست و آزمایش طول های بزرگ نمونه امکان پذیر است .

#### 4- جریان پالسی

- علامت اختصاری طبق DIN54130 P

- خصوصیات : بخاطر ترتیب پالس ها با زمان های توقف تعیین شده یک خطر داغ شدن در محل اتصالات هنگام عبور جریان خودکار بسیار کم است . در نتیجه در قطعات جدار نازک می توان بدون مشکل از جریان های قوی تر استفاده نمود.

#### 5- جریان ضربه ای

- علامت اختصاری طبق DIN54130 S

- خصوصیات : این نوع جریان تنها برای تست پس ماند مغناطیسی (Remanence) بکار می رود.

### 4-3-7: انواع ذرات آهن

پودر آهن بکار رفته در تست های ذرات مغناطیسی که از آهن خالص یا اکسید آهن تشکیل می شوند تابع ماده حمل کننده که بطور مثال هوا یا مایع است به انواع پودر خشک یا پودر تر از هم تفکیک شده اند. مشخصه دوم به عنوان معیار تمایز برای تقسیم بندی پودرهای مغناطیسی میزان حساسیت سایه روشن (contrast) آن ها نسبت به سطح قطعه است . در این ارتباط بین پودرهای سیاه یا خاکستری تفاوت قائل شده اند که رنگ طبیعی آهن را منعکس می کند ، یا این که به صورت پودر قهوه ای و ابی و قرمزند که رنگ آن ها به کمک عملیات حرارتی آن ها ایجاد می شود ، یا این که به صورت پودر درخشان هستند که به صورت یک لایه درخشانده هسته آهن را می پوشانند . از نقطه نظر حساسیت آشکار سازی، بزرگی ذرات نیز یک مشخصه مهم دیگر تمایز است . اصولاً بزرگی ذرات پودری بایستی حدوداً به عرض عیوب مورد انتظار تطبیق داده شده باشد . اما چون بایستی با عرض های مختلف ترک ها حساب نمود ، تمایل به این است که در عمل از پودرهای ظریف تر استفاده شود تا کلیه ترک های سطحی موجود بدون وابستگی به عرض ترک نشان داده شوند.

- پودر خشک

پودر خشک با ذرات به بزرگی  $60\text{ }\mu\text{m}$  تا  $300\text{ }\mu\text{m}$  از ذرات آهن خالص قابل مغناطیسی شدن تشکیل شده است که احتمالاً برای تقویت سایه - روشن (contrast) با نور روزانه کار شده یا با مواد رنگی درخشان رنگ آمیزی می شوند. این ذرات بزرگ و سنگین بیشتر برای نشان دادن شکاف های بزرگ ماده (بطور مثال در تست شمشال (billet) ) یا برای تست قطعات داغ ( $400^{\circ}\text{C}$  تا  $250^{\circ}\text{C}$ ) بکار می روند.

#### - پودر تر - بدون درخشندگی

پودرهای مغناطیسی بدون درخشندگی شامل آب یا روغن یا اضافات مشابه دیگری هستند. اینگونه پودرها ذرات اکسید آهن سیاه رنگ یا به رنگ قهوه ای قرمز با ابعاد  $0.1\text{ }\mu\text{m}$  تا  $2\text{ }\mu\text{m}$  هستند. محدوده کاربرد آن ها برای تست سطوح قطعات براق (blank) و تمام ماشینکاری شده و یا برای تست در آن محل های کاری است که منبع نور UV در اختیار نباشد. گاهی اوقات قبل از انجام تست سطح قطعه کنند را برای روشن سازی با رنگ سفید زمینه رنگ آمیزی می کند. اما بایستی توجه داشت که هنگام اضافه کردن رنگ سفید یک لایه غیر قابل مغناطیس شدن بین سطح قطعه کار و ذرات پودر مغناطیسی ایجاد می شود که بر حسب ضخامت لایه زمینه برای طیف های کوچک باعث کاهش کیفیت آشکارسازی می شود.

#### - پودر تر - درخشان

پودرهای درخشان برای تست تر دارای یک هسته فرو مغناطیس (آهن خالص یا اکسید آهن) هستند که توسط یک ماده پیوندی رزین مصنوعی پوشیده شده که در آن یک ماده رنگ درخشنده حل شده است. به کمک سایه - روشن پر رنگ این ماده درخشنده که اغلب به رنگ زرد سبز است هنگام تست زیر اشعه UV در فضاهای تاریک شده یک آشکارسازی واضح تر و سریع تر شکافهای ماده را در مقایسه با پودرهای تر غیر درخشنده تضمین می نماید. ابعاد ذرات پودر مغناطیسی بایستی بین  $2\text{ }\mu\text{m}$  تا  $30\text{ }\mu\text{m}$  قرار داشته باشد.

در این روش تر به عنوان ماده نگهدارنده پودر از روغن یا آب همراه با اضافات دیگر استفاده می شود. در صورت استفاده از روغن های تست بایستی توجه داشت که این ها بدون درخشندگی هستند، و ویسکو زیته کمی داشته و یک نقطه اشتعال تا حد ممکن بالایی از خود نشان می دهند. از جمله خصوصیات مخلوط های آبی بکار رفته در ترک ها در کنار خاصیت شبکه سازی خوب و خاصیت ضد کف، خاصیت محافظت در مقابل زنگ زدگی قطعات به ویژه بسیار مهم است. به این جهت بایستی تاثیر محافظت زنگ مخلوط ها بر ماده در دست بررسی تطبیق داده شده باشد، زیرا فولادها و مواد چدنی با شدت مختلف زنگ می زنند.

### 4-3-8 امتیازات، معایب و نمونه های کاربردی

مهم ترین امتیازات، معایب و نمونه های کاربردی روش تست با ذرات مغناطیسی در جدول (4-1) جمع بندی شده است:

| امتیازات :                                                                                                                                                                                                                                                                                     | معایب :                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• روش سریع و مطمئن است</li> <li>• شناسایی ظریف ترین عیوب سطح ممکن است</li> <li>• تقریبا غیر وابسته به شکل و ابعاد قطعه است</li> <li>• کاربرد محلی ممکن می باشد</li> <li>• زحمت آموزش نسبتا کم است</li> <li>• عیب بطور مستقیم قابل مشاهده است</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• فقط مواد قابل مغناطیس شدن قابل بازرسی اند.</li> <li>• فقط عیوب نزدیک به سطح قابل اثبات اند</li> <li>• ارزیابی عمق عیوب ممکن نیست</li> <li>• پوشش های سطحی معمولا بایستی از بین بروند</li> <li>• محدوده تست بایستی در دسترس باشد</li> </ul> |
| <p>نمونه های کاربردی :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• بازرسی متداول قطعات قابل مغناطیس شدن از هر نوع، بطور مثال :</li> <li>قطعات شاسی و زیربند، قطعات جعبه دنده، پین ها محور ها و پوسته ها</li> <li>• بازرسی های موضعی در محل</li> </ul>                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                     |

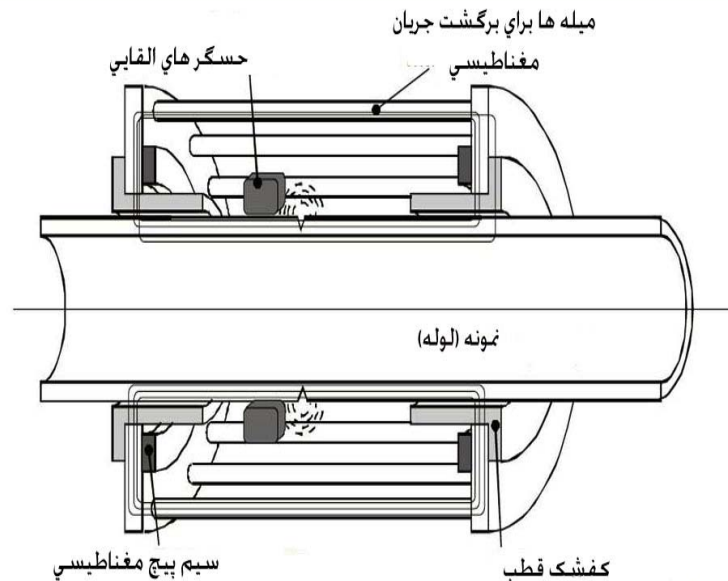
جدول (4-1): بازرسی با ذرات مغناطیسی

### 4-4: بازرسی مغناطیسی به کمک ردگیری حسگرها

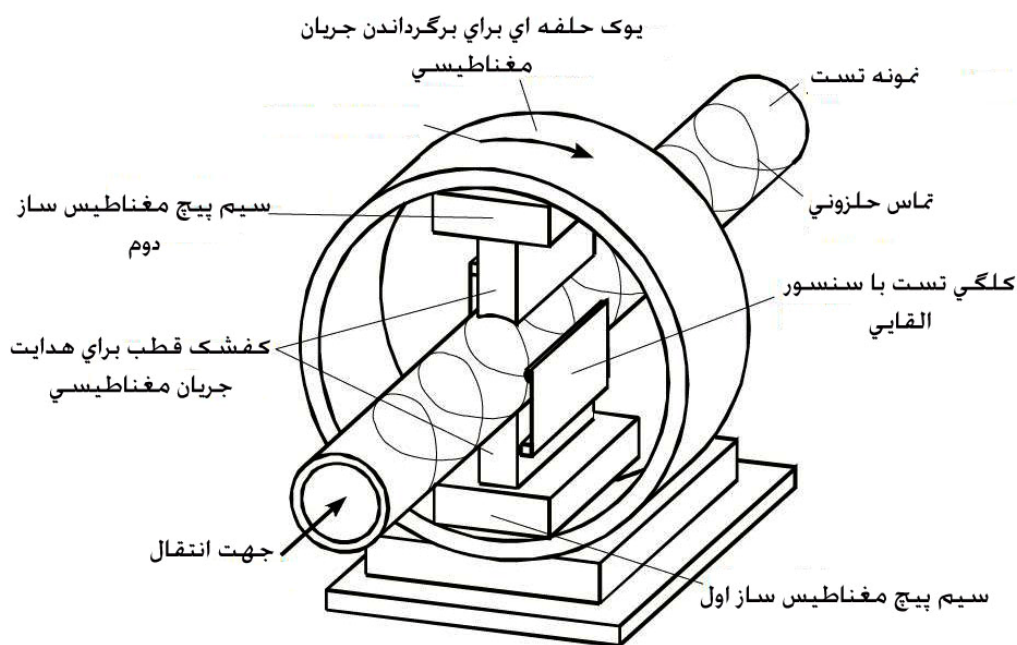
#### 4-4-1: مقدمه

اصول فیزیکی زیربنای این روش با اصول بکار رفته در روش تست با ذرات مغناطیسی مطابقت دارد، یعنی غیر یک نواختن های خطوط میدان مغناطیسی یک نمونه تست مغناطیس شده را آشکارسازی میکند.

یک قطعه یا بخش مورد نظر یک قطعه در این روش تست به داخل یک یوغ یعنی بین دو قطب یک الکترو مغناطیس آورده می شود. پراکندگی در خطوط دامنه که در اثر غیر یکنواختی یا خطا ایجاد می شود را به کمک حسگرهای بدون تماس ، بطور مثال توسط بوبین های القایی آشکار می کنند .



شکل ( 4-8 الف) : تست به کمک پراکندگی جریان مغناطیسی با تماس حسگرها. اندازه گیری ترک های عرضی



شکل (4-8 ب): تست به کمک پراکندگی جریان مغناطیسی با تماس حسگرها، اندازه گیری ترک های طولی

آشکارسازی مغناطیسی به کمک حسگرها نسبت به آشکارسازی با روش ذرات مغناطیس دارای مهم ترین امتیازات زیر است :

- قابلیت خودکار سازی خوب و سرعت تست بالا است ، یعنی لوله ها و میله ها را می توان با یک سرعت تا 3 m/s (حدود 10 km /h ) از دستگاه های بازرسی عبور داد.
- حسگرها اختلاف پتانسیلی تولید می کنند که با جریان بطور مستقیم متناسب است و به این جهت با عمق آسیب و خطر آفرینی آسیب تقریبا متناسب است . این خصوصیتی است که در اغلب روش های دیگر غیرمخرب مشاهده نمی شود.
- در لوله ها می توان به کمک حسگرهای جاروبکی پیرامونی عیوبی را نیز اثبات نمود که زیر سطح لوله قرار دارند.

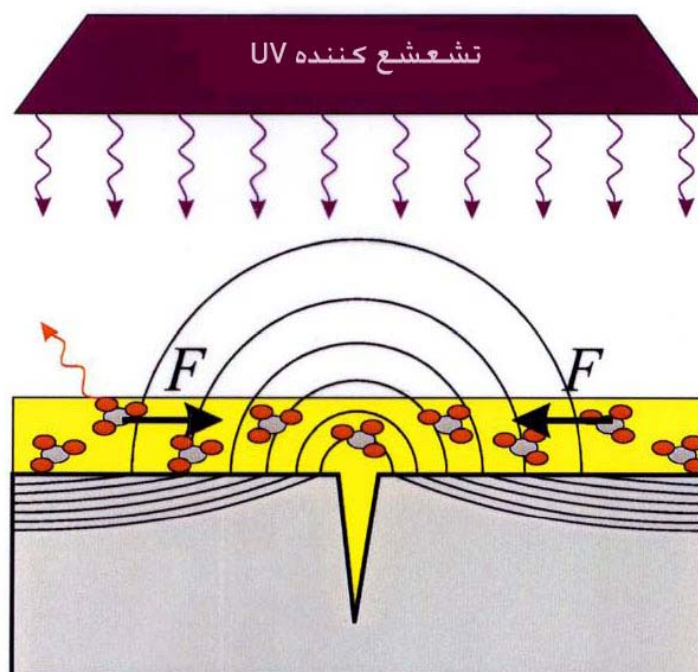
دستگاه های بازرسی مغناطیسی را طبق چگونگی مغناطیسی کردن نمونه های تست به شرح ذیل تقسیم بندی کرده اند :

- دستگاه های بازرسی با مغناطیس کردن میدان یکسو
- دستگاه های بازرسی با مغناطیس کردن میدان متناوب

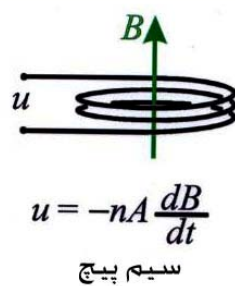
برای شناسایی عیوبی که در داخل و خارج سطوح لوله ها قرار دارند از مغناطیس کردن میدان یکسو استفاده می کنند. اگر قرار باشد فقط عیوب واقع در خارج از سطح مواد تو پر شناسایی شود مغناطیس کردن میدان متناوب بکار می رود.

#### **4-4-2: انواع حسگرها**

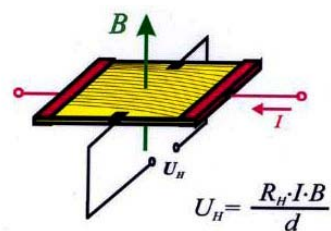
پراکندگی جریان را به کمک حسگرهای حساس به میدان مغناطیسی اثبات می کند. مقاومت ها و دیوذهای حساس به میدان مغناطیسی به عنوان حسگر بخوبی مناسب اند. بطور مثال Hall – sonden یا بوبین های القایی با یا بدون هسته فرومغناطیسی بکار رفته است. در یک دامنه وسیع تر اما فقط Hall – sonden یا Inductionssonob را بکار برده اند و در سال های اخیر اما تقریباً قریب به اتفاق به تنهایی از Inoluctionssoncle استفاده شده است. علت آن در سادگی ، ارزانی ، استحکام و غیروابستگی آن به حرارت دیده شده است .



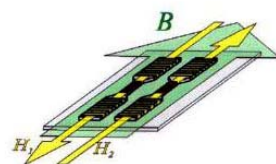
شکل ( 4-9 الف) : تست با ذرات مغناطیسی - اصول حسگرها



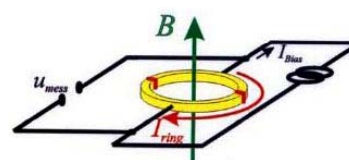
سیم پیچ



سنسور هال



سنسور فورستر



سنسور مغناطیسی بسیار دقیق

شکل ( 4-9 ب) : تست با ذرات مغناطیسی - انواع حسگرها

## 4-3: مدرج کردن (sizing)

دستگاه های بازرسی بکار رفته در آزمایش های مغناطیسی به کمک ردیابی حسگرها را به کمک خطاهای تست معینی مدرج می کنند. به کمک خطاهای تست معین کارهای زیر انجام می گیرد :

- دستگاه های تست را از نظر بدون اشکال بودن بررسی می کنند.
- دستگاه های تست را تنظیم می کنند.
- نتایج در مورد نسبت مفید بودن / اختلال را بدست می آورند.
- مرزهای اثبات عیوب طبیعی را با خطاهای تست معینی مقایسه می کنند.

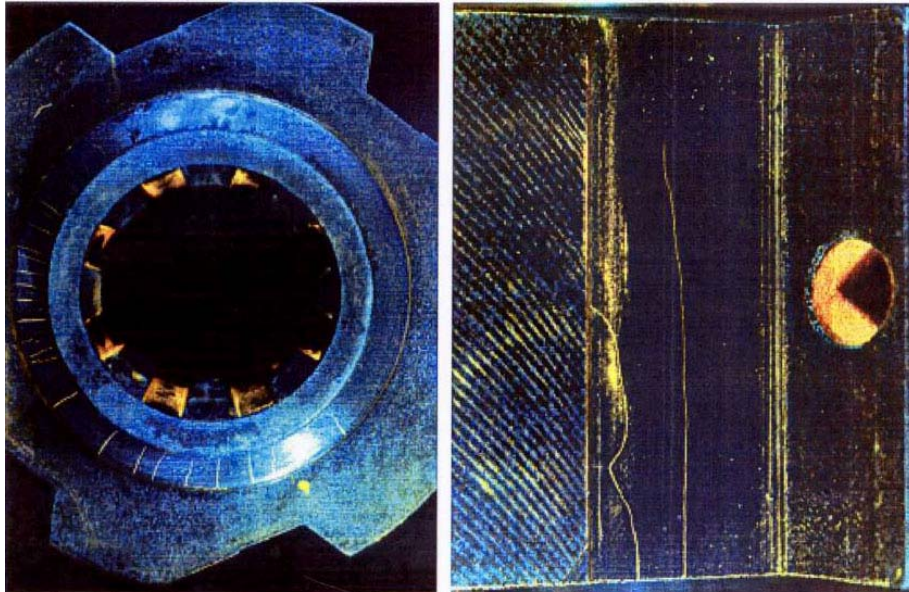
به عنوان خطای تست از بخش عیوب مصنوعی ایجاد شده که اغلب شکل " مقاطع / اره ای " هستند ، استفاده می شود.

زیرا این گونه عیوب بر خلاف عیوب طبیعی قابل تعریف بوده و از نظر تولید قابل تکرارند. برای وظایف مختلف بایستی خطاهای تست متفاوتی تعریف شود. برای تنظیم دستگاه بطور مثال معقول این است که یک خطای تست عمیق تر از آنی بکار می رود که بطور مثال برای اثبات حساسیت مرزی مجاز شده است .

مقررات سازمان های بین المللی بطور مثال API یا VDEh اغلب کوچکترین خطاهای تستی را نام می برند که در یک لوله خاص یا کیفیت لوله خاص بایستی قابل اثبات باشد.

طول خطاهای تست نبایستی از یک حداقل کم تر باشد. این به ویژه وقتی مهم است که یک لوله تست با خطاهای تست را با سرعت تست معمولی و در فواصل زمانی معین از داخل یک دستگاه آزمایش عبور می دهند تا دستگاه را از نظر قابلیت و کارایی عملکردی آزمایش کنند.

در شکل (4-10) نمونه آسیب های ظاهر شده نشان داده شده است و در شکل (4-11) نمونه آزمایش و تجهیزات بکار رفته برای تست مشاهده می شود.



شکل (4-10): تست با ذرات مغناطیسی - نمونه نشانه ها



شکل (4-11): تجهیزات بکار رفته در تست با ذرات مغناطیس



# فصل پنجم

## بازرسی با امواج ماوراء

## صوت

## 5-1: مقدمه

بازرسی با امواج ماوراء صوت یک روش صوتی برای پیدا کردن آسیب های مواد است که از ماوراء صوت (امواج مکانیکی از 0.2 Hz تا 50 MHz) استفاده می شود. تغییر خصوصیات صوت هنگام برخورد به سطح مرزی یک آسیب (بطور مثال یک حفره یا محل مواد محبوس شده خارجی، یک ترک یا سایر شکاف ها در شبکه) در داخل قطعه در دست بررسی پالس های صوتی تولید و منعکس کرده و به نوسان کننده سر حسگر دستگاه تست می فرستد ( که هم بعنوان فرستنده و هم بعنوان گیرنده عمل می کند).

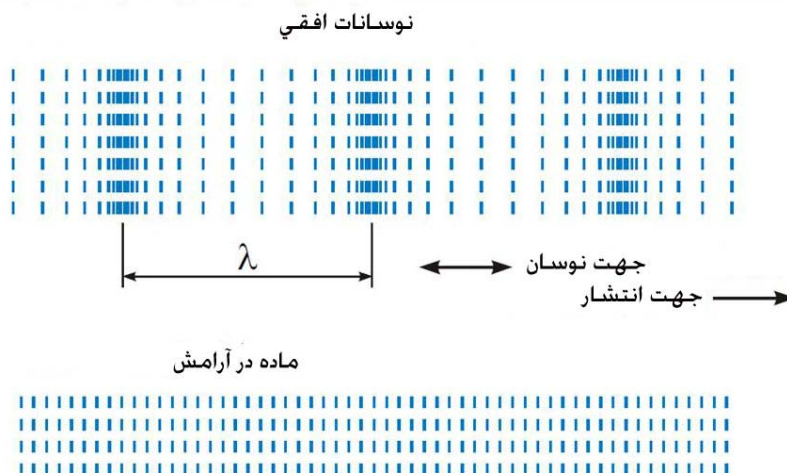
## 5-2: بررسی خصوصیات انتشار صوت

### 5-2-1: انواع امواج صوت

امواج صوتی در واقع گسترش ارتعاشات الاستیکی ذرات مواد است. در این ارتباط امواج در دو جهت گسترش می یابند. جهت ارتعاش یعنی جهتی که هر یک از ذرات در آن جهت ارتعاش می کنند و جهت انتشار یعنی جهتی که در آن جهت موج گسترش پیدا می کند. تابع این جهات دو نوع موج وجود دارد.

#### 1- امواج افقی

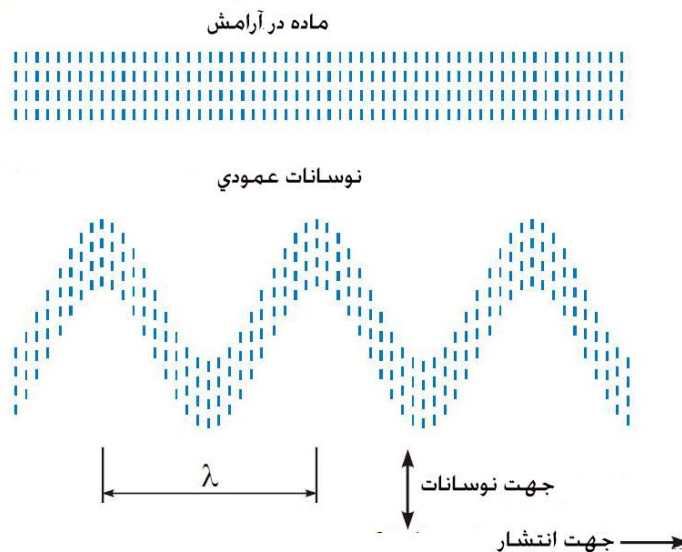
در این حالت جهت ارتعاش ذرات با جهت انتشار امواج بر هم منطبق اند. به عنوان نمونه از موج صوت معمولی در هوا نام برده می شود. به این جهت آن را یک موج فشار نیز نامیده اند.



شکل (5-1 الف): تست با امواج ماوراء صوت - امواج افقی

## 2- امواج عمودی

در این حالت جهت ارتعاش هر یک از ذرات عمود بر جهت انتشار امواج قرار دارد. ماده در این ارتباط بر حسب تنش های برشی بارگذاری می شود.



شکل (5-1 ب): تست با امواج ماوراءصوت - امواج عمودی

چون گازها و مایعات مقاومتی در مقابل بارگذاری برشی از خود نشان نمی دهند یک موج عمودی نمی تواند در این حالت منتشر شود، بلکه تنها امواج افقی گسترش می یابند. در مواد جامد اما امواج عمودی و افقی و ترکیبی از آن ها قابل گسترش هستند.

امواج عمودی یا افقی تنها وقتی ایجاد می شوند که انبساط ماده عمود بر جهت انتشار موج به مراتب بزرگ تر از طول موج باشد. در غیر اینصورت ترکیبی از دو نوع امواج ایجاد می شود که در ورق ها بطور مثال امواج سطحی یا امواج Lamb نامیده می شوند. در این ارتباط بین امواج انبساطی و امواج خمشی نیز تفاوت قائل شده اند.

یک ترکیب دیگر از امواج عمودی و افقی امواج سطحی هستند که فقط می توانند در امتداد یک سطح تشکیل شوند، اما قادرند یک سطح انحنایی را نیز دنبال کنند. عمق نفوذ امواج سطحی تقریباً برابر با نصف طول موج است.

## 5-2-2: بررسی رفتار امواج صوتی در سطوح مرزی مواد جامد

اگر یک موج صوتی بطور عمود بر سطح مرزی دو ماده برخورد کند یک قسمت از انرژی صوتی به ماده دیگر منتقل شده و قسمت دیگر آن پس از برخورد با سطح مرزی منعکس می شود. این که چه قسمتی از فشار صوتی عبور کرده و چه قسمت آن منعکس می شود تابع مقاومت امواج صوتی مواد مربوطه است. مقاومت امواج صوتی یا ساده تر مقاومت صوتی (Impedance) که ضریب مقاومت صوتی نیز نامیده می شود برابر است با :

$$W = \rho \cdot c = \frac{p^2}{2I} \quad \text{مقاومت صوتی}$$

$\rho$ : چگالی

$C$ : سرعت انتشار نوع صوت برخورد کننده

$P$ : فشار صوت

$I$ : انرژی صوتی

اگر یک موج صوتی موفق به عبور از یک ماده با مقاومت صوتی  $W_1$  شده و عمود بر سطح مرزی ماده با مقاومت صوتی  $W_2$  برخورد کند در این ارتباط می توان کمیت های زیر را تعریف نمود :

$$R = \frac{W_2 - W_1}{W_2 + W_1} \quad \text{ضریب انعکاس و برابر است با}$$

$$D = \frac{2W_2}{W_2 + W_1} \quad \text{ضریب نفوذپذیری و برابر است با}$$

ضریب انعکاس  $R$  قسمت انعکاس یافته صوت و ضریب نفوذپذیری  $D$  قسمت فشار صوتی عبور یافته را بدست می دهند.  $R$  می تواند مثبت یا منفی و  $D$  می تواند کوچک تر یا بزرگ تر از یک باشد، بر حسب اینکه آیا  $W_1$  یا  $W_2$  بزرگ تر باشد ، اگر مقاومت صوتی دو ماده برابر باشند ( $W_1 = W_2$ ) انعکاسی ایجاد نمی شود ( $R = 0$ ) و صوت بدون مانع از سطح مرزی عبور می کند ( $D = 1$ ).

در مواد مایع یا گازی شکل قسمت امواج عمودی مربوطه حذف می شود.

این واقعیت که  $D$  می تواند بزرگ تر از یک ( حداکثر 2) بشود. به نظر می رسد مخالف اصل انرژی باشد. انرژی صوتی  $I$  اما با فشار صوت  $P$  و مقاومت صوتی  $W$  پیوند خورده است بطوری که براحتی مشاهده می شود که در حفظ اصل انرژی احتمال دارد فشار صوتی در ماده دو بزرگ تر از مقدار آن در ماده یک بشود. هر چقدر تفاوت مقاومت های صوتی ماده و آسیب های داخلی بیشتر باشد ، آسیب ماده در دست بررسی بهتر نشان داده می شود. اکنون اگر یک موج صوتی با یک مانع برخورد کند یعنی بر موضعی که دارای خصوصیات دیگری است برخورد کند ممکن است پدیده های متفاوتی ایجاد شوند که تابع بزرگی مانع است. بین سه حالت زیر تفاوت قائل شده اند :

1- مانع نسبت به طول موج خیلی کوچک است. در این حالت مانع خللی بر انتشار امواج وارد نمی کند. موج به صورتی منتشر می شود که انگار مانعی وجود ندارد. این گونه موانع توسط ماوراء صوت قابل شناسایی نیستند.

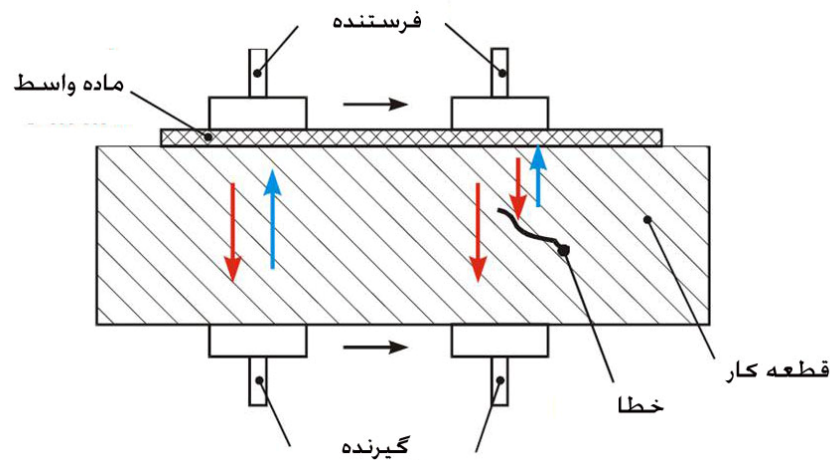
2- گستردگی مانع در حد ابعاد طول موج است. در این صورت نیز بر روند انتشار امواج در کل خللی وارد نمی شود ، اما انرژی موج کمی کاهش می یابد. این انرژی خود را به صورت موج کروی شکل جدید به مرکزیت مانع در همه جهت ها منتشر میکند. این عملکرد را " پراکندگی (stray)" نامیده اند. این پراکندگی را می توان مدل مانند به کمک قوانین انعکاس و قوانین محاسباتی بدست آورد. پراکندگی صوتی بطور مثال اغلب در تک تک کریستالیت ها در مواد فلزی ایجاد می شود.

3- اگر یک موج منتشر شده با مانعی برخورد کند که ابعاد آن بزرگ تر از طول موج باشد و فرض بر این باشد که مقاومت صوتی مانع تفاوت زیادی با مقاومت صوتی محیط پیرامونی داشته باشد ، در این صورت در اثر مانع یک انعکاس امواج ایجاد شده و پشت مانع عملاً دیگر انتشار امواجی دیده نمی شود و سایه آن با افزایش فاصله از مانع کوچک تر می شود. این پدیده به این صورت اتفاق می افتد که قسمت امواجی که در امتداد لبه مانع حرکت می کنند کمی انحنا پیدا می کنند ، یعنی خمیدگی پیدا کرده و بطور مایل در سایه وارد می شوند. به همین نحو بسته امواج منعکس شده بطرف جلو باز می شوند. این عملکرد را " شکست امواج " نامیده اند.

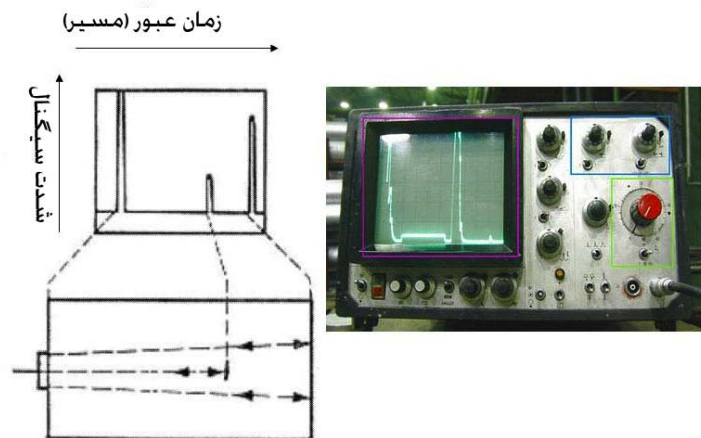
### 5-3: روش های بازرسی

#### 5-3-1: روش عبور صوتی

در روش عبور صوتی آن قسمتی از ماوراء صوتی که از قطعه نمونه عبور کرده را ارزیابی می کنند. برای این کار یک فرستنده صوتی در یک طرف قطعه نمونه قرار داده و در طرف دیگر آن از یک گیرنده صوتی استفاده می کنند. شدت صوت دریافت شده توسط گیرنده، در صورت وجود یک نقص به طور کامل یا بطور ناقص کاهش پیدا می کند.



شکل ( 4-2 الف): تست با امواج ماوراء صوت-روش عبور صوتی



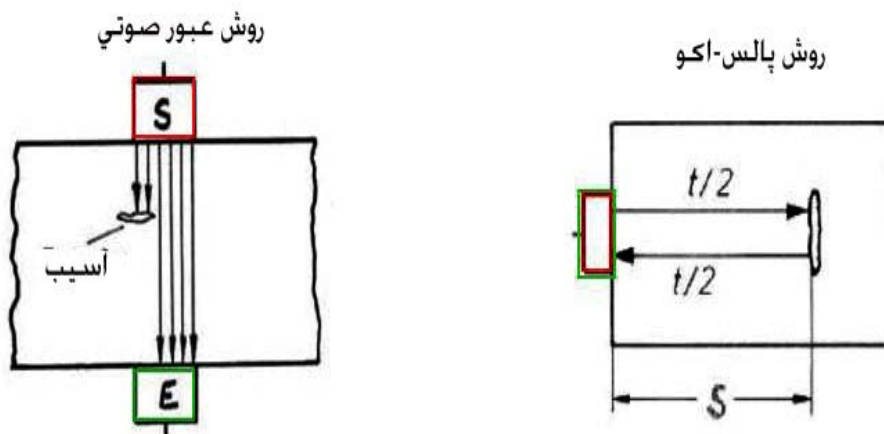
شکل ( 4-2 الف): تست با امواج ماوراء صوت-روش عبور صوتی

در این روش فرقی ندارد که برای تست از پالس های صوتی یا صوت پیوسته استفاده شود ، زیرا فرستنده و گیرنده از نظر الکتریکی از یکدیگر جدا هستند. در این روش نیز نمی توان تعیین کرد که آسیب در چه عمق از قطعه نمونه قرار دارد و دو مرز گذرگاه صوتی وجود دارد که بر شدت صوت گیرنده اثرگذارند یکی گذرگاه مرز فرستنده - قطعه و دیگری گذرگاه قطعه - گیرنده است. یک تنظیم دقیق هندسی بین فرستنده و گیرنده نیز ضروری است. یک تاثیر منفی دیگر بر قابلیت اثبات مواضع آسیب های کوچک توسط پدیده شکست ایجاد می شود.

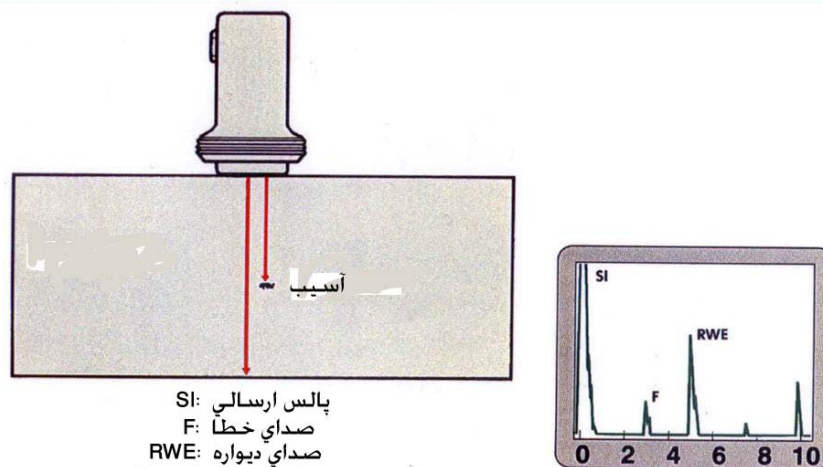
در روش عبور صوتی بین فرستنده امواج صوتی و مکان استقرار گیرنده تفاوت قائل شده اند. در یک روش فرستنده امواج صوتی در یک طرف نمونه و گیرنده انعکاسی در طرف دیگر ماده تست قرار دارد. اما در کاربردهای عملی روش پالس - اکو از اهمیت بیشتری برخوردار شده است. در این روش از یک ارتعاش کننده هم بعنوان فرستنده و هم بعنوان گیرنده استفاده می شود.

### 5-3-2: روش پالس - اکو (palse - echo)

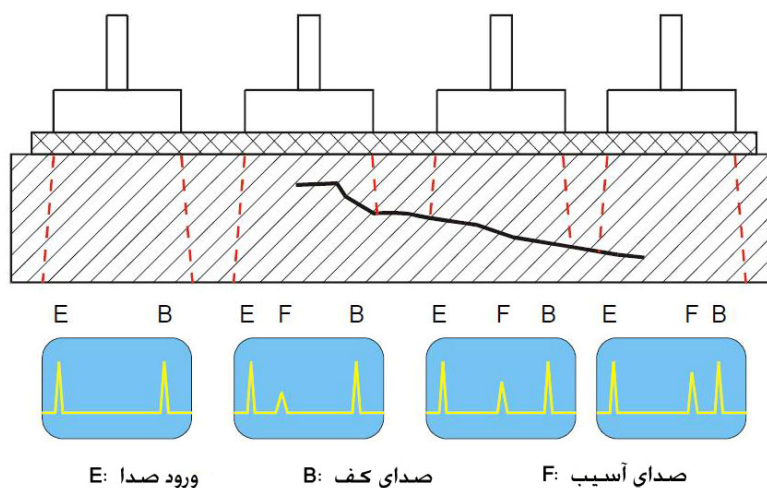
در این روش که روش پالس - انعکاس نیز نامیده شده باز از قسمت صوت انعکاس یافته برای ارزیابی آسیب استفاده می شود.



شکل (5-3-الف): روش پالس - اکو



شکل (5-3-ب): تست ماوراء صوت-روش پالس - اکو



شکل (5-3-ج): تست ماوراء صوت-روش پالس - اکو

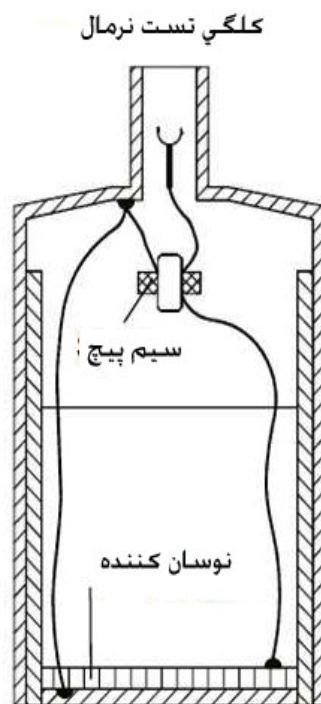
چنانچه بطور مثال یک ارتعاش کننده پیزوالکتریک هم بعنوان فرستنده و هم بعنوان گیرنده عمل می کند. اما چون در این روش انرژی دریافت شده به مراتب ضعیف تر از انرژی فرستاده شده است کار با صوت پیوسته امکان پذیر نیست و تنها صوت پالسی به کار می رود. یک پالس الکتریکی بسیار کوتاه مدت ، یک موج ماوراء صوت مشابه ایجاد می کند ، سریع بعد از آن در حالی که انتشار موج صوتی هنوز ادامه دارد همان ارتعاش کننده آماده دریافت انعکاس است. موج صوتی که از داخل ماده عبور می کند در صورت برخورد به یک سطح مرزی آسیب بطور کامل یا ناقص منعکس می شود. اگر سطح انعکاس عمود بر جهت انتشار موج صوتی قرار داشته باشد موج صوتی در جهت اولیه خود منعکس می شود و پس از یک مدت زمان عبور که تابع سرعت صوت ماده در دست بررسی و تابع فاصله

سطح ارتعاش کننده - انعکاس می باشد ، دوباره به ارتعاش کننده برگشته و به یک پالس الکتریکی تبدیل می شود. چون مدت زمان عبور قابل اندازه گیری بوده و سرعت صوت اغلب مواد نیز معلومند می توان با این روش فاصله سطح انعکاس را از ارتعاش کننده تعیین کرده و یا مکان منعکس کننده را شناسایی نمود. به همین دلیل ترجیحا از این روش در بسیاری از موارد استفاده می شود. علاوه بر این چون تنها یک سطح اتصال بین ارتعاش کننده و قطعه نمونه وجود دارد شرائط ارتباط اتصالات را بمراتب راحت تر می توان ثابت نگه داشت.

### 3-3-5: انواع حسگرهای بازرسی

- حسگرهای بازرسی نرمال:

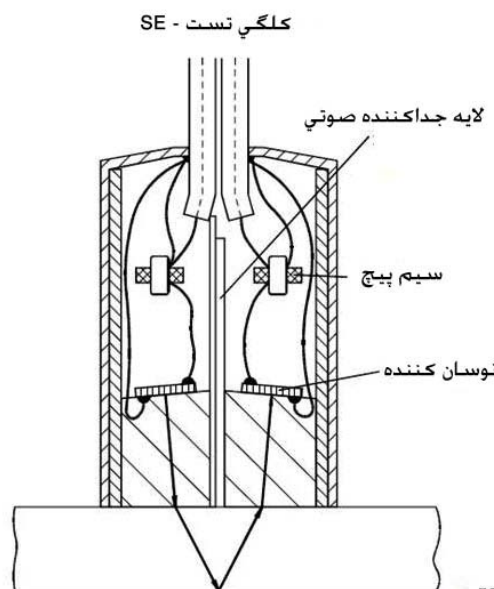
این حسگرها که دارای پوشش فلزی اند را از یک طرف بدنه دمپینگ چسبانده و سطح دیگر آنها را با اتصال یک لایه واسط محافظتی به قطعه کار متصل می کنند. کابل های اتصال سطح ارتعاش بین با پوشش فلزی از کنار بدنه دمپینگ به طرف بالا به سمت یک بوبین عبور داده می شود. بوبین تطبیق الکتریکی بین ارتعاش کننده و فرستنده پالس را بعهده دارد. دو کابل اتصالی دیگر به طرف پریزی که کابل به آن متصل شده می روند. این واحد که شامل ارتعاش کننده ، بدنه دمپینگ و بوبین است داخل یک پوسته قرار می گیرد.



شکل (4-5): تست ماوراء صوت - حسگر نرمال

## - حسگر بازرسی SE:

در این ارتباط دو حسگر بازرسی که از نظر الکتریکی و صوتی کاملاً جدا از هم هستند را در یک پوسته جمع می کنند. یک سیستم حسگر بعنوان فرستنده (S) و دیگری به عنوان گیرنده (E) عمل می کند. بنابراین در این حالت ترکیبی از روش های عبور صوتی و انعکاس پالسی داریم. بین ارتعاش کننده و قطعه کار قطعات به اصطلاح "پیش فواصل" از جنس مواد مصنوعی را قرار می دهند. به این صورت باعث می شوند که پالس فرستنده با نقطه صفر اندازه گیری سطح قطعه مشابه با حسگر بازرسی نرمال، بر هم منطبق نشوند.

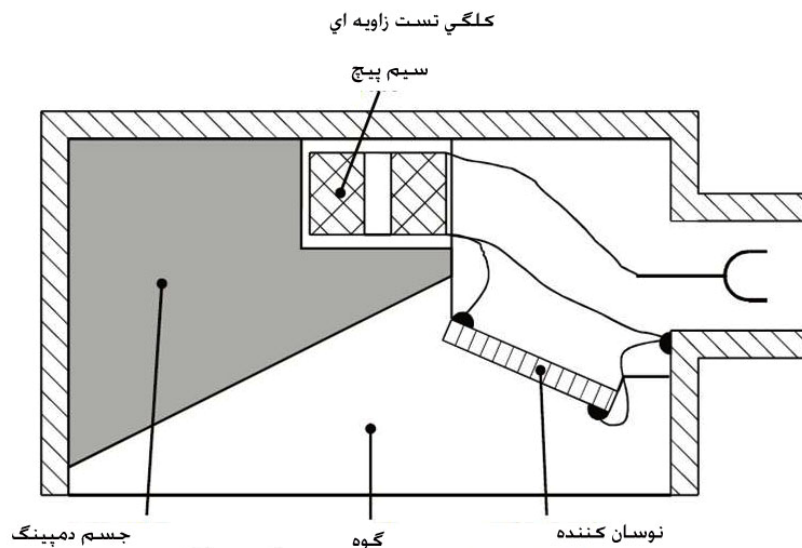


شکل (5-5): تست ماوراء صوت - حسگر SE

بخاطر نوع ساختمان و پیش فواصل حسگرهای بازرسی از نظر تئوری دارای حساسیت کمتری نسبت به حسگرهای بازرسی نرمال هستند، اما بخاطر این که پالس فرستنده ای روی صفحه نمایش وجود ندارد دارای بزرگ نمایی بهتری هستند بطوری که آسیب های موجود نزدیک به سطح نیز قابل شناسایی اند. یک هدف دیگر کاربرد آن ها در اندازه گیری ضخامت دیده شده است.

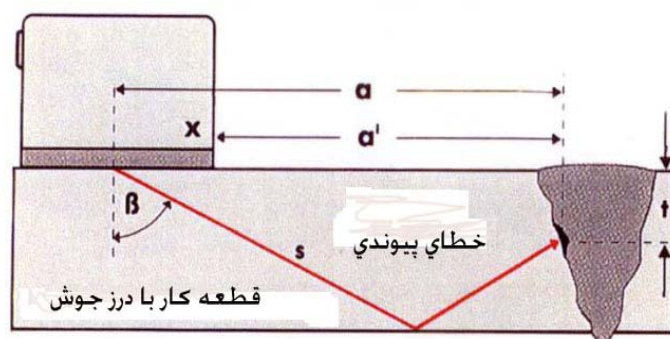
## - حسگر بازرسی زاویه ای

این نوع حسگر در اصل از یک کریستال ارتعاشی تشکیل شده که روی یک گوه از جنس Plexiglas بتونه کاری شده است. به این صورت یک نوع تولید صوت مورب نسبت به سطح قطعه نمونه ایجاد می شود.



شکل (5-6): تست ماوراء صوت - حسگر زاویه ای

قسمت صوت منعکس شده باقی مانده در Plexiglas یا توسط بدنه دمپینگ جذب شده ، یعنی به گرما تبدیل می شود ، یا این که توسط شکل دهی خاص Plexiglas مانع از آن می شوند که به طرف ارتعاش کننده برگشته و در آنجا نشانه های صوتی خطا ایجاد کند.



$$a = s \sin \beta$$

$$a' = a - x$$

$$t' = s \cos \beta$$

$$t = 2d - t'$$

S: مسیر صوت

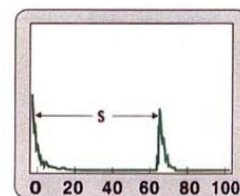
a: فاصله تصویری

a': فاصله تصویری کوتاه شده

t': عمق ظاهری

t: عمق واقعی

d: ضخامت قطعه



53

شکل (5-7): تست ماوراء صوت- صوت رسانی مورب

### 5-3-4. مواد واسط

ارتباط بین حسگرهای بازرسی با قطعات در دست تست توسط مایعات برقرار می شود. مایعات وظیفه دارند ناصافی های سطح - زبری ها را خنثی کرده و صوت را هدایت کنند. سه روش زیر بکار فته است :

1. در تست های عملی بایستی عبور ساده ماوراء صوت از حسگرها به داخل قطعه کار تضمین شده باشد. به همین دلیل نباید بین حسگرها و قطعه کار هوا وجود داشته باشد. به این جهت سطح را با یک ماده مایع یا خمیری می پوشانند. ماده ارتباط دهنده ایده آل ان ماده ای است که مقاومت صوتی آن برای یک ضخامت برابر با  $\lambda / 4$  برابر با متوسط هندسی مقاومت های صوتی دو ماده مجاور باشد. این ماده پیوند دهنده از مواد طبیعی به گلیسرین نزدیک ترین است. در عمل اما نشان داده شده که آب یا روغن هم بدون ضایعات چندانی به همان خوبی بوده اند.

خمیر کاغذ دیواری نیز که در صورت لزوم مقداری ماده ضد زنگ به آن اضافه می کند نیز، به ویژه در بازرسی با حسگرها خوب بوده است. زیرا با اضافه کردن مایع غلیظ مربوطه مانع ایجاد قطره می شود. علاوه بر این مواد ارتباطی مختلفی ارائه شده اند که **خواسته اضافی** معین دیگری چون بطور مثال بدون هالوژن یا بدون گوگرد یا **خواسته** قابل تحمل توسط **پوست** را نیز برآورده می کنند.

### 2. ارتباط توسط جریان آب

ارتباط توسط جریان آب یک نوع تغییر فناوری ارتباط مستقیم به صورت اضافه کردن یک شیار آب است در این روش حسگر بازرسی را روی یک پاشنه ی لغزشی چنان نصب می کنند که چند میلی متر عقب تر قرار گیرد تا خطر سائیدگی یا آسیب آن از بین برود. بعد شیار را با آب لوله پر میکنند به طوریکه یک ارتباط دائمی تضمین شود. به خاطر طول مدت زمان عبور صوت در شیار آب یکسری انعکاس های صوتی ایجاد می شود که طبق پالس های فرستنده گسترش می یابند ، برای اینکه قابلیت آشکار سازی نزدیک زیاد کاهش نیابد بایستی شیار آب تا حد ممکن باریک باشد. این روش هم در دستگاه های خودکار و هم در دستگاه های دستی بکار رفته است.

### 3. فن شناوری :

در تست ماوراء صوت به روش فن شناوری قطعه نمونه در دست تست را در یک مایع که اغلب آب است به طور کامل شناور کرده و آن را معمولاً در یک فاصله دورتر تحت تاثیر امواج صوت قرار می دهند. از سطح مرزی آب - قطعه اکنون یک انعکاس سطحی دریافت می شود که نقطه صفر صفحه نمایش را تشکیل می دهد. امتیاز روش فن شناوری در این است که یک ارتباط ثابت پیوسته برقرار می شود.

### 5-3-5: مدرج کردن و ارزیابی

آسیب هائی که وسعت آن ها از نقطه نظر ایجاد کوچک تر از قطر بسته شار صوتی باشند را تنها بطور غیر مستقیم می توان شناسایی کرد. برای این منظور دو روش بکار رفته است:

#### 1- روش AVG

در ارزیابی طبق روش AVG رفتار و دامنه انعکاس سطوح صفحات دایره ای شکل منعکس کننده عمود بر جهت انتشار صوت را بررسی کرده و از آن ها برای مقایسه استفاده می کنند. در این ارتباط فاصله (A)، تقویت لازم یا تفاوت تقویت (V) و بزرگی خطا (G) ، یعنی قطر صفحات دایره ای شکل را در ارتباط با هم قرار می دهند.

برای دامنه انعکاس (H) ناشی شده از منعکس کننده صفحه دایره ای شکل در محدوده میدان یک حسگر ارزیابی قانونمندی های زیر وجود دارد:

با :

$$H \sim F_{kr} \sim D_{kr}^2$$

$$H \sim 1/A^2$$

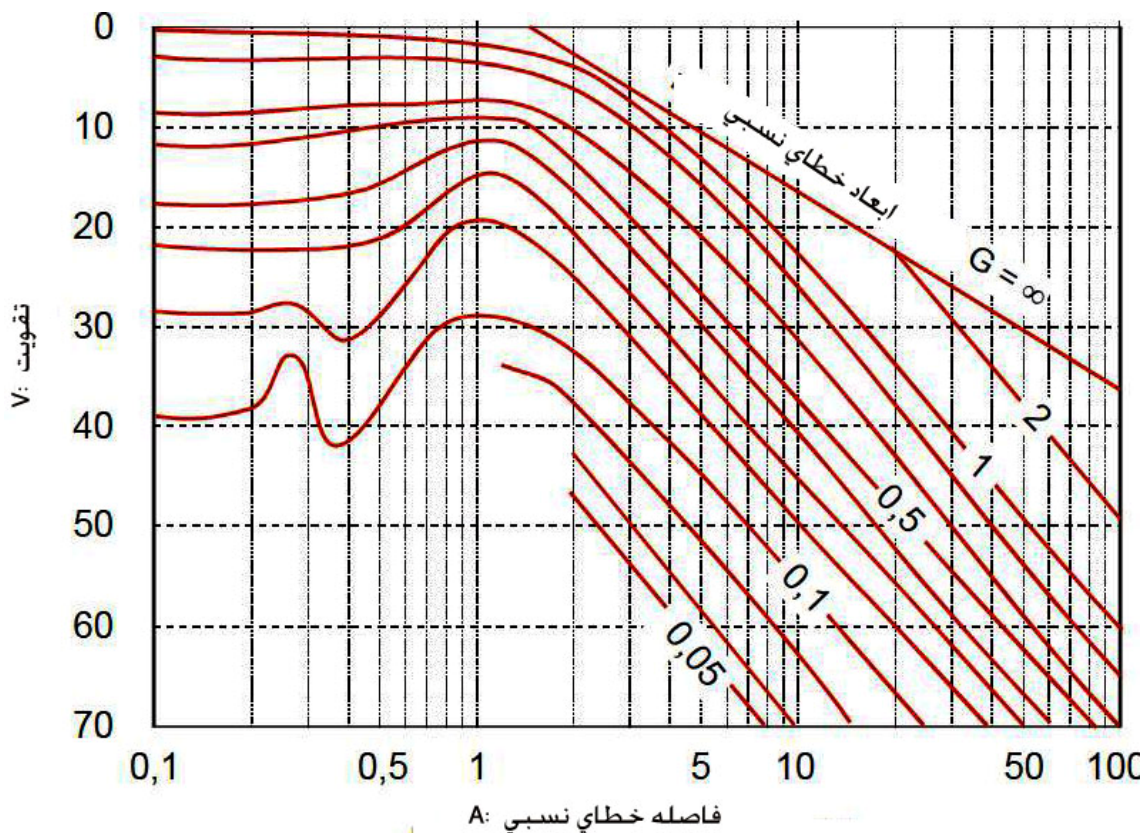
$F_{kr}$ : سطح صفحه دایره ای شکل

$D_{kr}$ : قطر صفحه دایره ای شکل

A : فاصله منعکس کننده گیرنده

قانون مجذور فاصله از همراهی خصوصیات محدوده دامنه ارتعاش کننده و منعکس کننده نتیجه می شود . اگر قطر صفحه دایره ای شکل برابر با قطر بسته صوتی یا بزرگ تر از آن باشد ، قانون فاصله به قانون دیواره برگشت (  $H \sim 1/A$  ) تبدیل می شود.

نمودار AVG در شکل (4-8) این رفتار بطور گرافیکی نشان می دهد. در این ارتباط فاصله A با مقیاس لگاریتمی نمایش داده می شود و تقویت V به dB است . از قانونمندی های فوق نتیجه می شود که با دو برابر کردن فاصله، انعکاس صوتی دیواره برگشت به نصف و یک انعکاس صوتی خطا به یک چهارم ارزش اولیه کاهش پیدا می کند. برای فاصله یکسان اگر قطر دو برابر شود ارتفاع انعکاس یک خطا چهار برابر شده و سطح انعکاس نیز چهار برابر می شود.



شکل (4-8): تست ماوراء صوت- نمودار AVG (صوت رسانی عمودی)

کاربرد روش AVG در عمل همیشه وقتی به ویژه ساده است که یک دیواره برگشت به عنوان منعکس کننده مقیاس در اختیار باشد تا بتوان بر مبنای آن عمل کرد. اما اگر قرار باشد از سوراخ های کف سطح به عنوان منعکس کننده مقیاس استفاده شود ، بایستی محور سوراخ ها کمتر از  $10^{-1}$  از جهت صدا انحراف داشته باشد.

در دستگاه های ماوراء صوت کلیه انعکاس های مقیاس و ارزیابی را به کمک تغییر تقویت در یک سطح مساوی تنظیم کرده و تفاوت تقویت و فواصل را خوانده و به نمودار منتقل می کنیم. باید توجه داشت که تضعیف صوتی به این نمودار منتقل نمی شود مگر اینکه از مقدار نامطمئنی به میزان  $2 \text{ dB}$  تا  $3 \text{ dB}$  تجاوز کند .

اگر فواصل به طول های میدان نزدیک و ابعاد به بزرگی قطر ارتعاش کننده مفید تعیین گردند ، می توان نمودار AVG را به یک شکل استاندارد تبدیل کرد. نمودار استاندارد شده را می توان بر موضوع تست مربوطه نیز تطبیق داد

، به این صورت که ارقام عددی فواصل A با طول میدان نزدیک  $L_0$  و مقادیر G در منحنی ها را در قطر ارتعاشی موثر D ضرب می کنند. نمودار AVG یا قسمت محدوده مورد نظر را می توان به صفحه نمایش (Plotter) یک دستگاه ماوراء صوت درجه بندی شده مربوطه ، به صفحات صوت اضافه شده انتقال داد. به خاطر نمایش خطی ارتفاع های صوتی و فاصله روی صفحه نمایش دسته منحنی های نمودار AVG به شکل انحنایی دیده می شوند.

نمودار های AVG برای حسگرهای تست SE را نمی توان ، به خاطر تاثیرات اضافی زاویه سقف ، فاصله پیش حرکت و ضخامت لایه جداساز صوتی ، استاندارد نمود، بلکه بایستی آنها را برای هر نوع حسگر و برای هر ماده بطور مستقل به دست آورد.

محدودیت برای قابلیت کاربرد روش AVG قبل از هر چیز وقتی وجود دارد که انتشار آزاد صوت دیگر اتفاق نیفتد (صفحه ها ، ورق ها ، میله ها و غیره) . منحنی های معمولی ویژه حسگرها و صفحات اضافی نسبت به فولاد هستند ، در موارد دیگر سرعت های صوتی بایستی نمودارهای استاندارد به حالت در دست تست تطبیق داده شوند . مهم این است که با روش AVG در هر حالت همیشه فقط یک کمیت "انعکاس جایگزین" و هیچ گاه کمیت واقعی یک محل آسیب را نمی توان تعیین نمود . علاوه بر این روش فقط برای انتشار صوت های عمودی قابل استفاده است.

## 2-روش مقایسه

در حالت انتشار صوت مورب و یا تغییر نسبت سرعت صوت از روش مقایسه استفاده می شود. برای این کار در یک جسم نمونه با خصوصیات ماده و سطح مساوی با قطعه تست در دست بررسی ( یا ماده) سوراخ های عرضی با ابعاد مختلف را در ارتفاع های مختلف تعیین می کنند . انعکاس خطا را در این صورت با اندازه گیری های انجام گرفته با قطعات تست مقایسه می کنند تا به این نحو به بزرگی آسیب واقعی دست پیدا کنند. این روش اغلب به ویژه در خارج که روش AVG به ندرت شناخته شده است بکار می رود.

### 5-3-6: امتیازات ، معایب و نمونه های کاربردی

در جدول (5-1) مهم ترین امتیازات و معایب روش تست با ماوراء صوت جمع بندی شده و نمونه های کاربردی معرفی شده اند :

| امتیازات:                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | معایب:                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- تست قطعات با دیواره های ضخیم</li> <li>- بسیار حساس برای تست ترک های سطحی</li> <li>- تقریباً تمام موارد قابل تست اند</li> <li>- اظهار نظر در مورد شکل ، نوع و بزرگی آسیب ممکن است</li> <li>- تست تمام خودکار ممکن است</li> <li>- اظهار نظر سریع و فوری در مورد نتیجه ممکن است</li> <li>- روش چندمنظوره و انعطاف پذیر است</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- اجرا نیاز به تنظیم و تطبیق بر مشکل تست دارد</li> <li>- نیاز به قطعه تست می باشد</li> <li>- فقط به طور هدفمند و برای آسیب های مشخصی و محدوده مشخصی کاربرد دارد</li> <li>- نوع آسیب و جهت آن بایستی معلوم باشد</li> <li>- محدوده تست بایستی در دسترس باشد(اتصال صوتی)</li> <li>- زحمت آموزش بالاست</li> <li>- تابع تجربه است</li> </ul> |
| <p>نمونه های کاربردی :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- تست قطعات آهنگری شده</li> <li>- تست ترک ها و امواج سطحی ، به طور مثال پره های توربین ....</li> <li>- تست چسب های اتصال ورق - ورق ، شبکه نخ های کربنی (زغال)</li> <li>- اندازه گیری خودکار ضخامت</li> <li>- تست زنگ زدگی به طور مثال ضخامت دیواره باقی مانده</li> <li>- اتصالات لحیمی کاری شده</li> </ul> |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |

جدول (5-1) : تست ماوراء صوت

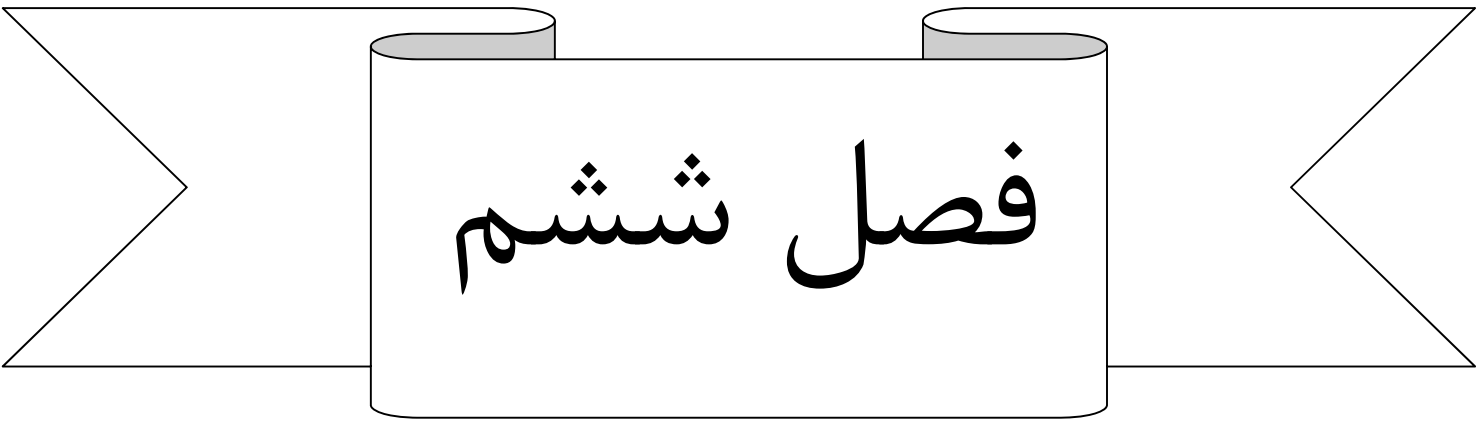
در اشکال (4-9) و (4-10) نمونه دستگاه ها و حسگرهای به کار رفته در تست ماوراء صوت مشاهده می شوند.



شکل (5-9): تست ماوراء صوت - نمونه دستگاه حسگر



شکل (5-10): نمونه دستگاه های ماوراء صوت



## فصل ششم

# بازرسی تشعشعی

## 6-1: مقدمه

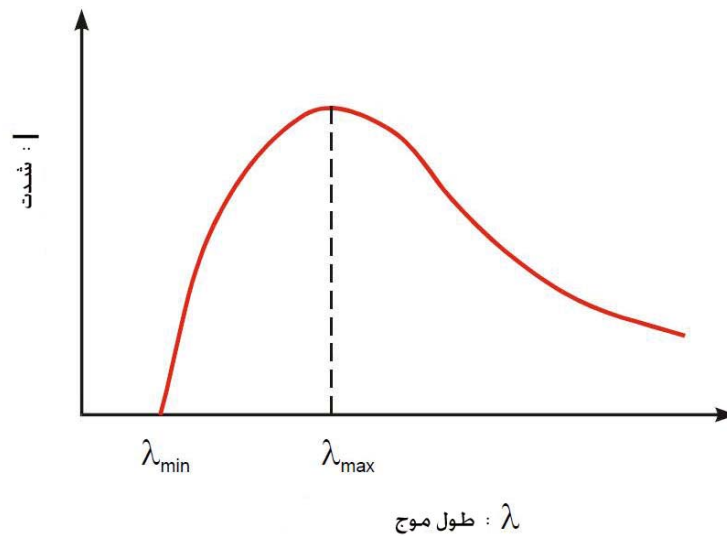
بازرسی با اشعه X (اشعه رونتگن) و بازرسی درشت شبکه ها با ایزوتوپ ها ، گروه روش های بازرسی تشعشعی را تشکیل می دهند. در دو روش نامبرده از اشعه X یا اشعه گاما استفاده می شود که طبیعت هر دو نوع ، اشعه های الکترومغناطیسی هستند که در موارد کاربرد در تست های غیرمخرب در محدوده انرژی یکسان قرار دارند و بیشتر بخاطر نوع تولیدشان با هم متفاوت اند.

به کمک این روش ها می توان ناهماهنگی ها و آسیب ها یا نواقص قطعات و درز جوش ها را به کمک پراکندگی و جذب اشعه های پر انرژی و تغییرات شدت در میدان اشعه ها را با وسایل نوری آشکار نمود. روش های تشعشعی را می توان از نظر ضخامت ماده قابل تشعشع که تابع نوع ماده است به طور محدود برای کلیه مواد به کار برد. به کمک این روش ها می توان نوع آسیب و بزرگی آن را بطور مستقیم آشکار نمود. اما عمق را به غیر از کمک گرفتن از رایانه ترموگرافی نمی توان تعیین نمود.

## 6-2: بازرسی با اشعه X ( اشعه رونتگن)

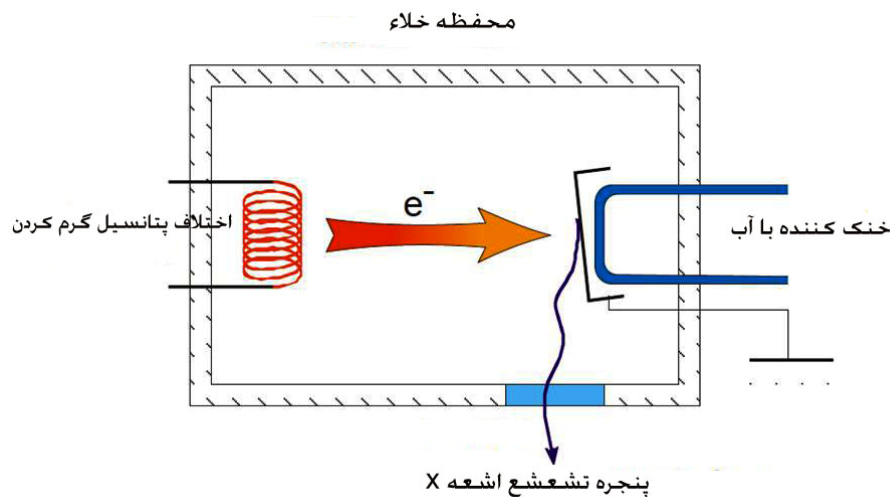
### 6-2-1: تولید اشعه X

چنانچه اشاره شد اشعه X در واقع امواج الکترومغناطیسی است که در مقایسه با نور قابل رویت دارای موج کوتاه تر و پرانرژی تری می باشد. این اشعه وقتی ایجاد می شود که از یک کاتد تنگستن در صورت اتصال به اختلاف پتانسیل الکتریکی فشار قوی ، الکترون با سرعت بالاتر به سمت آند شتاب بگیرد. از این اشعه ها برای تابش مواد استفاده می شود ، به این صورت که اشعه ها در قطعات معیوب نفوذ کرده و بطور متفاوت تضعیف می شوند. مکان های معیوب به صورت سیاهی های غلیظ روی فیلم شناسایی می شوند. محدوده طول امواج اشعه های الکترومغناطیسی که در تست رونتگن ، آنالیز ( شکست اشعه و آنالیز اجزای ) آنالیز طیفی (بکار می روند (spectral analysis) در شکل (6 - 1) مشاهده می شود.



شکل (6-1): تست تشعشعی - نمودار طیف ترمزی

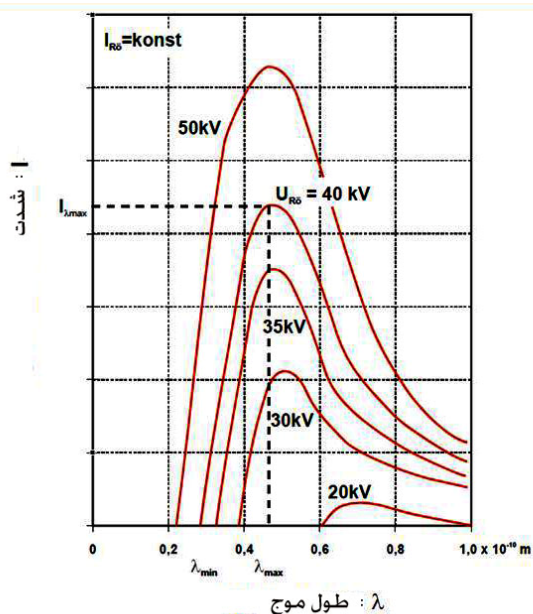
بنابراین در اثر عکس العمل های متقابل هنگام برخورد الکترون های شتاب دار بر یک سطح اشعه X ایجاد می شود. برای تولید صنعتی آن از لامپ های رونتگن استفاده می شد. اصول ساختمان یک لامپ رنتگن در شکل (6-2) نشان داده شده است.



شکل (6-2): تست تشعشعی - (روش اشعه X)

در یک محفظه خلا ، کابلی در اثر عبور جریان گرم شده و الکترون صادر می کند. این الکترون ها توسط یک اختلاف پتانسیل قوی به طرف آند شتاب داده می شوند. هنگام برخورد الکترون ها به آند در اثر فرم شدن و در اثر تاثیر متقابل با الکترون های ماده آند اشعه الکترومغناطیسی تولید می شود که اشعه X یا اشعه رونتگن نامیده شده است. طیف اشعه رونتگن از یک طرف از یک قسمت به اصطلاح **خود تشعشعی** تشکیل شده که برای شکست اشعه و برای آنالیز درخشندگی آن از اهمیت زیادی برخوردار است و از طرف دیگر از یک قسمت تشعشع قرمزی تشکیل

شده که برای بازرسی های تشعشعی به کار می رود. موقعیت طیف ترمزی نشان داده شده در شکل (3-6) تابع خصوصیات جنس آند نبوده بلکه فقط تابع اختلاف پتانسیل لامپ است.



شکل (3-6): تست تشعشعی (طیف ترمزی برای طیف شتابهای مختلف)

## 6-2-2: شناسایی آسیب ها به کمک اشعه X

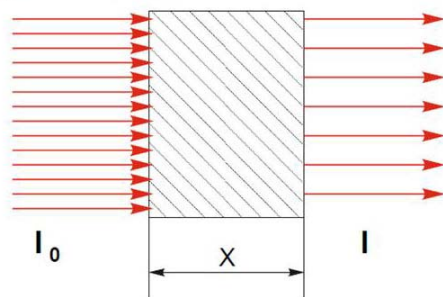
اگر جسمی به ضخامت  $x$ ، طبق شکل (4-6) تحت برخورد اشعه جهت دار با شدت  $I_0$  قرار گیرد، برای شدت تضعیف شده  $I$  عبور کرده از جسم چنین داریم:

$$I = I_0 \cdot e^{-\mu x}$$

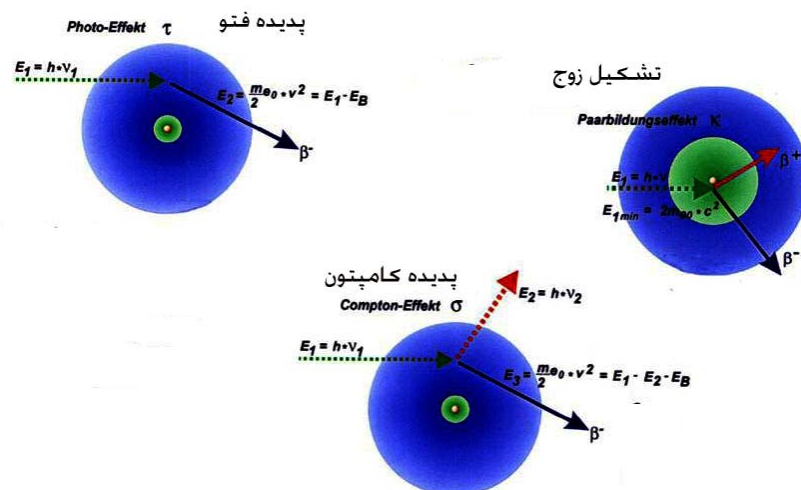
$\mu$ : ضریب تضعیف

$$I = I_0 \cdot e^{-\mu x}$$

$\mu$  = ضریب تضعیف



شکل (4-6 الف): تست تشعشعی - تضعیف تشعشع



شکل (6-4 الف): تست تشعشعی - تضعیف تشعشع

اشعه ها هنگام عبور از اجسام در اثر سه پدیده به شرح زیر تضعیف می شوند:

1- تاثیر فتوالکتریکی بخاطر جذب کوانت های رونتگن توسط تحریک ، این در اثر **اینونیزه سازی** اتم ها انجام می گیرد. یا در اثر تاثیر تشعشع در مواد تاثیر پذیر فتوشیمیایی ملکول ها و یا دانه کریستال ها یا در اثر تحریک تشعشع درخشانی ایجاد می شود که دیگر جهت دار نیست در این حالت اثبات تشعشع الکترومغناطیسی به کمک صفحه نوری و شمارنده انجام می گیرد.

2- در اثر پراکندگی کوانت های رونتگن با بطور الاستیکی بر پوشش الکترون ها و یا بطور غیر الاستیکی توسط پدیده  $comptoneffect^{2*}$

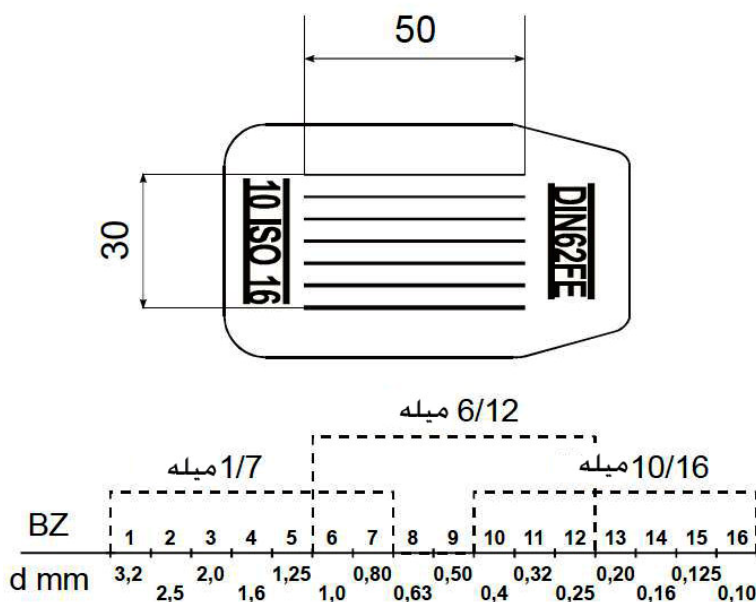
3- در اثر تشکیل زوج . در این ارتباط کوانت اشعه به یک الکترون و یک positron تبدیل می شود. قابلیت شناسایی آسیب ها در بازرسی با اشعه رونتگن بطور مستقیم تابع کیفیت تصویر بدست آمده است. کیفیت اشعه به کمک سایه - روشن (contrast) و شدت آن (sharpnes) مشخص می شود. هر دو کمیت بایستی تا حد ممکن بالا باشند. اگر استفاده از هر دو ممکن نبود ، اولویت با شدت بالا (sharpnes) می باشد. عوامل تاثیر گذار بر شدت عبارتند از : نوع ماده ، ضخامت ماده ، انرژی تشعشع ، سطح جسم و فاصله جسم.

<sup>2\*</sup> بزرگ تر شدن طول موج یک فتون هنگام پراکندگی بر یک الکترون با یک ذره باردار دیگر را پدیده comptoneffect نامیده اند

بدون وابستگی به ماده سایه - روشن بالا (contrast) توسط عوامل زیر ایجاد می شود :

- تشعشع نرم
- عدسی پراکندگی اشعه جلوی فیلم
- لایه سرب در پشت فیلم
- لایه تقویت کننده
- تصویربرداری شفاف (دقیق sharp)
- عوامل زیر بر شدت (sharpness) تاثیر گذارند:

- فاصله بهینه فیلم - اشعه ساز
  - فاصله کم فیلم - جسم
  - ابعاد کانونی کوچک
  - دانه بندی کوچک ماده فیلم
  - لایه های تقویت کننده فلز سنگین (لایه جلویی و لایه پشتی)
- روش قوس سیم روش اغلب بکار گرفته شده برای تعیین کیفیت تصویر و تعیین کوچک ترین آسیب هنوز رقابل شناسایی است . برای این کار طبق شکل (5-6) یک بسته سیستم بکار می رود که از یک پلاستیک و 7 سیم تشکیل شده است و هر یک از آن ها دارای قطر معینی است که بر یک تعداد معین کیفیت تصویر تطبیق دارد. قبل از نوردی بسته ها را در طرف فاصله دار فیلم از نمونه تست قرار می دهند . کوچک ترین سیم هنوز قابل شناسایی مقیاسی است برای کیفیت تصویر ، عدد کیفیت تصویر تابع ضخامت دیواره تحت تشعشع نیست.



شکل (5-6): بسته سیم ها و اعداد کیفیت تصویر

## 6-2-3 روش های مختلف بازرسی با اشعه X

برای بازرسی مواد با استفاده از اشعه X بین روش های زیر تفاوت قائل شده اند :

### 1- رادیوگرافی

اشعه های عبور کرده از قطعه تست در واحد گیرنده یک تصویر مخفی توزیع شدت ایجاد می کند. پس از پدیدار سازی آن یک سند قابل ارزیابی آشکار شده بدست می آید .

### 2- رادیوسکپی

اشعه انتشار یافته روی یک صفحه نمایش یک تصویر توزیع شدت ایجاد می کند که فوری و بطور مستقیم و یا به کمک وسایل انتقال نوری یا الکترونیکی آشکارسازی می شود. سند سازی تصویر اما با زحمات اضافی امکان پذیر است.

### 3- رادیومتری ، رایانه ترموگرافی<sup>3\*</sup>

شدت بسته اشعه تماس پیدا کرده با قطعه تست را تابع زمان و مکان اندازه گیری می کنند. این اندازه گیری ها را یا بطور مستقیم ارزیابی کرده و یا به کمک محاسبه به یک تصویر تبدیل می کنند که توزیع تراکم قطعه را در سطح برش نمایش می دهد.

## 6-2-4 دستگاه های رونتگن (اشعه X)

دستگاه های رونتگن را طبق ساختمان آن ها به دستگاه های جریان متناوب و دستگاه های جریان مستقیم تقسیم کرده اند.

### • دستگاه های جریان متناوب

دستگاه های جریان متناوب برای آزمایش های رادیوگرافی درزهای جوش در کشتی سازی ، صنعت تولید لوله ها و عموماً در صنایع فولاد یعنی برای کاربردهای متحرک طراحی شده اند. تحرک به این صورت امکان پذیر می شود که منبع تولید جریان قوی و لامپ رنتگن را در یک محفظه که در مقابل تشعشع حفاظت شده بنام واحد تشعشع (اشعه ساز ) نصب می کنند. به این شکل کابل های فشار قوی و اتصالات آن ها حذف می شود. واحد تشعشع به کمک کابل های فشار ضعیف طولانی تر به یک جعبه اتصال متصل می شود و تنظیم مقادیر کاری اختلاف پتانسیل

---

<sup>3\*</sup> ارزیابی عکس های رنتگن که از جهات مختلف گرفته شده را computer tomography نامیده اند.

لامپ ، جریان لامپ و زمان تشعشع را ممکن می نماید.دستگاه های مدرن اما مجهز به یک تنظیم کننده جریان هستند ، بطوری که تنظیم جریان لامپ دیگر لازم نیست. لامپ رونتگن را با اتصال مستقیم به یک ترانسفورماتور فشار قوی با یک اختلاف پتانسیل بالا و با امکان تغییر قطب تغذیه می کنند.لامپ رنتگن بدلیل طراحی فقط وقتی جریان را هدایت کرده و اشعه تولید می کند که اختلاف پتانسیل ترانسفورماتور در آند مثبت باشد.

به این جهت دستگاه های جریان متناوب تنها در طول نیمه موج دوم ، در به اصطلاح فاز کاری اشعه تولید می کند بنابراین در آهنگ فرکانس شبکه تشعشع پالسی تولید می شود.

این پدیده در بررسی های رادیوگرافی مشکلی ایجاد نمی کند ، زیرا در عمل زمان های عملکردی لازم در مقایسه با پرید شبکه طولانی هستند.ساختمان جمع و جور و ساده دستگاه دفع گرمای ضایعاتی ایجاد شده در آند لامپ را مشکل می کند.زمان اتصال بدون اقدامات خاصی حدود 50٪ است .

دستگاههای اشعه X (رونتگن)جریان متناوب در زمان فعلی تا حدود 300 kv اختلاف پتانسیل لامپ و 1/s قدرت ظاهری تولید شده اند.

#### • دستگاهای جریان مستقیم

دستگاه های جریان مسقیم برای کار دائم و اغلب برای کاربرد در یک محل ثابت طراحی شده اند. جریان فشار قوی اغلب از نظر فضایی مستقل از لامپ رونتگن تولید می شود. ترانسفورماتور فشار قوی در طرف ثانویه به یک مدار یکسوساز با خازن های صافی سازی متصل می شود به طوری که جریان مستقیم با نوسانات کمی تولید میشود. این جریان از راه کابل فشار قوی به لامپ منتقل می کنند.

بر حسب میزان اختلاف پتانسیل ماکزیمم مجاز لامپ رونتگن بین دستگاه های یک قطبی و دو قطبی تفاوت قائل شده اند. دستگاه های یک قطبی نیاز به تولید چنان فشار قوی دارند که نسبت به ارد یک فشار قوی منفی ایجاد می کنند. به این صورت می توان آند لامپ را که بارگذاری حرارتی آن بالا است ارد کرده و با آب خنک نمود.

برای اختلاف پتانسیل بالای 200kv مناسب تر این است که تولید فشار قوی بین دو ژنراتور تقسیم شود که یکی از آن ها نصف فشار قوی مثبت و دیگری نصف فشار قوی منفی نسبت به ارد را تولید می کند. جمع اختلاف پتانسیل را به لامپ که به طور عایق شده نصب شده منتقل می کنند. در این نوع اتصال باید آند با یک رونمن عایق خشک شود دستگاه های جریان یکسو در زمان حاضر تا 420kv اختلاف پتانسیل لامپ و 4.2kw قدرت ضایعات آند تولید شده اند.

## • آشکار سازها (detectores)

به عنوان آشکار ساز برای اشعه X صفحات تصویری نوری، فیلم رونتگن یا کاغذ و فیلتر درخشان بکار رفته اند.

### 1- آشکار سازی برای رادیو گرافی

امروزه فیلم و کاغذ رونتگن اهمیت زیادی پیدا کرده اند محدوده بزرگ قابلیت کاری فیلم های رونتگن بر این واقعیت استوار است که ارزیابی با نور انتقال یافته انجام گرفته و محدوده سیاه شده قابل ارزیابی آن ها بیشتر تابع شدت منبع نوری به کار رفته تعیین می شود.

همراه با میزان حساسیت فیلم شفافیت آن کاهش پیدا می کند. علت آن فتو الکترون های ایجاد شده در فیلم در اثر تشعشع و در نتیجه پراکندگی تشعشع ایجاد شده می باشد. با افزایش انرژی تشعشع ( = اختلاف پتانسیل لامپ ) محدوده رسیدن الکترون ها نیز و همراه با آن تاری نیز افزایش می یابد. به کمک تماس دوطرفه با لایه های سرب به ضخامت  $20\mu\text{m}$  می توان حساسیت را تقویت نمود فتو الکترون های جذب شده توسط لایه سرب از نظر فتوگرافی بسیار مفید است. لایه سرب نصب شده به سمت جسم علاوه بر تاثیر تقویتی باعث تضعیف کنترل شده امواج بلند پراکندگی تشعشع نیز شده و با این کار باعث افزایش سایه روشن تصویر می شود. کاغذ رونتگن به عنوان یک آلتر **ناتیو** ارزان قیمت نسبت به فیلم دارای یک محدوده سیاه شده قابلیت ارزیابی کمتری دارد زیرا نور منعکس شده بایستی دوبار از لایه فتوگرافی ظاهر شده عبور کند و انعکاس نور از سطح بررسی شده سایه روشن را کاهش می دهد. کاغذ رونتگن اغلب همراه با یک صفحه تصویر نوری به عنوان لایه تقویت کننده ارائه می شود. ترکیب با یک لایه سرب اما نتایج بهتری بدست می دهد. بخاطر قابلیت شناسایی به طور قابل توجه کم تر کاغذ رونتگن آسیب ها نسبت به فیلم از آن بندرت برای بازرسی مواد استفاده می شود ، اما در مقایسه اغلب برای کنترل موقعیت ها بکار می رود.

### 2- آشکار سازی برای فن رادیوسکپی :

سیستم آشکار سازهای زیر تاکنون اهمیت عملی پیدا کرده اند :

- صفحات تصویر نوری که بطور مستقیم با چشم غیر مصلح دیده می شوند.
- ترکیب یک صفحه تصویر نوری با یک دوربین تلویزیون بسیار حساس
- ترکیب یک تقویت کننده تصویر رونتگن با یک دوربین تلویزیون

### صفحات تصویر نوری :

در صورتی که سطح توقعات از نظر کیفیت آشکار سازی کم باشد صفحه تصویر نوری همراه با یک صفحه شیشه سربی ارزان ترین سیستم تصویر سازی می باشد. برای بررسی مستقیم فقط آن نوع مواد صفحه تصویر کارایی دارند که رنگ نور منتشر شده ی آنها متناسب با حساسیت طیف چشم باشد ، یعنی انتشار آنها در محدوده ی سبز - زرد

قرار داشته باشد. این ها صفحات تصویری هستند بر مبنای  $Gd_2O_2S$  و  $ZnCdS$ . برای یک دستگاه رونتگن جریان یکسو با 160 kw ضخامت دیواره های قابل عبور اشعه برای آلومینیم حدود 20 mm و برای فولاد حدود 6 mm است. کاربرد صفحه تصویر نوری فقط به بررسی فلزات سبک و مواد مصنوعی محدود شده است. یک عیب خاص بررسی به روش صفحه تصویر نوری مستقیم در این ضرورت نهفته است که دستگاه تست بایستی طبق نیازهای آرگونومی (اشعه مرکزی در ارتفاع چشم و جهت چشم) طراحی شده باشد.

### صفحات تصویر نوری با دوربین تلویزیون :

- ترکیب صفحه تصویر نوری با دوربین تلویزیون امتیازات زیر را به همراه دارد :
- روشنی تصویر توسط مانیتور در محدوده قابل رویت در نور روز آورده می شود. قدرت بینایی تست کننده به طور متناسب بالاتر است و تست کننده به این زودی ها خسته نمی شود.
  - به کمک افزایش سایه روشن الکترونیکی در محدوده روشنایی مورد توجه شناسایی آسیب بهتر می شود.
  - نمایش سایه روشن با یک فیلم رنتگن قابل مقایسه است
  - موقعیت جهت اشعه ی مرکزی دلخواه است.
  - بهینه سازی تصویر با ابزارهای الکترونیکی امکان پذیر است.
- به خاطر روشنایی کم صفحه تصویر نوری تنها لامپ های تصویر برداری حساس به نور قابل استفاده هستند.

### تقویت کننده تصویر رونتگن با دوربین تلویزیون :

تقویت کننده های تصویر رونتگن که برای اهداف پزشکی طراحی شده اند برای اهداف رادیوسکپی صنعتی نیز به کار می روند. دلیل اصلی آن حساسیت اشعه بسیار بالای آن است که برای قطعات دیواره ضخیم و تضعیف کننده ی شدید نیز امکان پذیر است و در مقایسه با صفحه تصویر نوری " باز " قابلیت بزرگ نمایی بالایی دارد. قابلیت کارایی بالای آن از ترکیب یک صفحه تصویر نوری ویژه با یک تقویت کننده نوری الکترون نوری در خلا نتیجه می شود. یک صفحه تصویر نوری گرد بسیار نازک تشکیل شده است از یک کریستال **ناتریم یدید** سوزنی شکل که جهت آن به موازات محور نوری است. بافت جهت دار تقریباً مانع یک پراکندگی نوری در چهارچوب لایه ی نوری می شود. صفحه تصویر نوری در ارتباط مستقیم با یک فتوکاتد قرار دارد. نوری که توسط تابش اشعه در صفحه تصویر نوری ایجاد می شود در فتوکاتد الکترون آزاد می کند که توسط یک دامنه الکترونی محور متقارن شدت گرفته و بر صفحه تصویر خروجی متمرکز می شود. انرژی جنبشی که توسط الکترون ها جذب شده در صفحه تصویر خروجی به نور تبدیل می شود به طوریکه با ضریب  $10^4$  تصویر نورانی تری ایجاد می کند.

تصویر خروجی تقویت کننده رونتگنی توسط یک اپتیک به صفحه تصویر ورودی لامپ گیرنده تلویزیون انتقال داده می شود.

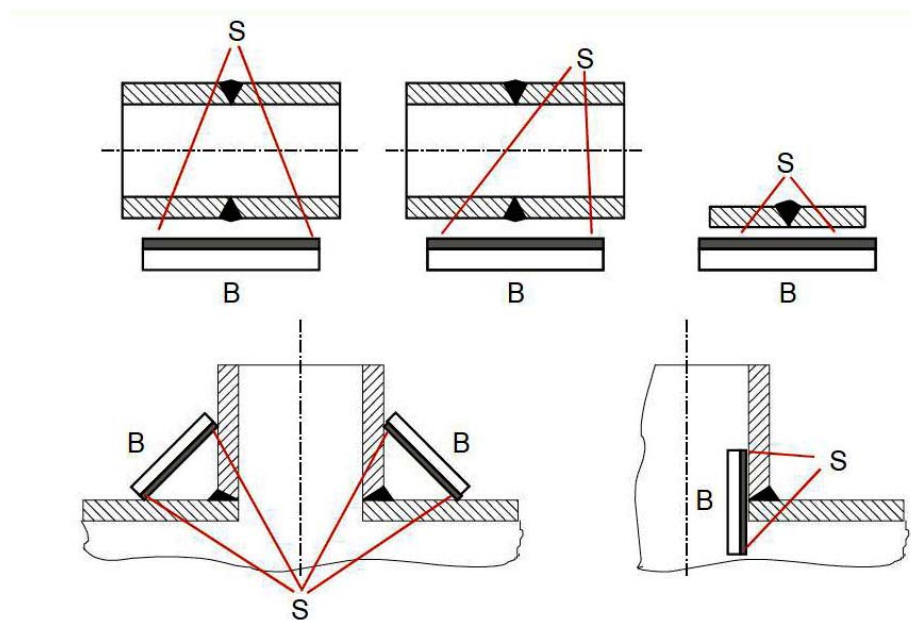
### 3- آشکارسازی برای فن رادیومتری :

آشکار ساز مناسب برای فن رادیومتری از ترکیب یک تلویزیون و یک لامپ الکترونی حساس به رونتگن (vidicon) تشکیل شده است. دوربین تلویزیون همراه با لامپ های viclicon را برای اجسام بسیار کوچک یا برای آن بخش هایی از یک جسم که قابلیت جذب آنها ضعیف است با امتیاز به کار می برند. دوربین مربوطه به یک لامپ گیرنده تصویر از نوع vridicon مجهز شده که صفحه تصویر ورودی آن از نظر ضخامت و ماده به اشعه رونتگن تطبیق داده شده است. قطر مفید به طور مستقیم قابل تشعشع صفحه تصویر ورودی برابر با 16 mm است و مرز بزرگ نمایی در لامپ های خوب حدود  $50\text{ }\mu\text{m}$  است.

در سیستم های تست رادیومتری شمارنده های درخشان به عنوان اندازه گیر اشعه **به ویژه** بسیار مناسب اند. به کمک آنها می توان از طبیعت کوانتومی اشعه رونتگن به خوبی استفاده کرد به این صورت که پردازش سیگنال برای ایجاد یک بیان آره یا نه در مورد وضعیت نمونه به وسیله ابزارهای فن دیجیتالی انجام می گیرد. یک بیان کلی درباره مدار ارزیابی الکترونیکی ممکن نیست، زیرا ارزیابی بیشتر تابع مسئله در دست بررسی انجام می گیرد. در موارد ساده شناسایی یک محدوده شدت کفایت می کند ، اغلب برای ارزیابی نیاز به یک پروفیل شدت می باشد. شمارنده درخشان همانند اغلب سایر آشکارسازها دارای بزرگ نمایی محلی نیست. به این جهت در اغلب موارد کاربردی باید یک **بسته** اشعه رونتگن را فشرده و با آن جسم را ردیابی نمود.

### 6-2-5: روش های اشعه دهی

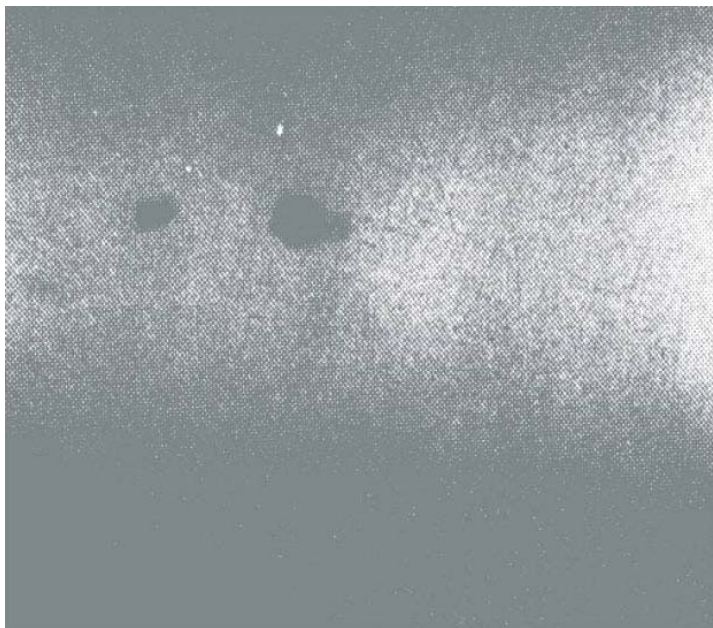
روش های اشعه دهی در شکل (6-6) جمع بندی شده اند.



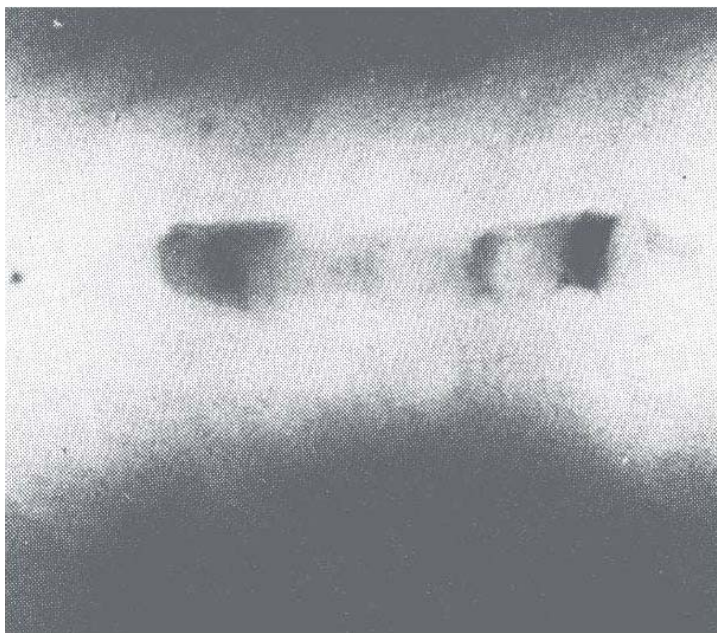
شکل (6-6): تست تشعشعی - روش های اشعه دهی

### 6-2-6: نمونه یافته های اشعه X در درز جوش ها

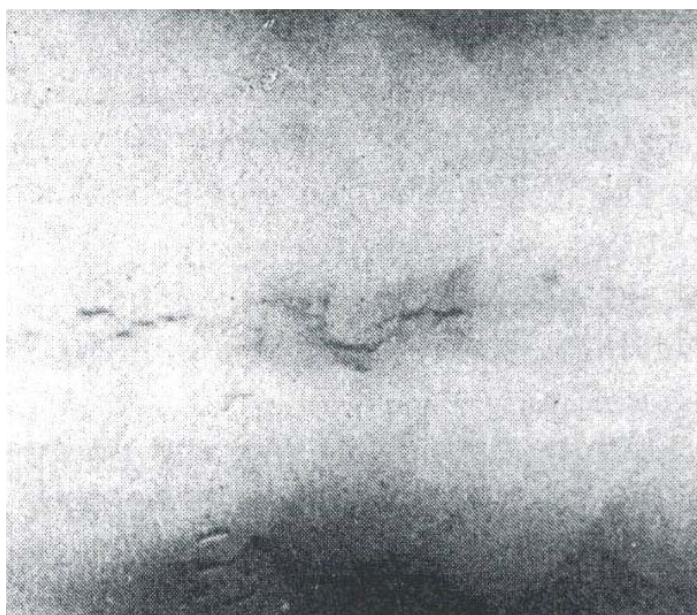
نمونه یافته ها به کمک اشعه X در شکل (6-7) نشان داده شده اند.



شکل (6-7-الف): تست تشعشعی - سوراخ موئین و محبوس شده گازی



شکل (6-7-ب): تست تشعشعی - پس زدن ریشه



شکل (6-7ج): تست تشعشعی - ترک در ریشه



St52, Wandd. 17 mm : تیر پاره شده یک پل

شکل (د-ر-س): تست تشعشعی - نمونه یک ترک



شکل (ه-ر-س): تست تشعشعی نمونه Ir194

شکست درز جوش مخزن فشار قوی (تصویر اشعه گاما) و جنس فولاد 10crmo910

## 6-2-7: امتیازات ، معایب و نمونه های کاربردی

امتیازات و معایب و نمونه های کاربردی روش تست با اشعه X (روننگن) در جدول (5-1) جمع بندی شده اند.

| امتیازات :                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | معایب :                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• نه تنها برای روش های سطحی بلکه قطعات پوشیده نیز قابل تست اند</li> <li>• سندسازی یافته ها به صورت فیلم</li> <li>• بزرگی و شکل آسیب قابل مشاهده است</li> <li>• دسترسی مستقیم به محدوده آزمایش لازم نیست</li> <li>• به ویژه مناسب برای آسیب های سه بعدی</li> <li>• مانند حفره ها ، ناهم جنسی ها ، ترک های حرارت و نقص جوش ها</li> <li>• روش چند منظوره و اینورسال</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• تنها ضخامت های محدود قابل تست اند</li> <li>• قابلیت شناسایی آسیب نسبت به ضخامت مورد تشعشع نسبی است.</li> <li>• برای ترک ها فقط به طور هدفمند قابل کاربرد است</li> <li>• موقعیت آسیب بایستی معلوم باشد.</li> <li>• تعیین عمق آسیب مشکل است</li> <li>• از نظر زمانی و تجهیزاتی روش پر زحمتی است</li> <li>• خطر تشعشع وجود دارد</li> <li>• زحمت آموزش بالاست</li> </ul> |
| <p>نمونه های کاربردی :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• تست ترک ها در قطعات پوشیده مانند بافت های چند لایه است</li> <li>• تست درز جوش ها و اتصالات لحیمی</li> <li>• کنترل اجسام خارجی</li> <li>• تست ماده</li> </ul>                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |

جدول (5-1) ویژگی های روش های تست تشعشعی

## 6-3: بازرسی درشت شبکه ها به کمک ایزوتوپ ها

اینگونه روش های بازرسی تشعشعی با اشعه های رادیواکتیو به عنوان منبع با اشعه های گاما کار می کند.

## 6-3-1: اشعه گاما و خصوصیات آن

از نظر فیزیکی تفاوتی بین اشعه های گاما و روننگن وجود ندارد . در صورت مساوی بودن انرژی کوانتومی خصوصیات آن ها یکسان است .از نظر تفاوت گذاری زبانی تنها می توان نوع ایجاد اشعه ها مبنای مقایسه آن ها قرار داد.

اشعه گاما هنگام تجزیه رادیواکتیو وقتی ایجاد می شود که ذرات  $\alpha$  یا  $\beta$  از هسته اتم شتاب بگیرند و هسته جدید ایجاد شده با انتشار اشعه گاما از وضعیت تحریک شده یا به یک وضعیت نامتعادل کم انرژی تر تبدیل شده و یا بطور مستقیم به وضعیت اصلی برگردد. تجزیه طبق قوانین آماری انجام می گیرد. یعنی نمی توان پیش بینی کرد کدام هسته رادیواکتیو موجود در نقطه زمانی معین تبدیل می شود. چون این تبدیل یک خاصیت هسته ای خالص است نمی توان برای این تجزیه بدون وابستگی به اینکه به طور طبیعی یا مصنوعی انجام شود- نه به طور شیمیایی و نه به طور فیزیکی تاثیرگذاری نمود.

هر انتشار دهنده ی رادیواکتیو را می توان با تعریف 5 مشخصه به طور دقیق تشریح نمود :

انرژی E منتشر شده اشعه گاما برابر با تفاوت انرژی  $\Delta E$  بین وضعیت تحریک و وضعیت واسط یا وضعیت اصلی است. چون تفاوت انرژی  $\Delta E$  تابع سطح انرژی هسته تعریف می شود، تشعش گاما تنها با ارقام انرژی معین ایجاد می شود. همانند اشعه X در اشعه گاما نیز انرژی به الکترون ولت (ev) بیان می شود.

فعالیت یک انتشار دهنده رادیواکتیو توسط تعداد مراحل تجزیه در واحد زمان تعریف می شود. واحد مقیاس اندازه گیری فعالیت Becquerel است. فعالیت ویژه یک انتشار دهنده ی رادیواکتیو توسط نسبت جرم / فعالیت تعریف می شود. فعالیت ویژه بر شرایط گیرنده هندسی تاثیرگذار است. هر چقدر عنصر انتشار دهنده با فعالیت کافی و ثابت بودن فاصله فیلم - کانون کوچک تر باشد، کیفیت تصویر بهتر می شود.

نیمه عمر زمانی مدت زمانی را مشخص می کند که در آن فعالیت انتشار دهنده به نصف مقدار اولیه کاهش یافته است. در انتشار دهنده های رادیواکتیو شناخته شده فعلی نیمه عمر بین قسمت ثانیه ها و  $10^9$  سال نوسان دارد.

نیمه ارزش لایه نیز به طور مشابه تعریف می شود. ضخامت لایه یک ماده جذب کننده است که اشعه تضعیف شده به نصف کاهش یابد.

ضریب ثابت قدرت (Dosis) واحد اندازه قدرت واحد ین را در یک متر فاصله از انتشار دهنده نسبت به فعالیت و واحد زمان به دست می دهد.

انتگرال گیری قدرت ین نسبت به زمان بنابراین واحد اندازه (Dosis) را به دست می دهد.

• تابنده های گامای طبیعی :

کلیه نوکلیدهای (Nuklid) موجود در طبیعت با یک عدد ترتیبی بزرگ تر از 83 به طور طبیعی رادیواکتیواند. این عناصر خود را با انتشار اشعه های  $\alpha$  و  $\beta$  به یک عنصر جدید تبدیل میکند. در بسیاری از موارد آن ها در یک وضعیت تحریکی قرار داشته و بعد تحت تاثیر انتشار اشعه  $\gamma$  به وضعیت اصلی برمیگردند.

برای تست درشت شبکه ها فقط رادیوم از سری اوران و Mesother از سری تورיום مطرح اند. چون در کلیه سری های تجزیه طبیعی به عنوان محصول واسط گازهای رادیواکتیو نیز منتشر می شود ، باید هنگام کاربرد این گونه انتشار دهنده ها شرائط چنان تدارک دیده شود که عناصر کاملاً نسبت به هوا عایق شده و محبوس شده باشند.

- تابنده های گامای مصنوعی :

موارد کاربرد انتشار دهنده های رادیواکتیو طبیعی به دو دلیل محدود است : اولاً هزینه ی تهیه آن ها بسیار زیاد است و دوماً تعداد زیادی مواد رادیواکتیو مصنوعی انتشار دهنده گاما با انرژی های کوانتومی مختلف قابل کاربرد در صنعت تولید شده اند. چهار انتشار دهنده مصنوعی که تقریباً فقط برای تست درشت شبکه ها به کار می روند عبارتند از :  $^{164}\text{Yb}$  ،  $^{192}\text{Ir}$  ،  $^{137}\text{Cs}$  و  $^{60}\text{Co}$  که توسط واکنش هسته ای با نوترون ، ذرات  $\alpha$  ، پروتون یا پرتاب توسط فتون تولید می شوند. یا اینکه به عنوان محصولات تجزیه هنگام تجزیه اوران به دست می آیند.

## 6-3-2: دستگاه های گاما رادیوگرافی

چون تابنده های رادیو اکتیو برخلاف دستگاه های رونتگن که قابل خاموش کردن هستند ، همیشه تشعشع دارند طراحی دستگاه های مربوطه بایستی به خاطر حفاظت از تشعشع کاملاً متفاوت باشد . سه خواسته برای طراحی دستگاه های گاما مطرح است :

- 1- دسترسی ساده کاربر (ابعاد کوچک ، وزن کم )
  - 2- موارد خرابی کم ( بدون مکانیک پیچیده )
  - 3- حفاظت کافی تشعشع
- از نظر عملکردی می توان در هر دستگاه گاما چهار قسمت را از هم متمایز کرد :
- 1- منبع تشعشع ، یعنی ایزوتوپ که شکل سیلندری در ابعاد میلی متری دارد
  - 2- محفظه تشعشع ، که ایزوتوپ در آن توسط یک ایستگاه راکتور یا توسط شرکت تحویل دهنده محبوس شده و عایق شده است
  - 3- نگهدارنده منبع ، که نگهدارنده محفظه تشعشع است
  - 4- دستگاه ، دستگاه بایستی نگهدارنده محفظه منبع بوده و تابع مقرارت حفاظت تشعشع باشد
- منابع تشعشع معمولاً به شکل استوانه با ابعاد 3 mm – 0.5 هستند . این منابع طبق هدف کاربردی در محفظه های تابنده های مختلفی مونتاژ می شوند . پرکاربردترین محفظه های تابنده استاندارد کوچک اند اما دارای این امتیاز هستند که تقریباً در کلیه دستگاه های گامای ارائه شده در بازار بدون مشکل می توانند به کار روند.

محفظه ها از جنس فولاد ضد زنگ ساخته می شوند و بعد از نصب تابنده تحت گاز محافظ جوشکاری می شوند بطوریکه از نظر عایق بودن تضمین شده اند. کار با این محفظه ها وقتی در آغاز شود که در حالت معمولی نتواند

خود به خود باز شده و منبع را آزاد کند. علاوه بر این نگهدارنده های منبع آنقدر بزرگ اند که می توانند منقش به یک اخطار باشند. به دلایل هندسه تصویر بایستی تابنده ها با مقدار فعالیت کافی تا حد ممکن کوچک باشند .

دستگاه ها برای نگه داشتن پایه منبع یا پوسته تابنده به شکل های مختلفی طراحی شده اند. ساده ترین طرح از یک محفظه سربی با یک هسته تنگستن یا اوران تشکیل شده است که در مرکز آن یک نگهدارنده منبع یا پوسته تابنده سوار شده است .

برای اینکه تابنده در وضعیت کاری آورده شود ، باید نگهدارنده منبع یا پوسته تابنده به کمک یک دستگاه قابل پیچ شدن از محفظه سربی خارج شود. به دلایل راحت تر هم نگهدارنده منبع و هم پوسته تابنده در یک به اصطلاح کلاهک نوردی به نحوی نصب می شوند که خروج تشعشع ترجیحا در جهت جسم در دست تابش انجام گیرد.

### **6-3-3: آشکارسازی تشعشع گاما**

برای آشکارسازی تشعشع گاما ، آشکارسازهای یکسانی مشابه با تست اشعه X به کار می برند.

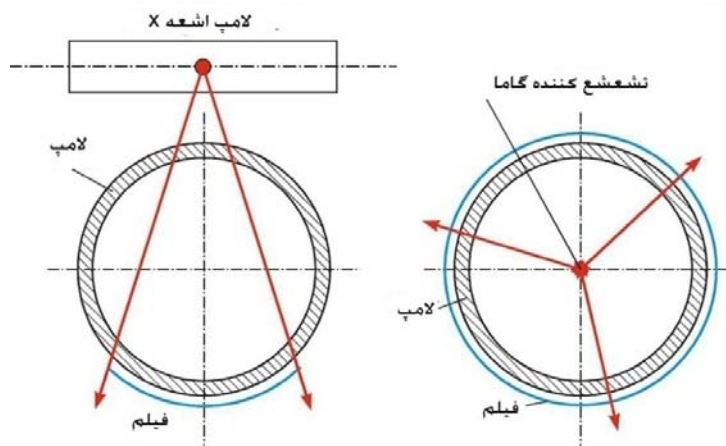
### **6-3-4: کاربرد تشعشع گاما برای بازرسی**

تصمیم بر اینکه برای بازرسی آیا اشعه X یا اشعه گاما انتخاب شود تابع خواسته های کیفیت تصویر و عوامل اقتصادی و محلی است . در کلیه مواردی که دستگاه های بازرسی باید در محل هایی که به سختی در دسترس هستند به کار روند و در آن جاهایی که نصب دستگاه مشکل بوده و نیاز به زمان های فرعی زیادی داشته باشد تشعشع گاما به خاطر سادگی دستگاه ها در مقایسه با تشعشع رونتگن ارجحیت دارند.

در تست رونتگن اما می توان کیفیت تشعشع را به کمک تنظیم اختلاف پتانسیل لامپ تغییر داد. هرچقدر اختلاف پتانسیل لامپ بالاتر باشد تشعشع رونتگن در اختیار سخت تر و پراورزی تر است. به این ترتیب می توان شرایط کار را با یک تغییر فاصله فیلم - کانون تا حد زیادی بدون افزایش قابل توجه زمان های نور دهی بر ضخامت دیواره جسم تطبیق داد. در تست گاما در مقایسه کیفیت قابل تاثیر گذاری نیست و علاوه بر این انرژی تشعشع را نیز نمی توان تغییر داد.

بنابراین محدودیت زیر نتیجه می شود :

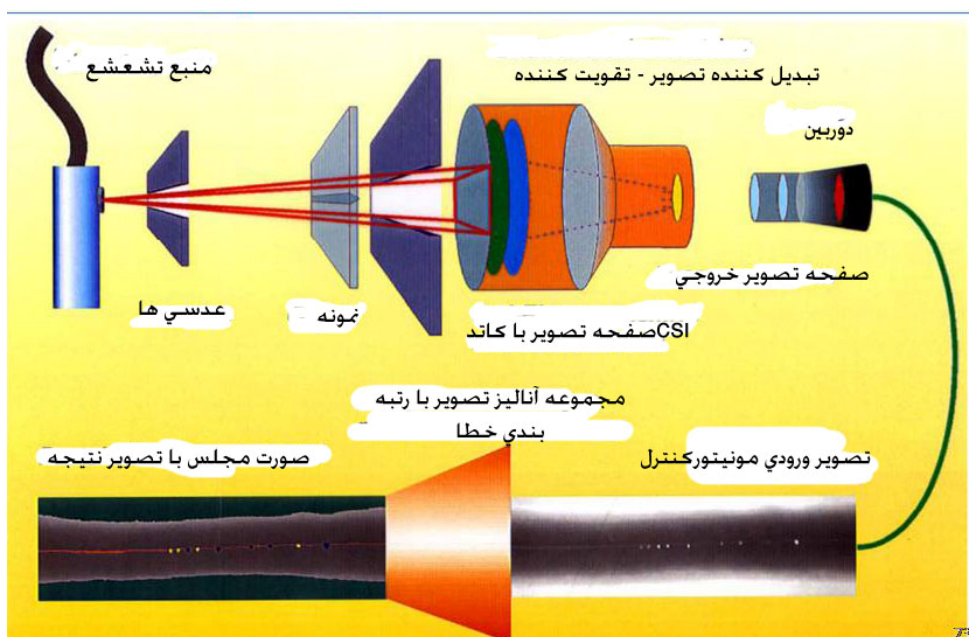
برای درز جوش های طولانی و تخت یا درز جوش های تقریبا تخت ، به طور مثال در طراحی پل ها که در آن ها به دلایل اقتصادی بزرگترین طول فیلم (72cm) به کار می رود تست رونتگن ارجحیت دارد. در مواضعی که به سختی در دسترس است و در ساختار های مشکل مثل قطعات چدنی ارجحیت با بازرسی با گاما خواهد بود. این قبل از هر چیز در محدوده درز جوش لوله ها مورد پیدا می کند ، شکل (6-8) .



شکل (9-8) : تست تشعشعی - تست شبکه درشت با ایزوتوپ

اما بایستی به این نکته توجه داشت که برای ضخامت دیواره کم تابش اشعه X که نرم تر است همیشه تصویر سایه روشن منحنی تری نسبت به تابش گامای نسبتاً سخت تر ایزوتوپ های رادیواکتیو معمولی ایجاد می کند. اما به دلایل اقتصادی برای ضخامت دیواره کم نیز تشعشع گاما بکار می برند ، بطوری که بایستی یک کاهش کیفیت سایه - روشن و با آن یک کاهش کیفیت تصویر و کاهش قابلیت شناسایی آسیب را تحمل کرد.

در اشکال (6-9) نمونه ساختار یک تست تشعشعی و نمونه دستگاه های بکار رفته نشان داده شده است.



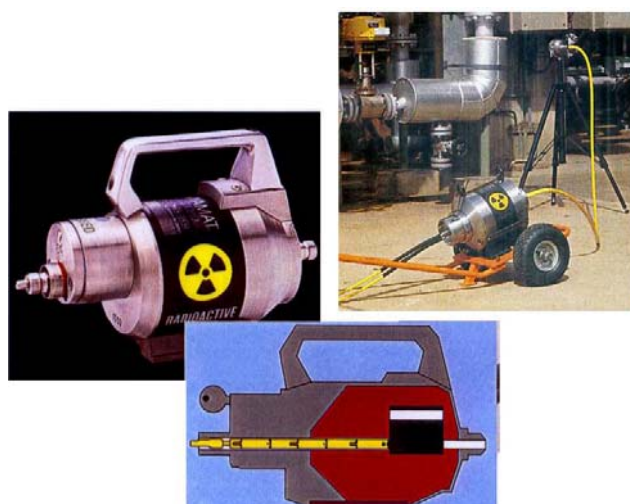
شکل (9-الف) : تست تشعشعی - شماتیک ساختار یک تست



شکل ( 9- ب): تست تشعشعی - نمونه دستگاه ها



شکل ( 9- ج): تست تشعشعی - نمونه کاربردها



شکل ( 9- د): تست تشعشعی - نمونه دستگاه ها

# فصل هفتم

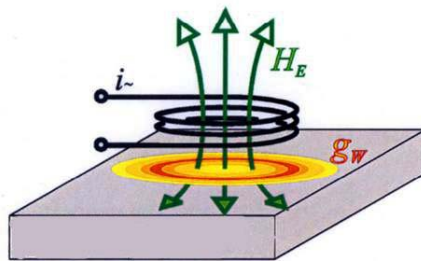
بازرسی یا جریان

گردابی

بازرسی با روش جریان گردابی برای تست کلیه مواد هادی جریان الکتریکی مناسب است.

## 7-1: اصول بازرسی یا جریان گردابی

اگر از یک کابل جریان الکتریکی عبور کند بطور مثال از یک سیم در این صورت در پیرامون این سیم یک طیف مغناطیسی H ایجاد می شود. اگر سیم به صورت حلقه سیم پیچی شود طیف ایجاد شده تقویت می شود. یک جریان متناوب یک طیف مغناطیسی متناوب بدنال دارد. اگر یک چنین طیف متناوبی از حلقه سیم عبور کند ، در این حلقه اختلاف پتانسیل متناوب (جریان گردابی) القا می کند، اشکال (7-1) و (7-2).



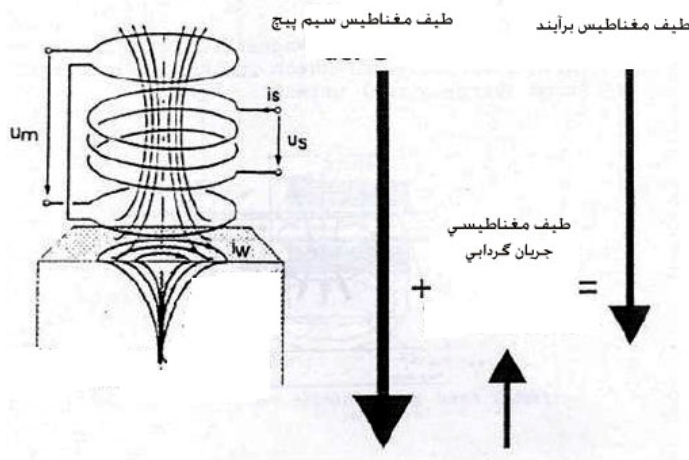
$$H_E \sim i \cdot n$$

$$u_{ring} = - \frac{d\Phi_E}{dt} = -\mu \cdot A_\Phi \cdot \frac{dH_E}{dt}$$

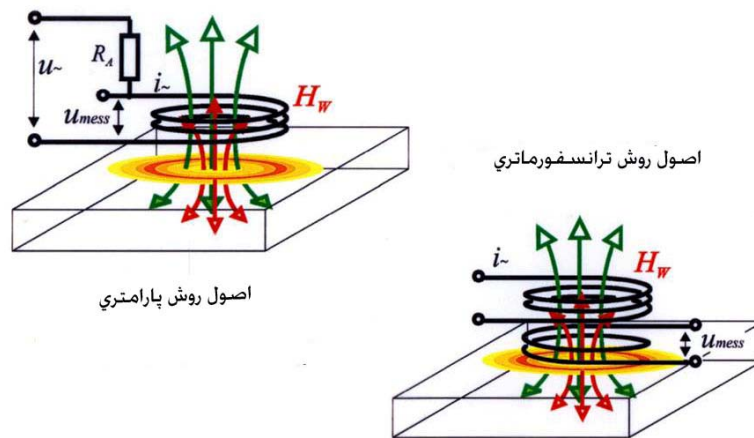
$$g_w \sim u_{ring} \frac{\sigma \cdot A_w}{l_w}$$

$H$  - شدت میدان مغناطیسی  
 $i$  - شدت جریان الکتریکی  
 $n$  - تعداد حلقه  
 $\Phi$  - جریان مغناطیسی  
 $u_{ring}$  - اختلاف پتانسیل حلقه ای  
 $g_w$  - شدت جریان گردابی  
 $A_w$  - سطح تحت تاثیر جریان گردابی  
 $l_w$  - موقعیت جریان گردابی

شکل (الف - الف): اصول عملکرد تست جریان گردابی



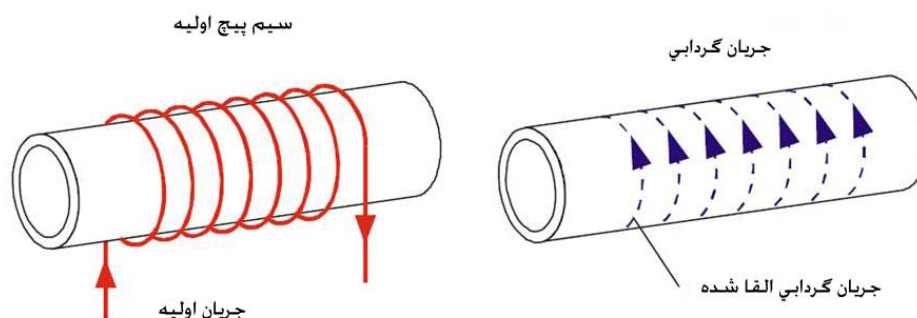
شکل (ب - ب): اصول عملکرد تست جریان گردابی



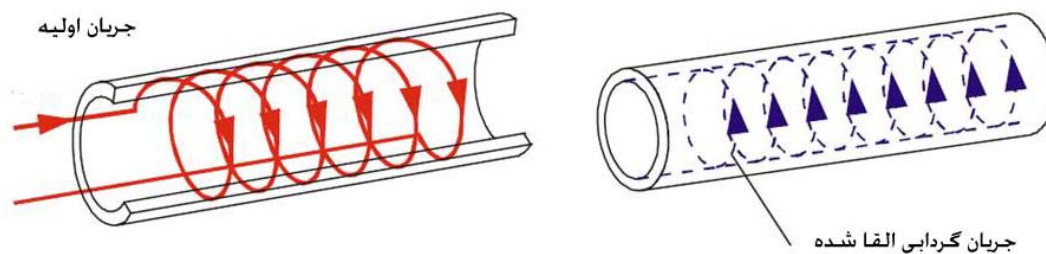
شکل (3-6): تست جریان گردابی - اصول حسگرها

در تست با جریان گردابی از این عملکرد فیزیکی استفاده شده و بطور هدفمند در قطعه مورد تست جریان های متناوب به اصطلاح "جریان گردابی" ایجاد می کنند. بر حسب چگونگی استقرار سیم پیچ القا کننده جریان گردابی نسبت به نمونه تست و سیم پیچ دریافت کننده سیگنال می توان روش های زیر را از هم متمایز کرد ، اشکال (3-6):

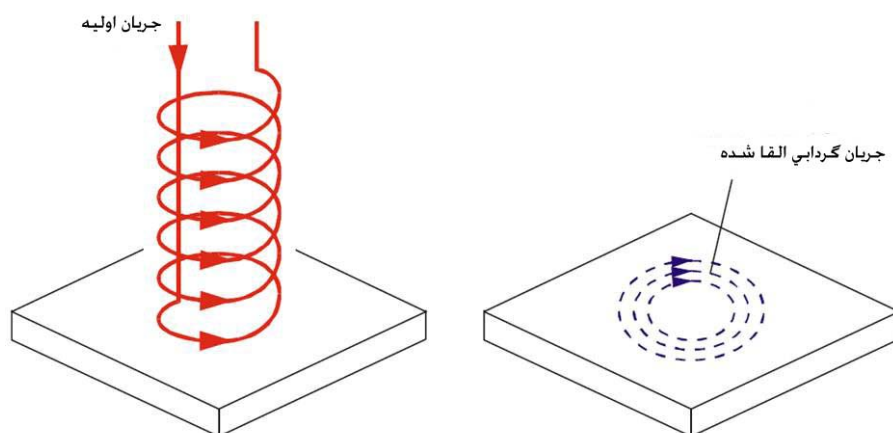
- بوبین خارجی
- بوبین داخلی
- بوبین تماسی



شکل (الف): تست جریان گردابی - بوبین اولیه و جریان گردابی القا شده (بوبین خارجی)

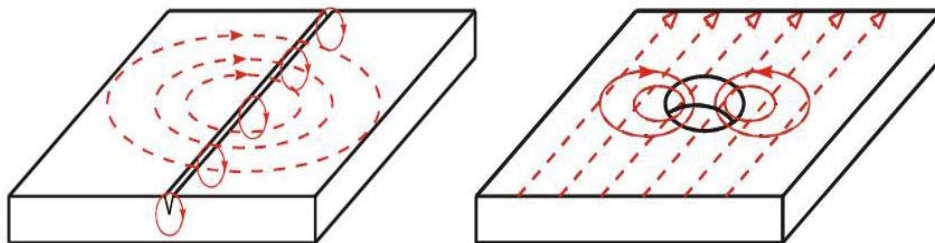


شکل (ا - ب) : تست جریان گردابی - جریان اولیه و جریان گردابی القا شده (بوين داخلي)



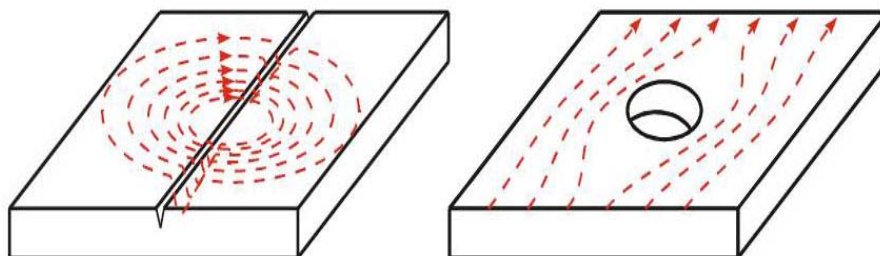
شکل (ا - ج) : تست جریان گردابی - جریان اولیه و جریان گردابی القا شده (بوين تماسی)

جریان متناوبی که در بوین اول جریان پیدا می کند یک طیف متناوب مغناطیسی بدنبال دارد که عمود بر جریان متناوب تولید کننده قرار می گیرد. این طیف متناوب اگر از قطعه تست عبور کند در آن یک اختلاف پتانسیل متناوب با فرکانس مساوی القا می کند. جریان متناوبی که به این صورت ایجاد می شود بنام جریان گردابی در قطعه تست تصویر هندسی جریان را ایجاد می کند که اما خلاف جهت آن است. در نتیجه در مواد غیر فرومغناطیسی طیف ایجاد شده تضعیف شده و با آن مقاومت (Impedance) بوین اولیه کاهش می یابد. اگر در محدوده جریان گردابی یک آسیب بطور مثال یک حفره یا یک ترک وجود داشته باشد شکل (4-6)، مسیرهای جریان گردابی طولانی تر می شود، یعنی یک تضعیف محلی جریان گردابی را بدنبال دارد. طیف متناوب مغناطیسی اما کمتر تضعیف می شود. این پدیده به صورت افزایش مقاومت در بوین اولیه قابل اندازه گیری است. به همین نحو قابلیت هدایت مغناطیسی (Permeability) یا ابعاد قطعات را اندازه گیری می کند. به جای مقاومت بوین اولیه می توان اختلاف پتانسیل یک به اصطلاح بوین مطلق دومی که بطور مرکزی نسبت به بوین اولیه نصب می شود را نیز اندازه گیری کرد.



شکل (5-4): روند جریان گردابی و آسیب

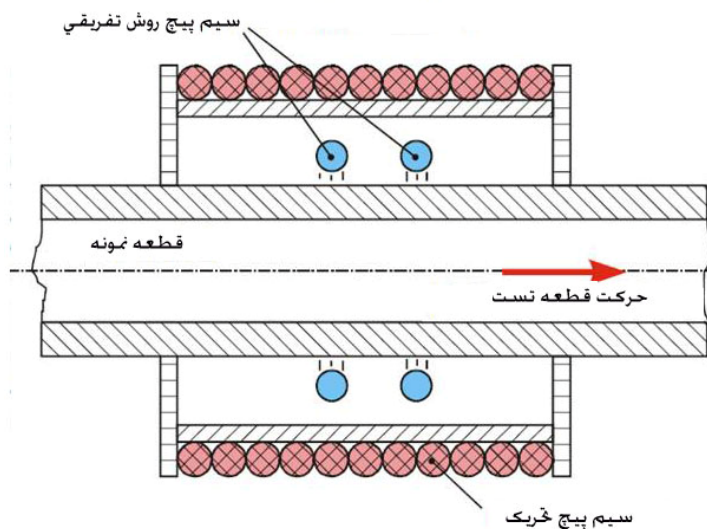
مسیر به هم خورده جریان گردابی را می توان، طبق شکل (5-6) به عنوان همراه سازی جریان گردابی یکنواخت اولیه با یک جریان های مزاحم محلی تصور کرد. در آسیب از نوع حفره جریان های مزاحم طرف چپ و راست آسیب در یک جریان گردابی بهم نخورده با هم جمع می شوند، در حالی در وسط آسیب از هم کم می شوند، بطوری که آنجا یک دیگر را خنثی می کنند. در آسیب ها از نوع ترک شکل جریان مزاحم زیر ترک در یک جریان گردابی به هم نخورده با هم جمع می شوند، در حالیکه این ها در سطح همدیگر را خنثی می کنند. از نظر فن اندازه گیری می توان تاثیر برگشت جریان گردابی بهم نخورده را بطور مثال توسط یک بوبین تفریق از بین برد، بطوری که فقط مزاحمت های محلی مشاهده شوند.



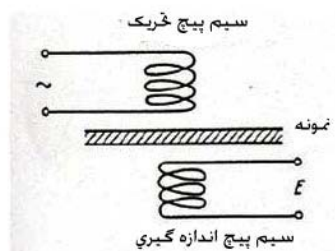
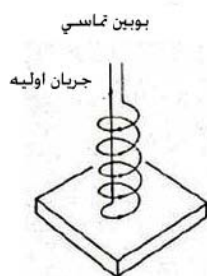
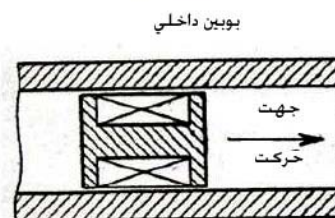
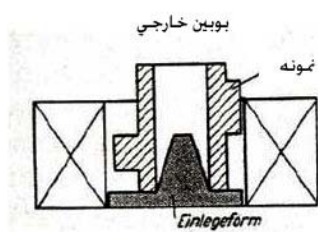
شکل (5-5): نمایش طیف آسیب ها

### 7-3: خصوصیات و استقرار بوبین ها

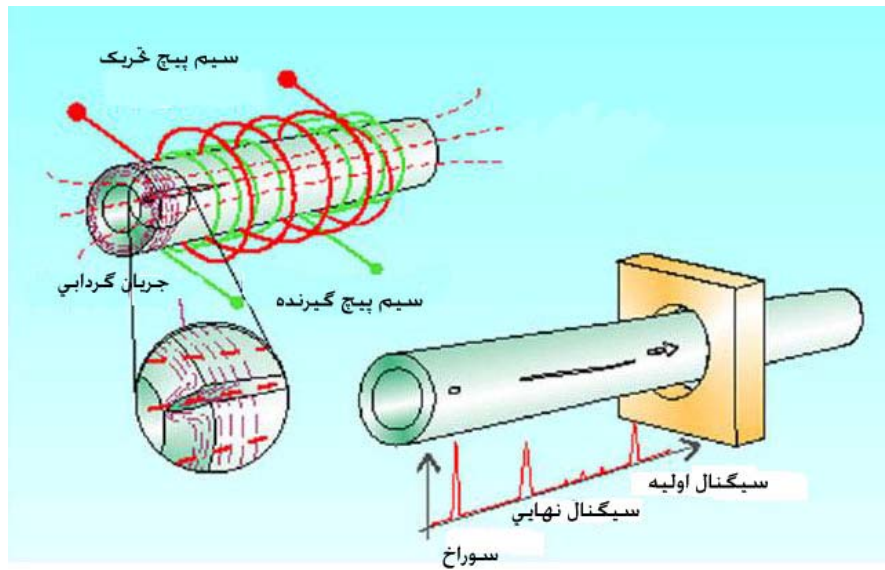
در نوع بوبین خارجی اگر فاصله بوبین و نمونه زیاد شود تاثیر متقابل و با آن حساسیت کاهش پیدا می کند. این پدیده نامطلوب برای تست جریان گردابی را می توان در حالت فاصله ثابت به کمک تقویت دستگاه تعدیل نمود.



شکل (الف) : تست جریان گردابی به کمک بوبین ها

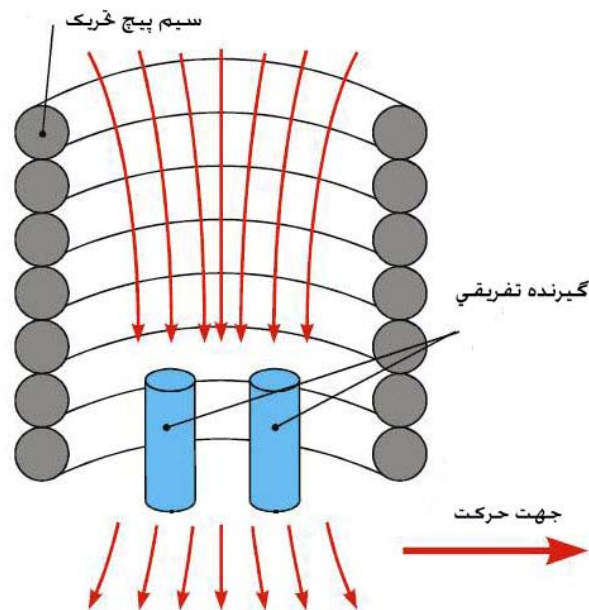


شکل (ب) : نحوه استقرار بوبین ها

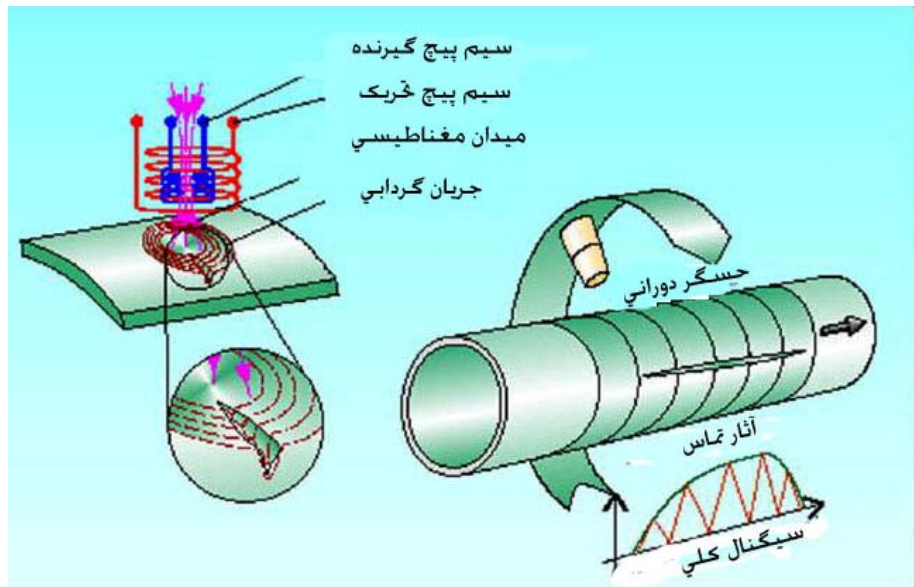


شکل (ب-ج) : نمادین نمایش سیگنال بوبین خارجی

در بوبین های پیرامونی داخلی اشکال (7-7) کلیه آسیب های پیرامونی نمونه با کیفیت یکسان شناسایی می شوند. یعنی می توان بدون تماس با سرعت زیاد تست انجام داد. روش تست به این صورت است که نمونه از داخل بوبین تست عبور داده می شود. در حالت بوبین داخلی قاعدتا بوبین از داخل قطعه عبور داده می شود.

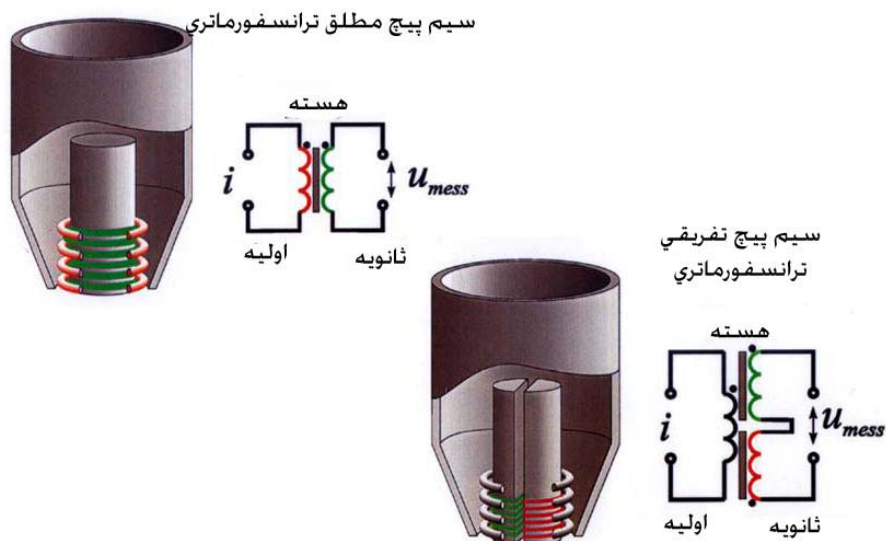


شکل (ب-الف) : تست جریان گردابی - بوبین تماسی

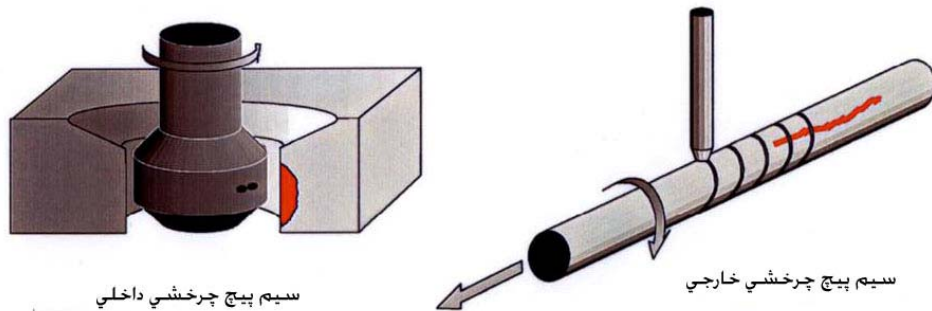


شکل (ب-ب): تست جریان گردابی - بوبین تماسی چرخشی

در روش بوبین تماسی شکل (7-7) یک قسمت کوچک از حجم نمونه تست می شود. با حساسیت مناسب می توان قبل از هر چیز با بوبین های تماسی کوچک کار کرد. سرعت تماس را می توان از نظر روش تست مثل بوبین های داخلی تا حد ممکن بالا انتخاب نمود، اما سرعت عبور در صورت تماس حلزونی بدون مانع متناسب با حجم کوچک بررسی شده کم تر است. در شکل (7-8) نمونه بوبین های تماسی بکار رفته در تست ها مشاهده می شود.



شکل (الف-الف): تست جریان گردابی - انواع بوبین تماسی



شکل (الف-ب): تست جریان گردابی - انواع بوبین تماسی چرخشی

یک بوبین جریان گردابی کامل برای تست آسیب قاعدتا از یک بوبین انرژی برای تولید طیف و دو بوبین گیرنده با اتصال تفاضلی برای دریافت سیگنال تشکیل شده است.

### 7-3: کمیت های موثر

در یک تست جریان گردابی کمیت های زیر تاثیرگذارند :

- قابلیت هدایت الکتریکی  $g$  نمونه
- قابلیت هدایت مغناطیسی (Permeability) نمونه
- هندسه استقرار تست به انضمام بوبین و قطعه تست

چنان نتیجه می شود که روش جریان گردابی نه تنها برای شناسایی آسیب ها ، بلکه برای تست موارد زیر نیز مناسب است :

- مراقبت از تعویض شدن مواد
- بررسی ابعاد نمونه (هندسه )
- بررسی ضخامت نمونه هادی (هندسه )
- بررسی وضعیت سختی در فولادها
- بررسی دمای نمونه

بر حسب مورد تست از یکی از عوامل تاثیر گذار استفاده می شود (به عنوان سیگنال مفید ) ، در حالیکه تاثیر سایر عوامل را تا حد امکان حذف می کنند (سیگنال مزاحم).

هنگام بررسی آسیب مواد از تفاوت محلی قابلیت هدایت به عنوان سیگنال مفید استفاده می شود .

## 7-4: مدرج کردن

مدرج کردن بر مبنای نمونه در دست تست و آسیب تعریف شده انجام می گیرد.

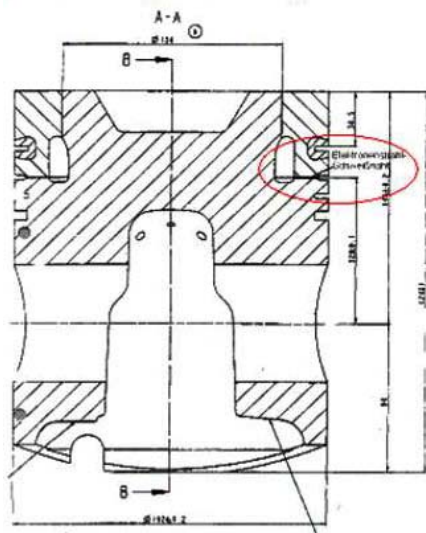
## 7-5: امتیازات ، معایب و نمونه های کاربردی

خصوصیات روش تست جریان گردابی و چند نمونه کاربردی در جدول (7-1) جمع بندی شده است.

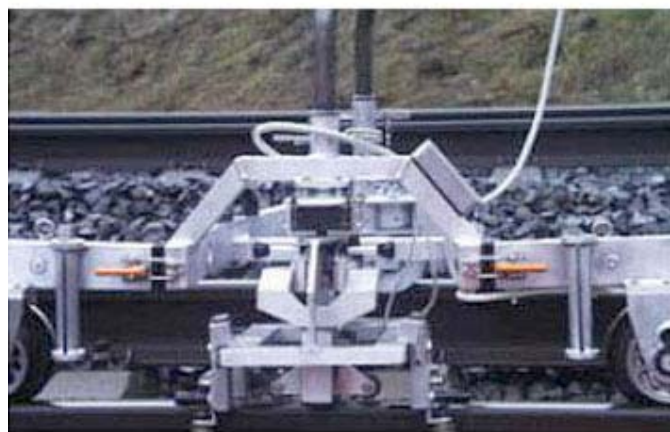
| امتیازات                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | معایب                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• روش سریع است</li> <li>• اظهار نظر در مورد عمق آسیب</li> <li>• نشانه مطمئن ترک ها</li> <li>• بدون وابستگی به موضع آسیب</li> <li>• تست از داخل لایه های رنگ نیز ممکن است</li> <li>• زحمت سخت افزاری نسبتا کم است</li> <li>• چند جانبه و انعطاف پذیر بخاطر ساختمان ویژه شکل</li> <li>• ظرفیت اطلاعاتی بالای نمایش سطح مقاومت</li> <li>• عمق نفوذ تابع فرکانس متغیر است</li> <li>• تست تمام اتوماتیک و ارزیابی تمام اتوماتیک ممکن است</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• فقط مواد هادی الکتریکی قابل تست اند</li> <li>• عمق تاثیر نسبتا کم است</li> <li>• ارزیابی فوری</li> <li>• آسیب های بسیار کوچک به سختی قابل شناسایی است</li> <li>• تست سطح بزرگ زمان بر است</li> <li>• آشکارسازی تحت تاثیر تغییرات شکل و قابلیت هدایت قرار دارد</li> <li>• آسیب بطور مستقیم قابل رویت نیست</li> <li>• نیاز به تجربه زیادی دارد</li> </ul> |

نمونه های کاربردی :

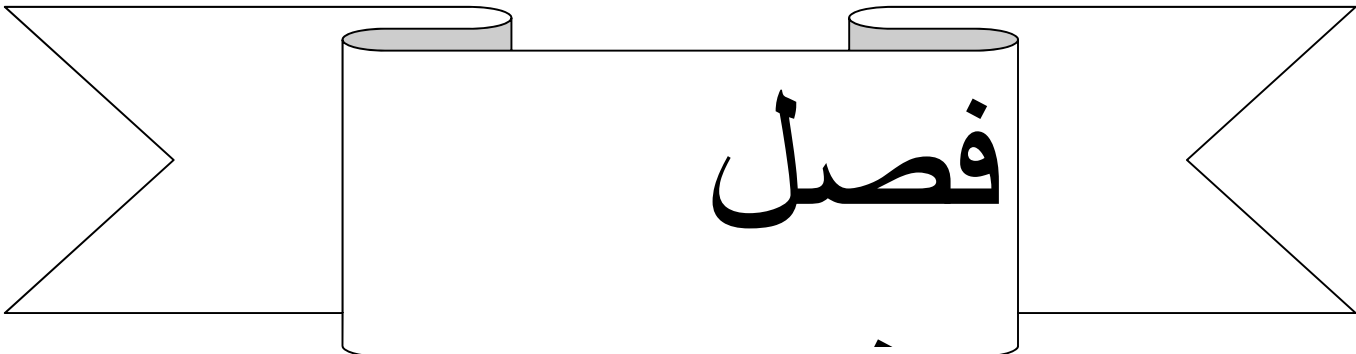
- کنترل رنگ زدگی سطح خارجی هواپیما
- آزمایش تک قطعه ها از قبیل رینگ ها ، قطعات ساختاری ، پوسته ها
- اندازه گیری ضخامت لایه رنگ
- خطای پیوند در اتصالات جوش های آوستنیتی
- تعیین عمق ترک در آزمایش نفوذ
- اندازه گیری قابلیت هدایت
- آزمایش سوراخ های پرچ با حسگرهای چرخشی



شکل (ب-9-الف): نمونه بازرسی درز جوش ها



شکل (ب-9-ب): نمونه بازرسی ریل های قطار



# فصل

بازرسی به کمک

انتشار صوت

## 8-1: مقدمه

صداهایی ایجاد شده هنگام تغییر شکل و شکست اجسام جامد را انتشار صوت نامیده اند. مثال ها برای صداهایی که بطور مستقیم قابل شنیدن هستند از صدای شکستن میله چوبی قبل از شکستن شروع شده و به صداهایی که در اثر میکرو ترک هایی که به علت تردی هیدروژنی هنگام جوشکاری ایجاد می شوند می رسد.

علل ایجاد و انتشار صوت رابطه تقریبی به انواع زیر تقسیم بندی نموده اند :

- حرکات جابه جایی ، ایجاد میکروت ترک ها
- پدیده های سطحی و لایه مرزی ، عملکردهای اصطکاکی
- شکست و جدا شدن ماده مبنا و یا الیاف

صداهایی که در اثر هر یک از پدیده های نام برده ایجاد می شوند یک محدوده وسیعی را هم از نظر ارقام دامنه و هم از نظر طیف فرکانسی می پوشانند. دامنه و فرکانس می تواند هم زیر و هم بالای محدوده قابل شنوایی توسط گوش انسان قرار گیرد. فرکانس هایی که عملا در بررسی مواد اندازه گیری شده و قابل ارزیابی هستند بین 20 khz و MHZ قرار دارند.

تست های انتشار صوتی را می توان تابع عمل ایجاد صدا فقط در طول بارگذاری یک قطعه انجام داد .

## 8-2: اصول فیزیکی

اگر یک جسم جامدی که دارای آسیب هست با نیروی فزاینده بارگذاری شود در زمان معین گسترش این آسیب با هم زمانی آزاد سازی انرژی الاستیکی در محل گسترش (بطور مثال در راس یک ترک ) همراه است. بخاطر انتشار موج در داخل ماده می توان انرژی آزاد شده را به صورت جابه جایی سطحی اثبات نمود.

انتشار امواج تحت قانون مندی های پیچیده ای قرار دارند. دامنه و انرژی سیگنال با انرژی آزاد شده هنگام فرآیند تغییر شکل پیوند دارند. محتوی فرکانس یک واقعه انتشار صوت در محل ایجاد با مقدار زمان آزادسازی انرژی نسبت عکس دارد. به این جهت چنین داریم : هر چقدر زمان بازیابی (Relaxation) برای تغییر شکل کمتر باشد ، محتوی فرکانس انتشار صوت ایجاد شده بزرگ تر است. عملا تجربه شده است که جریان ماده در فرکانس های پایین تر انرژی بیشتری تولید می کند. در حالی که شکست یا آزاد سازی پیوند ها در مواد مرکب در فرکانس های بالاتر انرژی آزاد می کنند.

انتشار امواج در مواد اصولا به شکل های زیر انجام می شود :

- امواج حجمی (امواج عمودی و افقی)
- امواج سطحی
- امواج تابع هندسه ( امواج صفحه ای ، امواج میله ای و غیره )

در حالیکه امواج حجمی در مواد ایزوتوپ با سرعت صدای غیر وابسته به فرکانس و جهت توزیع می شوند ، امواج صفحه ای تابع فرکانس و ضخامت صفحه مودها با سرعت صدا های مختلفی تشکیل می دهند. ( به اصطلاح می گویند امواج صفحه ای **dispersive** هستند ) توزیع انرژی صدا بر انواع امواج مختلف از جمله تابع عوامل زیرند:

- موقعیت و جهت موضع فرستنده (منبع)
- نوع منبع (شکست تنش های نرمال ، شکست برشی )
- تابع نسبت بین ابعاد هندسی نمونه تست (بطور مثال ضخامت صفحه) و طول موج

در این ارتباط توجه را به نکات زیر جلب می نماید :

- 1- منابع سطحی ( یا منابع نزدیک به سطح ) یک بخش انرژی بزرگی به عنوان امواج سطحی ایجاد می کنند. این امواج با سرعت ثابت (در فولاد  $3m/ms$ ) و با یک تناسب دمپینگ منتشر می شوند. اگر گیرنده روی همان سطح مستقر باشد ، معمولا یک مکان یابی عموما خوبی ممکن می نماید .
- 2- اگر طول موج نسبت به ابعاد هندسی معین ضخامت صفحه بزرگ باشد بیشتر امواج سطحی تحریک می شود. از نظر بزرگی چنین است که اگر طول امواج بزرگ تر از نصف ضخامت صفحه باشد بیشتر تحریک امواج صفحه ای مورد انتظار است.
- 3- امواج حجمی در راه از منبع به طرف گیرنده در مسیرهای زیگ زاگی مختلفی منتشر می شده و در هر انعکاس امواج تبدیل می شوند. سیگنالی که توسط گیرنده دریافت می شود همیشه از همراه سازی انتشار موجود در مسیرهای مختلف تشکیل شده و به این جهت نمی توان دیگر از یک سرعت صدای ثابت صحبت کرد . با این وجود فرض بر این است که حداکثر مجموعه امواج در میدان دور در سطح با سرعت صدای تقریبا ثابتی منتشر می شود.

## 8-3: گیرنده های صدا

گیرنده های صدا برای ضبط و تابع انتشار صوتی را می توان به دو گروه تقسیم کرد :

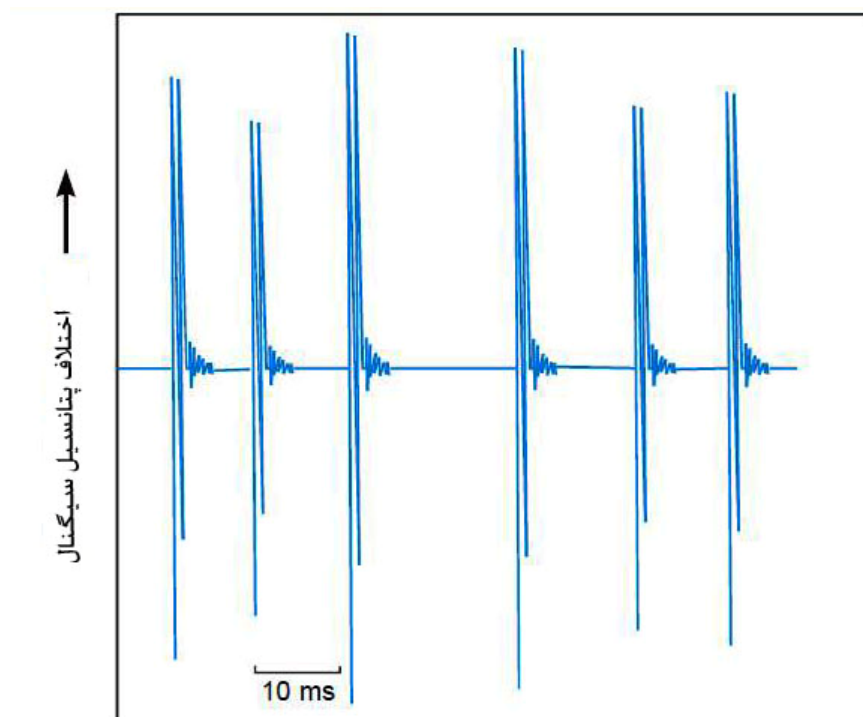
- 1- در این گروه تغییرات اندازه گیری شده یک کمیت مکانیکی به تغییر سیگنال الکتریکی تبدیل می شود (تغییر مقاومت ، تغییر **خازنی** یا القایی). گیرنده های غیر فعال (passive) برای بدست آوردن سیگنال مفید نیاز به منبع انرژی کمکی دارند . این گیرنده ها دارای حساسیت کمی بوده و کاربرد آن ها به فرکانس های بالاتر محدود شده است. امتیاز گیرنده های پاسیو خصوصیت انتقال خطی آن ها است.
- 2- گیرنده های تبدیل انرژی :

در این گروه از سیستم اندازه گیری انرژی گرفته شده و به یک شکل معادل منتشر می شود ( سیستم الکترومغناطیسی ، سیستم **پیزوالکتریکی** یا سیستم مگنتوستریکتیو ) .

اغلب گیرنده های صدای بکار رفته در اندازه گیری انتشار صوت از نوع **پیزوالکتریکی** هستند. دامنه فرکانس قابل استفاده به این جهت بین چند Hz و چند MHz قرار دارد . به دلایل حساسیت اغلب گیرنده های رزونانس بکار می روند که از نظر صنعتی در طرح های مختلفی بین باند فرکانس 30 KHz تا 800 KHz تولید شده اند. در شرایط محیطی تست بطور مثال در دمای بالا و در بارگذاری اشعه ای بالا ، از هادی امواج برای هدایت امواج بین سطح نمونه و گیرنده استفاده می شود. ارتباط گیرنده به کمک روغن ، چربی ، زرین یا چسب و با استفاده از یک نگهدارنده مناسب برقرار می شود (فتر جهشی ، نگهدارنده مغناطیسی ) .

#### 8-4: تست با روش SE (انتشار صوت) (آزمایش انتشار صوت)

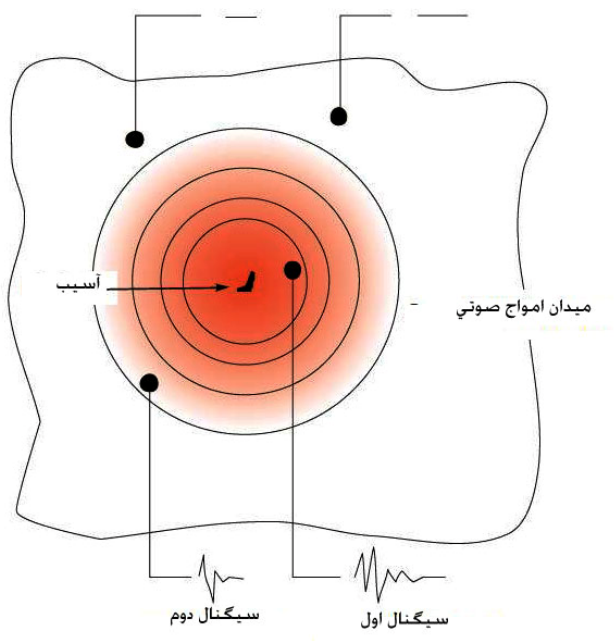
در آزمایش انتشار صوت بررسی وقایع که اغلب از نوع ترک هستند به کمک "Burstsignal" مشخص می شوند که بایستی از یک سطح اصلی صدا فیلتر شوند.



شکل ( — — ) : تست انتشار صوت (نمایش Burstsingnale)

\*4 Burstsignal = در صنعت خرابیات و تلویزیون تعداد محدودی ارتعاشات با فرکانس معین و طول زمان معین هستند.

از ارزیابی دامنه متوسط و محتوای واقعه Burstsinal می توان بزرگی آسیب را تعیین نمود. یک مکان یابی فضایی یک واقعه به کمک چند گیرنده و به کمک اندازه گیری اختلاف زمان انتشار امکان پذیر است .



شکل (۸-۵) : تست انتشار صوت (مکان یابی آسیب)

## 8-5: کاربرد صنعت در جوشکاری

محدوده کاربرد در تست انتشار صوتی صنعت جوشکاری تابع روش مراقبت از عملیات جوشکاری محدود شده است. به این وسیله میتوان آسیب را مستقیم بعد از ایجاد ضبط کرد. بنابراین تعمیر آن را نیز می توان در این نقطه زمانی مناسب ساده و سریع انجام داد . اولین بررسی ها فعلا برای جوشکاری WIG ، اشعه الکترونی و جوش مقاومت در اختیار است. در نوع آخر حتی اولین نشانه ها مشاهده شده که روش را برای تنظیم On- line پارامترهای جوشکاری در تولید انبوه بکار برده اند.

## 8-6: امتیازات ، معایب و نمونه های کاربردی

خصوصیات تست به کمک روش انتشار صوت و نمونه کاربردی در جدول (8-1) جمع بندی شده اند :

| امتیازات :                                                                                                                                                                                                            | معایب :                                                                                                                                           |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• روش انتقالی است (قابل جمع شدن)</li> <li>• تاثیر عمقی</li> <li>• مکان یابی آسیب ممکن است</li> <li>• کاربرد ساده است</li> <li>• اظهار نظر فوری</li> <li>• روش مطمئن</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• آسیب بایستی صدا منتشر کند</li> <li>• قطعه بایستی بارگذاری شود</li> <li>• حساس به صداهای مزاحم</li> </ul> |
| <p>نمونه های کاربردی :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• کنترل زنگ زدگی بافت های شبکه ای آلومینیوم</li> <li>• کنترل مخازن CFK / GFK</li> <li>• کنترل مخازن فشار</li> </ul>                                 |                                                                                                                                                   |

جدول (7-1) خصوصیات و کاربرد روش انتشار صوتی

محدوده کاربرد اصلی روش انتشار صوت اما تست مخازن CFK / GFK و مخزن های تحت فشار، دستگاه سازی و تجهیزات هسته ای و شیمیایی است.

# ترموگرافی

(Lock – in –thermography)

ترموگرافی اغلب برای تست های غیرمخرب مواد و قطعات تولید شده بکار می رود. معمولاً قطعه نمونه را به کمک یک منبع تحریک بطور هدفمند گرم می کنند بطوری که آسیب های مخفی در اثر رفتار مختلف حرارتی قابل اندازه گیری می شود.

از جمله این روش های تست غیر مخرب ، روش پالس ترموگرافی (pulse - thermography) ، روش لک - این ترموگرافی (lock - in- thermography) و روش آنالیز تنش ترموالاستیکی را نامبرده اند. برای عملیاتی سازی موفق این روش ها به ویژه نیاز به دوربین های مادون قرمز با حساسیت آشکارسازی بالا می باشد. در این درس بخاطر محدودیت زمانی و واحدی موجود فقط به مدرن ترین آن ها یعنی به روش lock - in-thermography می پردازیم :

روش لک این - ترموگرافی یک روش غیر مخرب بدون تماس بازرسی مواد است که فقط نسبت به تغییر (modulation) دما پاسخ می دهد و به این صورت ناپیوستگی ها در محدوده نزدیک به سطح قطعات را به شکل تصویر آشکار می سازد ، در حالی که عمق دسترسی را نیز می توان تابع تغییر فرکانس تنظیم کرد. به این جهت این روش به ویژه برای بررسی کیفیت مواد لایه ای یا لایه ای مانند با بافت سطحی کاربرد پیدا کرده است . کلیه روش های غیر مخرب براین اصل استوارند که قطعه در دست بررسی به یک صورتی تحریک شده و رفتار پاسخ برای تعیین خصوصیات قطعه مورد استفاده قرار می گیرد . در روش های صوتی بطور مثال یک سیگنال صوتی یا یک نوسان نیرویی در داخل قطعه ایجاد می کردند و انعکاس مکانیکی آن اطلاعاتی در مورد وضعیت قطعه بدست می داد. این تحریک ممکن است حرارتی نیز باشد و حتی بدون تماس انجام گیرد، یعنی به کمک جذب اشعه باشد (بطور مثال به کمک نوردهی و تغییر شدت آن ) که در این صورت باعث ایجاد یک طیف دمایی نوسان کننده تابع زمان می شود که بازهم می توان آن را بدون تماس (بطور مثال با ظاهر سازی مادون قرمز) ثبت نمود.

## 9-2: اصول بازرسی

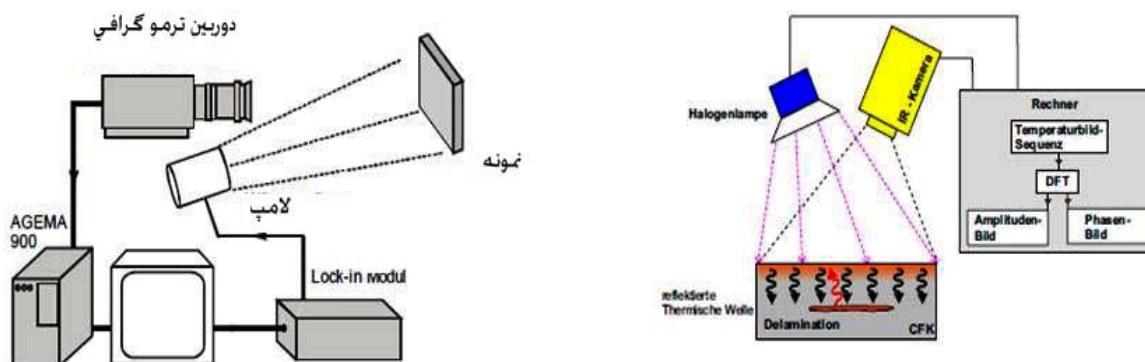
تاکنون در بازرسی های ترموگرافیکی تحریک با پالس نوری انجام می گرفت که ساده قابل استفاده بوده و معمولاً نیاز به تطبیق خاص سیستم دوربین نداشت. انتقال گرما با یک پالس کوتاه اما ممکن است باعث ایجاد یک دمایی بالایی در سطح قطعه کار شود. یک راه حل برای جلوگیری از این پدیده تغییر تحریک (modulation) تابع زمان است. در این ارتباط انتقال انرژی در امتداد یک فاصله زمانی طولانی تر توزیع شده و به این نحو بارگذاری حرارتی قطعه در دست بازرسی کاهش پیدا می کند. این روند باعث تامین خواسته غیرمخرب بودن تست تست قطعات لایه ای می شود.

اصول کار لک- این-ترموگرافی بر تامین یک دمای تنظیم شده است، که :

- یا در سطح قطعه ایجاد شده و به صورت امواج حرارتی گسترش می یابد (تحریک خارجی مثل تحریک نوری یا هوای گرم)

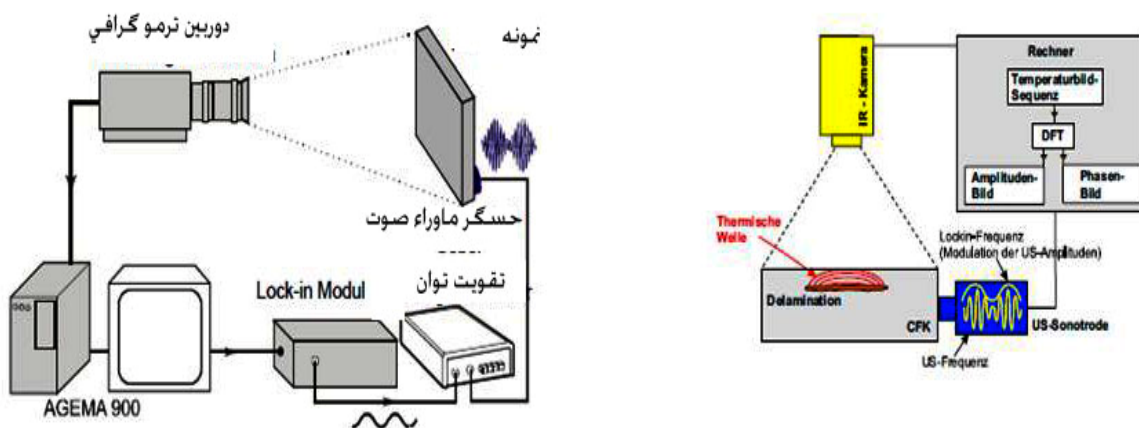
- یا بطور مستقیم در داخل قطعه تولید می شود (تحریک داخلی ، بطور مثال توسط ماوراء صوت ، میکرو امواج یا بطور الکتریکی)

در تحریک خارجی (شکل 9-1) تصاویر به کمک انعکاس امواج حرارتی در سطوح مرزی آشکار می شوند. یعنی در این روش به کلیه تغییرات خصوصیات حرارتی نمونه عکس العمل نشان داده می شود.



شکل (9-1): ساختار تست لک - این - ترمو گرافی با تحریک نوری (OLT)

در روش تحریک داخلی (شکل 9-2) امواج حرارتی در خود موضع آسیب تولید می شوند. یعنی در این حالت می توان از یک روش طیف تاریک صحبت نمود که نسبت به محدوده ها با ضایعات زاویه مکانیکی بسیار حساس است.

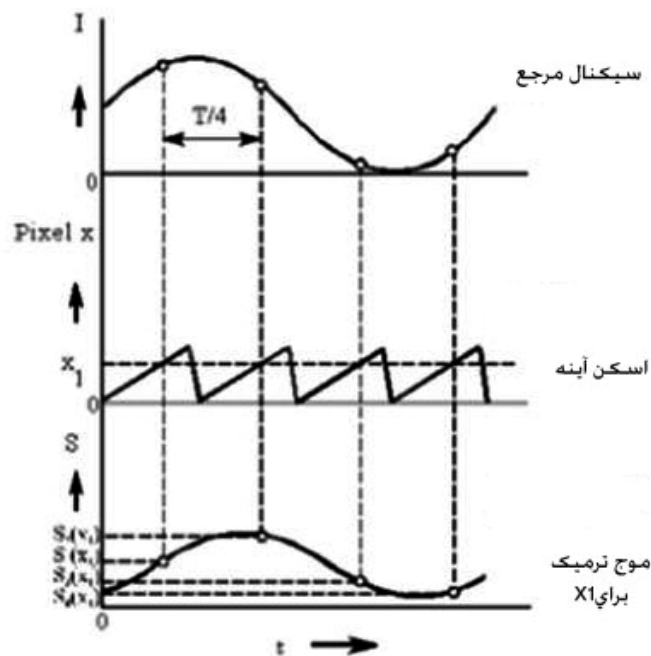


شکل 8-2: ساختار تست لک-این-ترمو گرافی با تحریک ماوراء صوت (ULT)

گرمایی که به این صورت تولید می شود به صورت امواج تا سطح قطعه نمونه گسترش می یابد ( و رفتار زمان - فضایی تنظیم دما را تشریح می کند).

این روش نسبت به ارزیابی و تعیین تاخیر فاز بین منبع انرژی و انعکاس حرارتی اندازه گیری شده بسیار حساس است.

اگر توزیع دما در طول انتقال گرما تصویربرداری شود می توان دامنه و فاز انعکاس گرما را بدست آورد، (شکل 9-3) و به کمک این دو کمیت نتیجه گیری های مختلفی انجام داد. تصویر دامنه تابع ناهماهنگی های جذب نوری ، انتشار مادون قرمز و همین طور تابع توزیع نور در حالت تحریک نوری می باشد. در تصویر فازی اما این پدیده ها بر نتیجه ها بی تاثیرند. اما تصویر فازی امکان نتیجه گیری در مورد عمق آسیب را امکان پذیر می نماید، زیرا تابع زاویه فاز مسیر امواج می باشد.



شکل (9-3): نمایش نمودار دامنه - فاز انتقال گرما

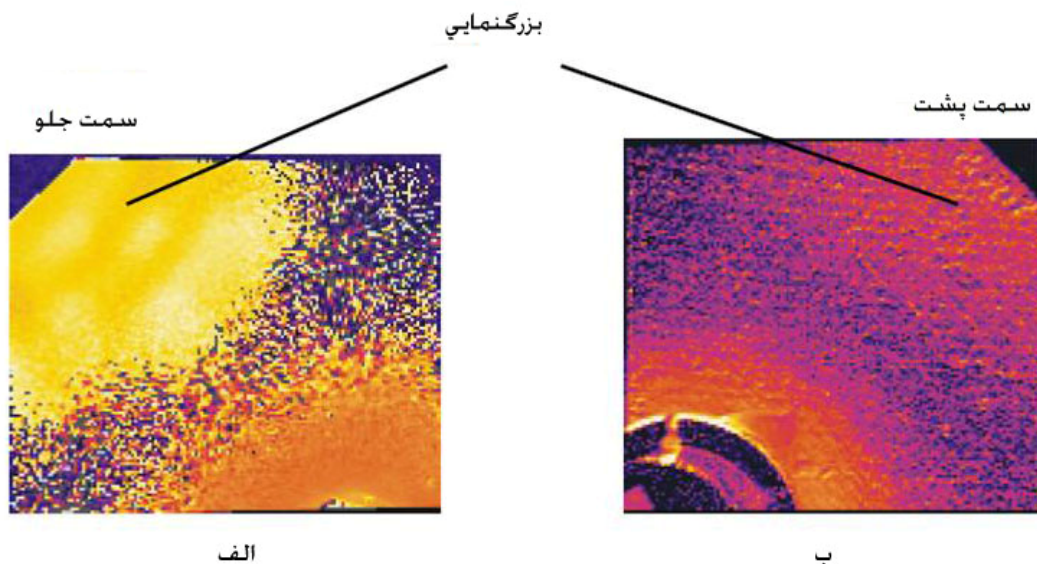
اگر گرم کردن بشکل سینوسی انجام گیرد ارزیابی فازی ساده تر می شود ، زیرا حدود 1000 تصویر ترموگرافی ابتدایی یک اندازه گیری را می توان در چهار تصویر S1 - S4 با تاخیر فازی 90 درجه ای با هم جمع نمود. به این صورت زمان محاسباتی مورد نیاز بسیار کوتاه می شود . تصویر فازی در این صورت برابر است با :

$$\Phi = \arctan \frac{S_3 - S_1}{S_4 - S_2}$$

### 9-3: نتایج ، نمونه های کاربردی

در شکل (9-4) بطور نمونه شناسایی آسیب های مشخصی در قطعات ضخیم نشان داده شده اند. صفحه ای از جنس C / Sic به ضخامت 32mm که در گوشه ها شیب داده شده اند مواضع لایه لایه ای مشاهده می شود که

شش میلی متر زیر سطح قرار دارند. تصاویر فازی مربوط به سطح جلو و عقب نمونه ها هستند. تصاویر با فرکانس های مختلف گرفته شده اند تا متناسب با اعماق مختلف آسیب ها باشند، نمونه ها قبل از اندازه گیری نیازی به آماده سازی یا لاک مالی ندارند.



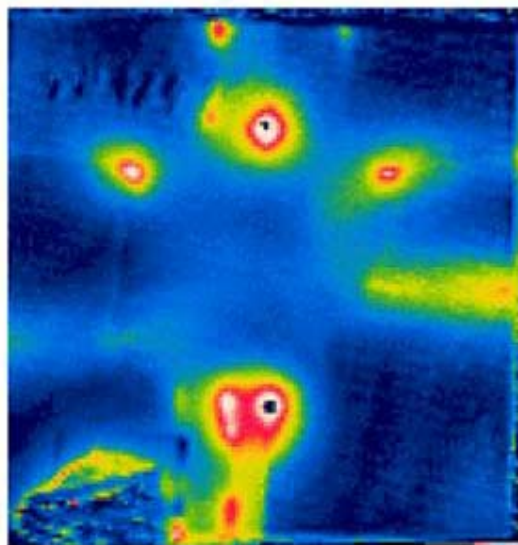
شکل (9-4) : شناسایی آسیب ... C/SiC

الف : ظاهرسازی 6 mm زیر سطح و زیر لبه شیب داده شده یک لایه لایه شدن مشاهده می شود قدرت ماوراء صوت 500w

– تصاویر فازی 0.73h7

ب : اندازه گیری از پشت. ظاهرسازی 26 mm زیر سطح. ULT 500 قدرت. تصویر فازی برابر 0.07h7

ترک هایی که عمود بر سطح قرار دارند و بنابراین در جهت اندازه گیری نیستند توسط بسیاری از روش های تست قابل شناسایی نیستند. به این جهت روش تحریک ماوراء صوت در این جا بخاطر گرم کردن آسیب های محلی کمک هستند. شکل (9-5) صفحه ای از جنس C / SiC را نشان می دهد که دارای چنین ترک هایی است.



شکل (9-5) : شناسایی ترک در یک صفحه (از جنس C/SIC . ULT با 100W قدرت ماوراء صوت- تصویر فازی برای 0.03H7

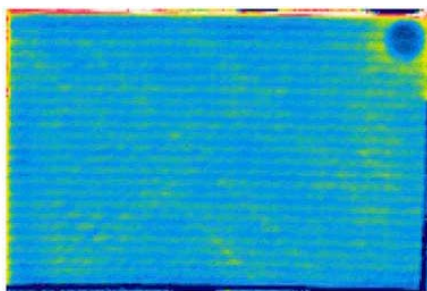
ترک ها بطور واضح به عنوان محدوده های روشن روی زیرزمینه آبی برجسته شده اند. نوک ترک ها محدوده های زاویه ضایعات ماکزیمم هستند که در این مواضع تغییر زاویه فاز مقدار حداکثر خود را دارد.

آسیب های بجا مانده در اثر ضربه در بافت های CFK<sup>5\*</sup> اغلب به طور نوری در سطح قابل شناسایی نیستند ، اما آسیب هایی که بداخل ماده تا عمق گسترش دارند در پشت ظاهر می شوند.

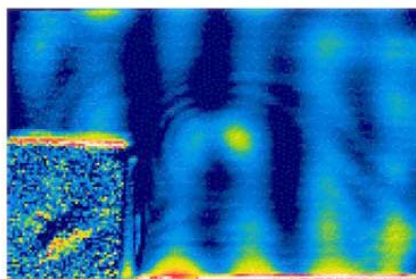
در قطعات لایه ای خاصیت تابع جهت بودن حرارتی ماده مشکل ساز است و این پدیده باعث نفوذ بیشتر در جهت الیاف و کاهش نفوذ در جهت عمود بر الیاف می شود. به این صورت کیفیت ظاهر سازی افقی کاهش پیدا می کند. این روش چون با این وجود در قطعات ضخیم آسیب های ناشی شده از ضربه را شناسایی می کند برای کاربرد در صنایع هوایی از اهمیت زیادی برخوردار است.

شکل (9-6) آسیب های ضربه ای یک صفحه CFK به ضخامت 6 mm را که هم با تحریک نوری و هم با تحریک ماوراء صوت ظاهر شده اند را برای مقایسه با هم نشان می دهند. شکل (9-7) یک بافت ساندویچی CFK را نشان می دهد که توسط پرتاب گلوله های لاستیکی آسیب دیده است . ضخامت محدوده حاشیه نمونه بزرگ تر از محدوده وسط آن است که این در تصویر فازی پشت قطعه مشاهده می شود. محدوده مشخص شده با رنگ قرمز یک محل لایه لایه ای شده را نشان می دهد.

<sup>5\*</sup> CFK هواد مصنوعی تقویت شده با کربن



الف

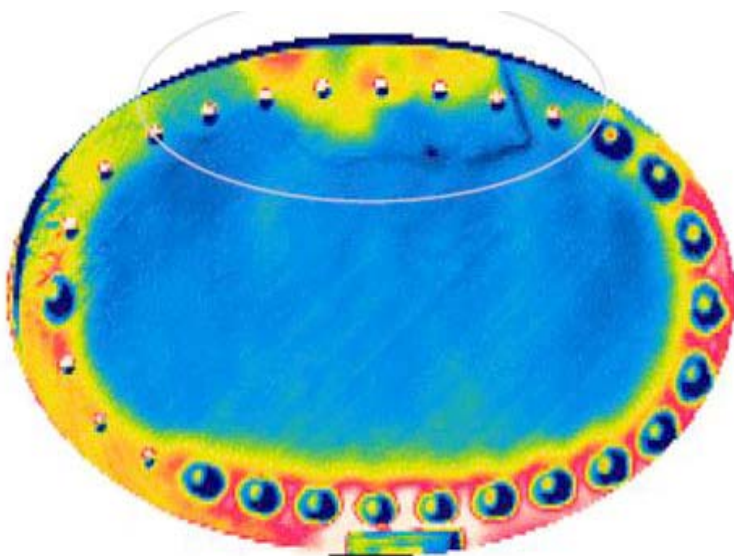


ب

شکل (9- ) : بررسی یک نمونه C/sic به ضخامت 6 mm

الف : بررسی با OLT آسیب ضربه دو طرف شیت صفحه از طرف جلو قابل شتاب تر نیست - تصویر فازی برای 0.03H7

ب: بررسی با ULT آسیب ضربه وسط ..... مشاهده می شود. علاوه بر این امواج ایستایی ایجاد شده توسط تحریک VS مشاهده می شود. تصویر فازی برابر فرکانس 0.3H7



شکل (9 - ) : روش DLT با تحریک لایپ هالوژن 2000W تصویر فازی برای H7 0.0037 این یافت ساندوچی

CFK یک ظاهر سازی در محدوده حاشیه فوقانی از خود نشان می دهد







1-8