بازرسی در جوش

حسین حق سیرت

تاریخ: ۱۳۹۶/۰۷/۱۱

مقدمه

نبودن نقص‌های زیان بخش و عوامل موثر دیگر در شکست نابهنگام، در قطعات و مجموعه ها و همچنین در سازه های کامل مهندسی اهمیت دارد.

در ماده یا قطعه در حین ساخت، انواع نقص‌ها با اندازه های متفاوت ممکن است به وجود آید که ماهیت و اندازه دقیق این نقص، کارکرد آتی قطعه را تحت تاثیر قرار می دهد. نقص‌های دیگری مانند ترک‌های ناشی از خستگی یا خوردگی، در حین کار با ماده نیز ممکن است به وجود آید. بنابراین برای آشکارسازی نقص‌ها در مرحله ساخت و همچنین برای آشکارسازی و مشاهده آهنگ رشد آن‌ها در حین عمر کاری هر قطعه یا مجموعه باید وسایل قابل اعتمادی در اختیار داشت.

مهندسان با تعیین خواص مواد به وسیله انجام آزمون‌های استاندارد بر روی قطعات آزمون کاملاً آشنایند و بیشتر دانستنی‌های مورد نیاز، از قبیل خواص کششی، فشاری، برشی و ضربه ای ماده به کمک این آزمون‌ها به دست می آید، اما این گونه آزمون‌ها ماهیتی ویرانگر دارند. همچنین خواص ماده که به کمک آزمون استاندارد ویرانگر تعیین می شود لزوماً مشخصه های کاربردی قطعه پیچیده ای که بخشی از مجموعه مهندسی بزرگتری است، را ارائه نمی کند.

با استفاده از اصول محرز فیزیکی، شماری از سیستم‌های بازرسی ساخته شده است که بدون تغییر یا تخریب قطعات و مجموعه های مورد آزمون، دانسته های مربوط به کیفیت ماده یا قطعه را به دست می دهند؛ این آزمون‌ها، آزمون‌های غیرمخرب نام‌گذاری شده‌اند.

مجموعه حاضر متشکل از برگزیده ای از برخی روشهای بازرسی غیرمخرب مورد استفاده در صنایع مختلف علی الخصوص جوشکاری و نیز ناپیوستگی های موجود در جوش می باشد.

بدیهی است که در قلمرو بازرسی با بهبود روشهای موجود و گسترش گستره کاربرد آن‌ها پیشرفت‌های پیوسته ای به وجود می آیند و فرآیندهای جدیدی برای تامین نیازهای رو به افزون بازرسی ابداع می شوند.

کیفیت جوش

مفهوم کیفیت جوش

برای این که یک مجموعه جوش (یا لحیم) در طول عمر خود از قابلیت اعتماد مورد نیاز برخوردار باشد، می‌بایست در درجه‌ای از کیفیت یا مشخصات مورد نظر قرار گیرد. کیفیت در برگیرندهٔ ملاحظات طراحی است، بدین معنی که هر فلز جوش تولید شده باید:

۱) از طراحی مناسب جهت برآورده کردن سرویس مورد نظر در طول عمر مورد نیاز برخوردار باشد.

۲) با مواد و جوش‌هایی ساخته شده باشد که با مفاهیم طراحی در تطابق باشند.

۳) از عملکرد و نگهداری صحیحی برخوردار باشد.

کیفیت، یک اصطلاح نسبی است و برخورداری از کیفیتی بالاتر از حد مورد نیاز برای یک کاربرد، غیرضروری و در واقع غالباً هزینه‌بر می‌باشد.بنابراین سطوح کیفیت در فلزات جوش متفاوت و جوش‌های منفرد، بسته به نیازمندی‌های سرویس می‌تواند تفاوت داشته باشد.

کیفیت جوش غالباً به طور تقریبی به معنی میزان نقایص هندسی در یک جوش ،در نظر گرفته می‌شود، ولی این مفهوم می‌بایست جنبه‌های دیگری از قبیل سختی، ترکیب شیمیایی، و چقرمگی را نیز در بر بگیرد که همگی در تناسب یک جوش با مقصودمورد نظر، سهم دارند.

انتخاب کیفیت مورد لزوم برای حصول قابلیت اطمینان مطلوب، در وهلهٔ اول به حالت‌های محتمل برای انهدام، در شرایط سرویس بستگی دارد.

کیفیت جوش مستقیماً با یکپارچگی فلز جوش ارتباط پیدا می کند. این عامل زیربنای تمامی گام‌های ساخت و بازرسی است که جهت حصول اطمینان از محصول جوشکاری شده‌ای که قادر به انجام عملکردهای مورد نظر برای عمری معین خواهد بود، ضروری می‌باشد. عوامل اقتصادی و ایمنی، هر دو، ملاحظات کیفیت جوش را تحت تأثیر قرار می‌دهند. مسائل اقتصادی ایجاب می‌کنند که یک محصول رقابتی باشد و مسائل ایمنی حکم می‌کنند که از احتمال آسیب‌دیدگی کارکنان و یا خسارت گسترده به کارخانه و تجهیزات اجتناب گردد.

اکثریت نظام‌نامه‌ها و استانداردهای حاکم بر تولیدات جوشکاری شده، الزامات کیفیت را برای سازه‌های جوشکاری شده تعریف می‌کنند تا از این طریق بتوانند ایمنی کارکرد سازه را در حدی منطقی تضمین نمایند. الزامات نظام‌نامه یا استاندارد را باید به عنوان حداقل تلقی کرده و بدون قضاوت دقیق و مستدل مهندسی نباید از معیارهای پذیرش جوش تخطی کرد. جهت کاربردهای حساس ممکن است الزاماتی سخت‌تر از موارد مشخص شده در نظام‌نامه یا استاندارد، جهت حصول اطمینان از ایمنی، ضروری باشد.

معیارهای پذیرش جوش جهت بازرسی جوش‌ها عموماً با استفاده از روش‌های غیرمخرب و به منظور بررسی انحرافات از استانداردهای قابل قبول تعریف می‌شوند. تمامی انحرافات سنجیده شده و پذیرش یا رد جوش، معمولاً بر پایهٔ شرایط دقیقاً تعریف شده صورت می‌پذیرد. به طور معمول، تعمیرات در شرایط غیرقابل پذیرش یا معیوب، به منظور رساندن کیفیت به استانداردهای پذیرش، مجاز می‌باشد. بسیاری از نظام‌نامه‌ها و استانداردهای مرتبط با کیفیت جوش، استفاده از محصول را در بر نمی‌گیرند و نگهداری تولیدات یا محصول را برعهده کاربر می‌گذارند و این خود کاربر است که باید نسبت به بهبود، تقویت یا اعمال استانداردهای اضافی کیفیت جوش اقدام کند تا تضمین شود که محصول از حداقل الزامات مشخص شده فراتر خواهد رفت.

کیفیت جوش- اگر چه تعریف دقیق آن دشوار می‌باشد- غالباً براساس نظام‌نامه‌ها، استانداردها یا آیین‌نامه‌هایی مورد قضاوت قرار می‌گیرد که مبنای آن‌ها تخمین‌های منطقی در مورد اقتصادی و ایمنی می‌باشد. مستندات ممکن است توسط کاربر اصلاح و بهبود پیدا کرده تا انعکاس دهندهٔ ملاحظات اضافی مرتبط با مسائل اقتصادی، ایمنی یا هر دوی این موارد باشند. در موارد دیگر، کیفیت قابل قبول جوش باید توسط مهندسی طراحی یا مشتری تعریف گردد. جوش‌ها از حیث اندازه، شکل، طرح بیرونی ، سلامت استحکام یا سایر جنبه‌ها آزمایش می‌شوند. لذا تعریف کیفیت جوش، عبارت است از تشخیص حضور، بازرسی و حذف یا تعمیر تمامی عیوب.

انتخاب کیفیت جوش

تعیین الزامات کلی برای فلز جوش عاملی اساسی است که تیم‌های طراحی و گروه‌های کیفی درگیر آن می‌باشند. کیفیت بیش از اندازه لازم، می‌تواند منجر به ایجاد هزینه‌های بالا، بدون هیچ‌گونه مزیت اضافی گردد، در همین حال، کاهش کیفیت در فلزات جوش ممکن است منجر به هزینه‌های نگهداری زیاد و نقصان بیش از حد در کارآیی گردد. لذا، هدف، تعیین کردن مشخصه‌هایی است که منجر به دستیابی به مقصود مورد نظر شود.

خوشبختانه، در نظام‌نامه‌ها و استانداردها، راهنمایی‌های ارزشمندی فراهم شده است که غالباً سطوح مجاز تنش، خواص و ناپیوستگی‌ها را در فلزات جوش مشخص می‌کند. این استانداردها مبتنی بر تجربه هستند و ایمنی آن‌ها اثبات گردیده است.

انتخاب کیفیت همچنین دربرگیرندۀ آن دسته از فاکتورهای اساسی که می‌توانند با استفاده از مکانیک شکست مورد تحلیل قرار گیرند و شماری فاکتورهای دیگر می‌باشند. فاکتورهای اصلی عبارتند از:

۱) شرایط سرویس

(a) سطح تنش، اندازه‌های مناسب سطوح مقطع می‌بایست مورد استفاده قرار گیرند تا از اضافی نبودن سطوح تنش اطمینان حاصل شود.

(b) طبیعت تنش، تحت بارگذاری دینامیک یا سیکلی، به ویژه زمانی که تعداد سیکل‌ها از 10^4 تجاوز می‌کند، خستگی می‌بایست مد نظر قرار گیرد.

(c) دمای کاری. دماهای پایین و بالا به ترتیب مستلزم طراحی برای شکست ترد و خزش می‌باشند.

(d) خوردگی و سایش

۲) خواص ماده

متناسب با طراحی انجام شده می‌بایست مواد دارای استحکام، چقرمگی، مقاومت به خوردگی و سایر خواص مرتبط در حد مناسب، انتخاب شوند. همچنین، سازنده باید از استفاده از روش‌هایی که خواص ماده را به مقادیری کم‌تر از سطوح قابل پذیرش کاهش می‌دهند خودداری کند، مواردی از قبیل شکل‌دهی سرد و گرم، عملیات حرارتی پس از جوشکاری، حرارت ورودی اضافی و یا ناکافی، از جمله روش‌های تضعیف خواص ماده می‌باشند.

۳) نقائص هندسی

طراحی باید نقایص هندسی را محدود کند تا بدین طریق ،اطمینان حاصل شود که این نقایص سبب ایجاد ترک یا نشتی نمی‌شوند. سازنده باید از روش‌هایی استفاده کند که از وقوع این نقایص در جوش اجتناب شود.

۴) خطر ایجاد عیوب

زمانی که موادی که جوشکاری آن‌ها دشوار است، در موقعیت‌های نامتعارف و یا در مکآن‌هایی که معمولاً کنترل کیفیت از اطمینان کم‌تری برخوردار است، جوشکاری می‌شوند، احتمال وجود عیوب بالا خواهد بود.

۵) خطر عدم تشخیص عیوب

ارزیابی داخلی جوش‌های گوشه معمولاً دشوار است. ارزیابی سایر جوش‌ها، زمانی که بازرسی آن‌ها محدود گردد، نیز این‌چنین هستند.

۶) عواقب انهدام

در جایی که احتمال انهدام بالا باشد، ممکن است کیفیت بالاتر و بازرسی بیشتر لازم باشد. عواقب انهدام با افزایش موارد زیر، وخیم‌تر می‌گردد:

(a) اندازهٔ فلز جوش

(b) انرژی ذخیره شده (انرژی پتانسیل بالا در برج‌های مرتفع، مخازن تحت فشار، دریچه‌های سد و غیره؛ انرژی جنبشی بالا در قطارهای در حال حرکت کشتی‌ها و غیره.)

(c) موقعیت مکانی نسبت به مردم.

(d) نقص در تولید (یک لولهٔ ساده بویلر، ممکن است نیازمند تلاش کمی برای تعمیر باشد، ولی در موردی این چنین، نقص ایجاد شده در تولید، هزینه زیادی تحمیل خواهد کرد.)

در پایان، مبنای انتخاب کیفیت کلی، تلفیقی از طراحی ساخت و آزمایش است که منجر به حصول کم‌ترین میزان هزینه کل در طول کل عمر فلز جوش می گردد. حداقل هزینه‌های اولیه، حداقل وزن، حداقل نقایص و ... هیچ‌یک نباید به تنهایی مبنای انتخاب کیفیت قرار گیرند.

کیفیت بهینه در هزینه‌ها مبتنی بر موارد مختلفی به شرح زیر است:

۱- هزینه‌های طراحی، مواد، ساخت، تضمین کیفیت

۲- هزینه‌های انهدام احتمالی ضرب در احتمال رخداد انهدام

۳- هزینه‌های سرویس (از جمله نگهداری).

بنابراین، خریدار باید واقف باشد که کم‌ترین هزینه ساخت بیان‌گر کم‌ترین هزینهٔ کل نمی‌باشد.

ناپیوستگی در جوش طبقه‌بندی ناپیوستگی‌ها

ناپیوستگی‌های اتصالات جوشکاری ذوبی را می‌توان به طور کلی در سه گروه عمده دسته‌بندی کرد، که عبارتند از ناپیوستگی‌های مرتبط با فرآیند و روش‌ها،ناپیوستگی‌های متالورژیکی و ناپیوستگی‌های مرتبط با طراحی. جدول ۱آن ناپیوستگی‌هایی را که به طور معمول در هر یک از سه گروه عمده در نظر گرفته می‌شوند، فهرست می‌کند. ناپیوستگی‌های فهرست شده، نباید به صورت قطعی و مطلق متعلق به یک گروه خاص تلقی شوند، چرا که ممکن است منشأ ثانویه‌ای در سایر گروه‌ها داشته باشند. ناپیوستگی‌های مرتبط با فرآیند و روش‌ها و ناپیوستگی‌های مرتبط با طراحی در اکثر موارد منعکس کننده مواردی هستند که سبب تغییر، یا تشدید تنش‌ها در منطقه جوش یا متأثر از حرارت (HAZ) می‌گردند برخی ناپیوستگی‌های متالوژیکی ممکن است سبب تغییر خواص فلز نیز شوند و اثرات متالوژیکی شیار را ایجاد کنند.

جدول ۱ – انواع ناپیوستگی ها

مرتبط با فرآیندها و روش‌های جوشکاری
A. هندسی
ناهم‌ترازی بریدگی کناره جوش تقعر یا تحدب گرده بیش از حد گرده نادرست همپوشانی Burn - through Backing left on B. سایر
لکه‌های قوس آخال‌های سرباره آخال‌های تنگستن لایه‌های اکسیدی پاشش حوضچه‌های قوسی
متالوژیکی
A . ترک‌ها یا شکاف‌ها

گرم سرد یا با تأخیر گرم‌کردن مجدد، تنش‌زدایی و یا پیر ـ کرنشی پارگی لایه‌ای/ ورقه‌ای B . تخلخل
کروی کشیده حفره کرمی شکل
C . منطقه متأثر از حرارت، تغییر در ریز ساختار
D . جدایش در منطقهٔ متأثر از حرارت و فلز جوش
E. ورقه‌ای شدن صفحه پایه
مرتبط با طراحی
A. تغییرات در مقطع و سایر موارد تمرکز تنش
B. نوع اتصال جوش

ناپیوستگی های جوش ذوبی

قبل از آغاز بحث ، به مقایسه اصطلاحات ناپیوستگی، عیب و نقص پرداخته می‌شود:

- **ناپیوستگی**

ناپیوستگی به یک قطع شدگی در ساختار معمول جوش گفته می‌شود. این ناپیوستگی می‌تواند عدم یکنواختی در خواص مکانیکی، متالورژیکی یا فیزیکی فلز پایه یا فلز جوش باشد. **یک ناپیوستگی لزوماً یک نقص نیست.**

- **عیب**

عیب تقریباً هم معنی ناپیوستگی است اما به طور ضمنی دلالت بر نامطلوب بودن آن دارد.

- **نقص**

نقص یک ناپیوستگی است که وجود آن یا اثرات ناشی از آن باعث عدم تطابق جوش با استانداردهای مورد پذیرش می گردد. این اصطلاح به قطعات مردود اطلاق می‌شود.

این بخش فقط در مورد ناپیوستگی‌هایی است، که بسته به خواص و یا نظام نامه های مشخص، می‌توانند جزء نقص(عیب) محسوب شوند. ناپیوستگی‌هافقط در صورتی عیب محسوب می‌شوند که از لحاظ نوع، اندازه، توزیع یا محل، از حدود مشخص شده خارج باشند .

- **انواع ناپیوستگی‌ها**

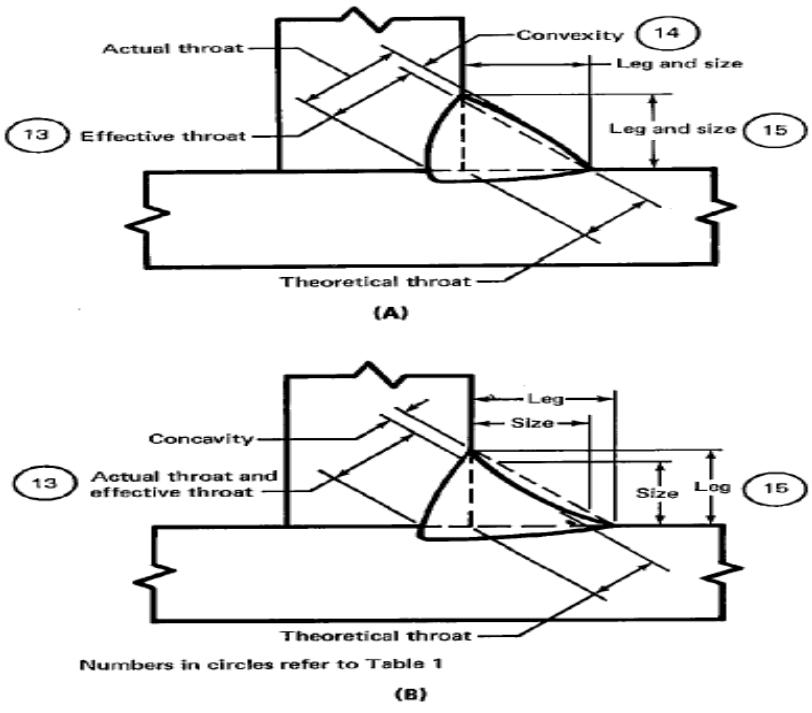
متداول‌ترین انواع ناپیوستگی‌ها در اتصالات سر به سر، T، گوشه و هم‌پوشانی در جدول ۲و تصاویر۱-۴نشان داده شده‌اند. فهرست نشان می‌دهد که عموماً در جوش، ناپیوستگی وجود دارد و می‌توان انتظار وجود آنرا تقریبا در تمام انواع جوش داشت. در این میان ناخالصی‌های تنگستن استثناء هستند. ناخالصی‌های تنگستن فقط در جوش‌هایی که توسط فرایند قوسی گاز تنگستن ایجاد می‌شوند مشاهده می‌شوند. ناپیوستگی جوش و فلز پایه در برخی فرآیندها و روش‌ها بیشتر خواهد بود.به طور مثال به جدول ۲ نگاه کنید.

جدول ۲ :ارتباط ناپیوستگی‌ها با فرآیندهای جوش

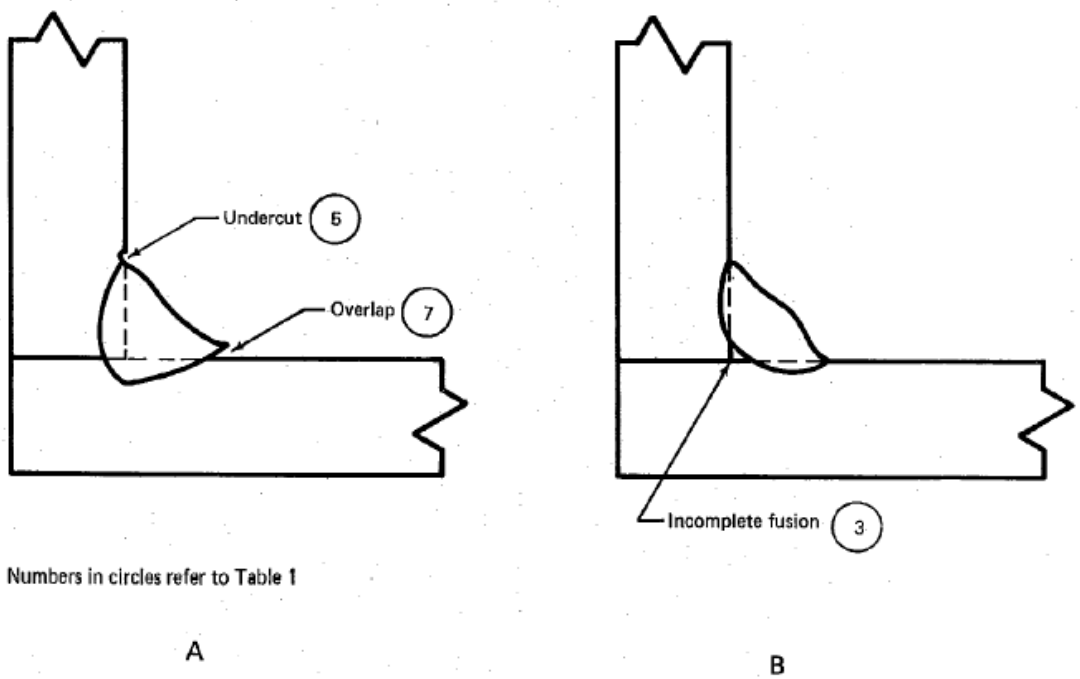
Welding Process	Type of Discontinuity						
Arc	**Porosity**	**Slag**	**Incomplete Fusion**	**Incomplete Penetration**	**Undercut**	**Overlap**	**Cracks**
SW—Stud welding			X		X		X
PAW—Plasma arc welding	X		X	X			X
SAW—Submerged arc welding	X	X	X	X	X	X	X
GTAW—Gas arc tungsten welding	X		X	X			X
GMAW—Gas metal arc welding	X	X	X	X	X	X	X
FCAW—Flux cored arc welding	X	X	X	X	X	X	X
SMAW—Shielded metal arc welding	X	X	X	X	X	X	X
CAW—Carbon arc welding	X	X	X	X	X	X	X
Resistance							
RSW—Resistance spot welding			X				X
RSEW—Resistance seam welding			X				X
PW—Projection welding			X				X
FW—Flash welding			X				X
UW—Upset welding			X				X
Oxyfuel Gas							
OAW—Oxyacetylene welding	X		X	X	X	X	X
OHW—Oxyhydrogen welding	X		X	X			X
PGW—Pressure gas welding	X		X				X
Solid state*							
CW—Cold welding			X				X
DFW—Diffusion welding			X				X
EXW—Explosion welding			X				
FOW—Forge welding			X				
FRW—Friction welding			X				
USW—Ultrasonic welding			X				
Other							
EBW—Electron beam welding	X		X	X			X
ESW—Electroslag welding	X	X	X	X	X	X	X
IW—Induction welding			X				X
LBW—Laser beam welding	X		X				X
PEW—Percussion welding			X				X
TW—Thermit welding	X	X	X				X

*Solid State is not a fusion process, so incomplete joining is incomplete welding rather than incomplete fusion.

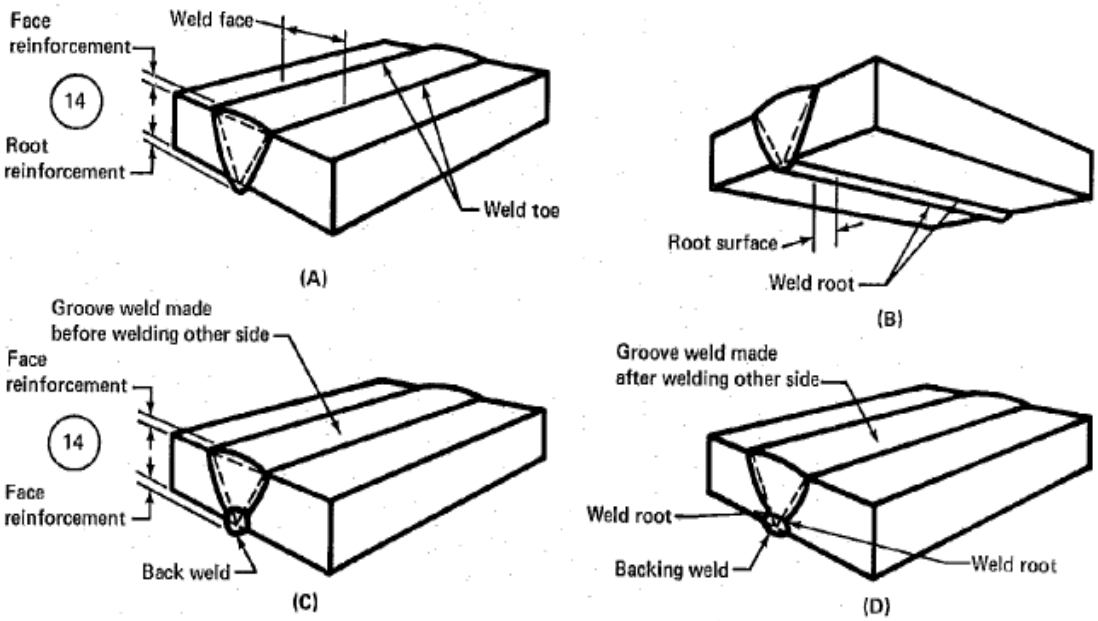
انواع ناپیوستگی‌های عمومی به طور دقیق در این بخش مورد بررسی قرار گرفته است. در AWSD 1-1 (کد جوشکاری سازه‌ای- فولاد) از عبارت ناپیوستگی همجوشی برای توصیف ناخالصی‌های سرباره، ذوب ناقص، نفوذ ناقص اتصال و ناپیوستگی‌های مشابه دیگر که در جوش‌های ذوبی به وجود می‌آیند استفاده شده است. در بسیاری از نظام نامه ها و مشخصات اشاره می‌شود که ناپیوستگی‌های نوع همجوشی خطر کمتری نسبت به ترک‌ها دارند. با این وجود، در برخی نظام نامه ها و مشخصات، نه تنها ترک‌ها، بلکه نفوذ ناقص اتصال یا همجوشی ناقص نیز ر د شده است. ناپیوستگی‌های کروی ،تقریبا همیشه حفرات گازی ، در هر جایی در جوش ممکن است وجود داشته باشند. ناپیوستگی‌های گسترش یافته می‌توانند در هر جهتی قرار گیرند. نوع اتصالات، روش‌های جوشکاری و شرایط تنشی، بر نوع، محل و میزان ناپیوستگی‌ها موثر می‌باشند.



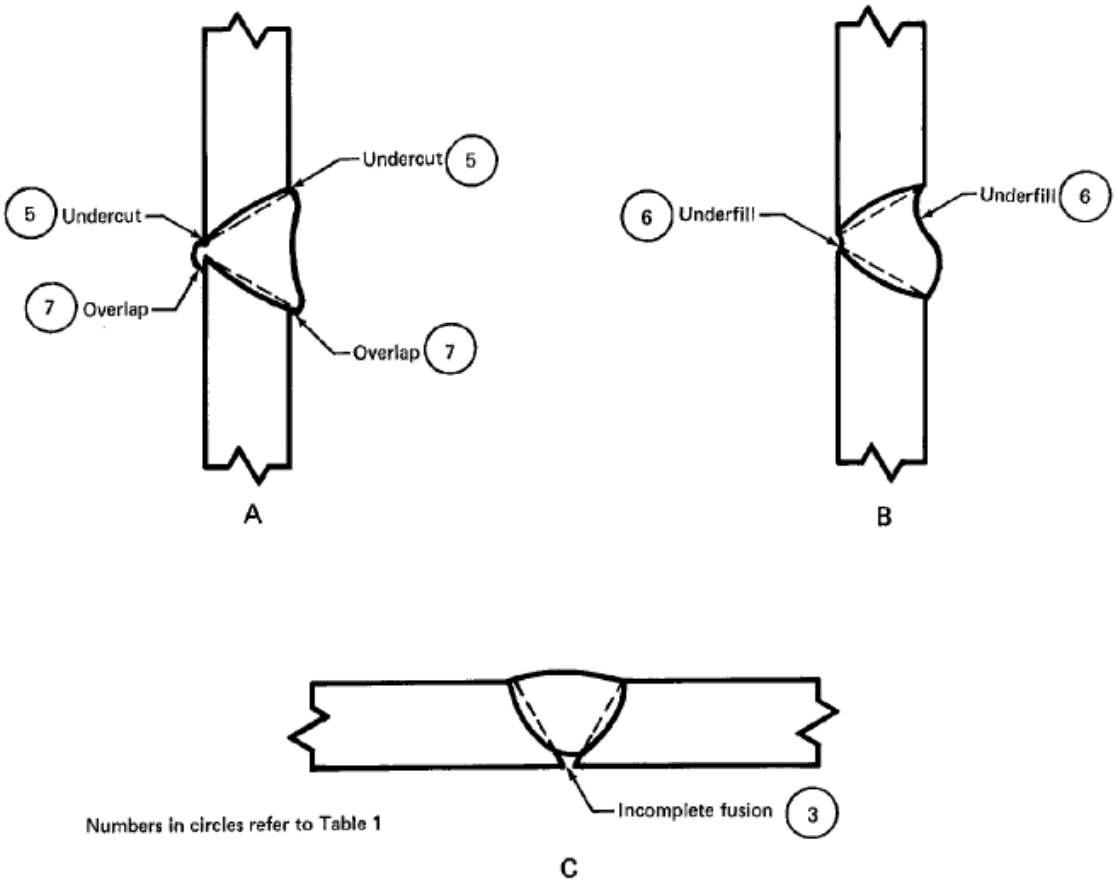
شکل ۱ : اصطلاحات مربوط به جوش گوشه



شکل۲: عیوب جوش گوشه



شکل۳: اصطلاحات مربوط به جوش شیاری



شکل۴ :عیوب مربوط به جوش شیاری

- **تخلخل**

تخلخل مورد نظر در این مبحث، نتیجه حبس گازها در فلز در حال انجماد است. این ناپیوستگی معمولا به صورت کروی است اما می‌تواند گسترش نیز پیدا کند. اگر تخلخل‌های گازی در شمش‌هایی که به محصولات کارپذیر تبدیل می‌شوند وجود داشته باشند، می‌توانند به صورت تورق در محصول نهایی بروز کنند.

این نوع ناپیوستگی بحرانی نبوده و ایجاد تمرکز تنش نمی‌کند، مگر اینکه مقدار آن بیش از حد معینی باشد. تخلخل بیش از حد، ناشی از عدم کنترل صحیح پارامترهای جوش، مواد مصرفی جوشکاری، طراحی اتصال، آلودگی فلز پایه و یا ترکیب نا مناسب فلز پر کننده مورد استفاده است. تخلخل به صورت عمده توسط هیدروژن ایجاد نمی‌شود اما وجود تخلخل می‌تواند نشانگر امکان وجود هیدروژن در جوش و منطقه حرارت دیده باشد، که می‌تواند موجب ایجاد ترک در مواد آهنی شود.

- **تخلخل با توزیع یکنواخت**

تخلخلی است که به صورت یکنواخت در فلز جوش توزیع شده باشد. مقدار زیاد تخلخل معمولا به علت روش نامناسب جوشکاری یا مواد نامناسب است. تکنیک نامناسب آماده سازی اتصال یا مواد نامناسب مورد استفاده می‌توانند موجب به وجود آمدن تخلخل گردند.

اگر جوش به اندازه کافی آرام سرد شود تا بیشتر گاز قبل از انجماد، از سطح خارج شود، تخلخل کمی در جوش باقی می ماند.

- **تخلخل خوشه‌ای**

به گروهی موضعی از تخلخل ها گفته می‌شود که معمولا علت آن شروع یا اتمام نامناسب قوس جوشکاری است.

- **تخلخل خطی**

مجموعه‌ای از تخلخل‌ها که دارای جهت هستند و معمولا در راستای مرز جوش، لایه های جوش[1]، یا در نزدیکی ریشه جوش به وجود می‌آیند. علت تشکیل آن ایجاد گاز در محل به علت آلودگی است.

- **تخلخل لوله‌ای**

یک تخلخل گازی ازدیاد طول یافته است. تخلخل لوله‌ای در جوش‌های Fillet از ریشه جوش به سمت سطح جوش حرکت می‌کند. وقتی یک یا دو تخلخل در سطح جوش مشاهده شود، بررسی بیشتر احتمالا وجود تخلخل‌های بیشتر زیر سطح را نشان خواهد داد. بیشتر تخلخل‌های لوله‌ای مشاهده شده در جوش‌ها، تا سطح ادامه پیدا نمی‌کنند. تخلخل لوله‌ای در جوش‌های ایجاد شده با فرآیند سرباره الکتریکی می‌تواند بسیار بلند باشد، مثلا در حدود in ۲۰(۵۰۸ میلی‌متر)

- **ناخالصی‌ها**

-ناخالصی‌های سرباره

مواد جامد غیرفلزی هستند که در فلز جوش یا بین فلز جوش و فلز پایه محبوس شده‌اند. این ناخالصی‌ها می‌توانند در بیشتر روش‌های جوشکاری مشاهده شوند. به طور کلی ناخالصی‌های سرباره بر اثر روش نامناسب جوشکاری، طراحی نامناسب اتصالات یا تمیزکاری نامناسب جوش بین پاس‌ها به وجود می آیند. معمولا سرباره

مذاب به سمت بالای جوش جریان پیدا می‌کند. شکاف‌های تیز در مرز جوش یا بین پاس‌ها معمولا باعث حبس سرباره داخل فلز جوش مذاب می‌شود.

- **ناخالصی‌های تنگستن**

ذرات تنگستن محبوس در فلز جوش هستند که مختص روش جوشکاری قوسی تنگستنی است. در این فرایند، از یک الکترود غیرمصرفی تنگستن برای ایجاد قوس جوشکاری، بین الکترود و جوش یا فلز پایه استفاده می‌شود. اگر الکترود تنگستن به داخل فلز مذاب وارد شود و یا اگر جریان خیلی زیاد باشد و ذرات تنگستن رسوب کنند، ناخالصی‌های تنگستن به وجود خواهد آمد. ناخالصی‌های تنگستن به صورت علائم و یا مناطق روشن در فیلم رادیوگرافی مشاهده می‌شوند زیرا تنگستن چگال تراز فولاد یا آلومینیم است و اشعه بیشتری جذب می‌کند، در صورتی که تقریبا تمامی انواع دیگر ناپیوستگی ها، به صورت مناطق تاریک در فیلم رادیوگرافی مشاهده می‌شوند.

- **ذوب ناقص**

در نتیجه روش نامناسب جوشکاری، آماده سازی نامناسب فلز پایه، یا طراحی نامناسب اتصال به وجود می آید. دلایل به وجود آورنده ذوب ناقص عبارتند از حرارت ناکافی جوشکاری یا عدم دسترسی کافی به تمام وجوه همجوشی، یا هر دو. همچنین اکسیدهای به شدت چسبنده نیز جلوی ذوب کامل را می‌گیرند، گاهی اوقات با وجود دسترسی و حرارت کافی برای جوشکاری، اکسیدهای به شدت چسبنده، جلوی ذوب کامل را می گیرند.

- **نفوذ ناقص اتصال**

در صورت عدم نفوذ فلز جوش به اتصال ایجاد می شود. منطقه نفوذ نکرده، یک ناپیوستگی محسوب می‌شود که به آن نفوذ ناقص گفته می‌شود. نفوذ ناقص می‌تواند براثر حرارت ناکافی جوش، طراحی نامناسب اتصال (مثلا ضخامت زیاد و عدم توانایی نفوذ قوس جوشکاری)، یا کنترل نامناسب قوس جوش به وجود آید. برخی روش‌های جوشکاری دارای توانایی نفوذی بیشتری نسبت به دیگر روش‌ها هستند. برای اتصالاتی که از هر دو طرف جوش داده می‌شوند، می‌توان قبل از جوشکاری طرف دوم، از سوراخکاری معکوس[۲] استفاده کرد تا از نفوذ کامل اطمینان حاصل شود. جوش لوله‌ها به این نوع ناپیوستگی بسیار حساس است زیرا دسترسی به داخل لوله معمولا امکان‌پذیر نیست. طراحان معمولاً در چنین مواردی از یک میله پشتبان و یا قطعه مصرفی برای کمک به جوشکاراستفاده می‌کنند. جوش‌هایی که نیازمند نفوذ کامل هستند، معمولا توسط روش‌های

غیرمخرب مورد بازرسی قرار می‌گیرند. این موضوع به خصوص در پل‌ها، خطوط لوله، محفظه‌های تحت فشار و کاربردهای هسته‌ای صدق می‌کند.

- **بریدگی کنار جوش**

معمولا به علت روش نامناسب جوشکاری یا جریان اعمالی بیش از حد یا هر دو، این عیب به وجود می‌آید. بریدگی کنار جوش شیاری است که در فلز پایه در مجاورت انتهای جوش یا ریشه جوش ایجاد شده و فلز جوش آن را پر نمی‌کند. این شیار موجب تشکیل یک شکاف مکانیکی شده و ایجاد تمرکز تنش می‌کند. وقتی بریدگی کنار جوش در محدوده خاصی که در مشخصات مورد نظر مشخص شده ،کنترل شود و شیار عمیق و تیزی ایجاد نکند، به عنوان یک نقص جوش شناخته نمی‌شود.

- **پر شدن ناکافی**

این عیب به صورت فرورفتگی وجه جوش یا گسترش سطح ریشه زیر سطح مجاور فلز پایه است. علت آن عدم موفقیت جوشکار در پر کردن کامل اتصال جوش می‌باشد.

- **همپوشانی**

پیش آمدگی فلز جوش تا جلوتر از انتهای جوش یا ریشه است. علت این امر می‌تواند کنترل ناکافی فرآیند جوشکاری، انتخاب نامناسب مواد جوشکاری، یا آماده سازی نامناسب فلز پایه باشد. معمولاً با وجود اکسیدهای بسیار چسبنده روی فلز پایه که مانع از ذوب فلز گردند، نیز همپوشانی رخ می‌دهد. همپوشانی یک ناپیوستگی سطحی است که یک شکاف مکانیکی ایجاد می‌کند و تقریبا همیشه مردود تلقی می‌شود.

- **ترک‌ها**

زمانی که تنش‌های موضعی از حد استحکام ماده فراتر روند در جوش و یا فلز پایه ایجاد می‌شوند. ترک خوردگی معمولا به علت افزایش تنش در نزدیکی ناپیوستگی‌ها در جوش یا فلز پایه، یا در نزدیکی شیارهای مکانیکی مربوط به طراحی جوش به وجود می‌آیند. تنش پسماند بالا و تردی هیدروژن معمولاً موجب تشکیل ترک می‌شود. ترک‌های مربوط به جوشکاری معمولاً ترد هستند و تغییر شکل پلاستیک کمی در مرز ترک نشان می‌دهند.

انواع ترک‌ها به دو دستهٔ ترک‌های گرمو ترک‌های سرد تقسیم می‌شوند. ترک‌های گرم در حین انجماد به وجود می‌آیند. در حالی که ترک‌های سرد بعد از تکمیل انجماد به وجود می‌آیند. ترک‌های سرد که به آن‌ها ترک‌های تأخیری نیز گفته می‌شود، معمولا در رابطه با تردی هیدروژنی به وجود می‌آیند. ترک‌های گرم بین دانه‌ها اشاعه پیدا می‌کنند و ترک‌های سرد هم بین دانه‌ها و هم داخل دانه‌ها گسترش پیدا می‌کنند.

- **جهت‌گیری ترک**

ترک‌ها می‌توانند طولی یا عرضی باشند، که این امر به جهت‌گیری آن‌ها بستگی دارد. ترک موازی محور جوش ترک طولی نامیده می‌شود، فارغ از این که یک ترک مرکزی در فلز جوش یا یک ترک انتهایی در منطقه حرارت دیده فلز پایه باشد. ترک‌های عرضی عمود بر محور جوش هستند. این ترک‌ها ممکن است از نظر اندازه محدود باشند و به طور کامل در فلز جوش قرار گیرند یا از فلز جوش به منطقه حرارت دیده مجاور خود در فلز پایه اشاعه پیدا کنند. در برخی قطعات جوش داده شده، ترک‌های عرضی در جوش دیده نمی شوند بلکه در منطقه حرارت دیده مشاهده می‌شود.

- **ترک‌های طولی**

در جوشکاری با قوس زیرپودری ، به علت سرعت بالای جوشکاری به وجود می‌آیند و گاهی نیز در اثر تخلخل‌هایی به وجود می‌آیند که در سطح جوش قابل مشاهده نیستند. ترک‌های طولی در جوش‌های کوچک بین مقاطع سنگین، معمولا بر اثر سرعت بالای سرد شدن و تنش بالا رخ می‌دهند.

- **ترکهای عرضی**

معمولا بر اثر تنش‌های طولی انقباضی، روی فلز جوش با چکشخواری کم به وجود می‌آیند.

- **ترک‌های چاله انتهایی جوش**

در اثر قطع نامناسب جوشکاری قوسی در چاله انتهایی جوش به وجود می‌آیند. گاهی به آن‌ها ترک‌های ستاره‌ای نیز گفته می‌شود، هر چند که به شکل‌های دیگری هم مشاهده می‌گردند. این ترک‌ها کم عمق هستند، ترک‌های گرم معمولا یک شبکه چنگکی ستاره‌ای ایجاد می‌کنند.

- **ترک‌های گلویی**

این ترک‌ها، ترک‌های طولی در وجه جوش، در جهت محور هستند و معمولاً ولی نه همیشه از انواع ترک گرم هستند.

- **ترک‌های انتهایی**

معمولا ترک‌های سرد هستند. از انتهای جوش، جایی که در آن تنش‌های انقباضی متمرکز شده‌اند، آغاز شده و اشاعه می‌یابند. ترک‌های انتهایی تقریباً عمود بر سطح فلز پایه به وجود می‌آیند. این ترک‌ها معمولاً بر اثر تنش‌های انقباضی حرارتی روی منطقه حرارت دیده وجود می‌آیند. برخی ترک‌های انتهایی به این علت به وجود می‌آیند که خواص کششی عرضی فلز پایه نمی‌تواند تنش‌های انقباضی که در جوش ایجاد می‌شود را تحمل کند.

- **ترک‌های ریشه**

ترک‌های طولی ایجاد شده در ریشه جوش یا سطح ریشه هستند. این ترک‌ها می‌توانند از نوع گرم یا سرد باشند.

- **ترک‌های مهره جوش و منطقه حرارت دیده**

معمولا ترک‌های سردی هستند که در منطقهٔ حرارت دیدهٔ فلز پایه ایجاد می‌شوند. معمولاً کوتاه بوده، اما ممکن است به هم بپیوندند و یک ترک پیوسته ایجاد کنند. این ترک‌ها در صورت وجود سه عامل (۱) هیدروژن، (۲) ریزساختار با چکشخواری نسبتاً پایین و (۳) تنش پسماند بالا، تشکیل می‌شوند. ترک‌های مهره جوش باعث ایجاد مشکلات اساسی می گردند. ترک‌های مهره جوش و منطقه حرارت دیده می‌توانند به صورت طولی یا عرضی باشند. این ترک‌ها در فواصل یکسان در مهره های جوش و همچنین در مرزهایی در منطقه حرارت دیده که تنش‌های پسماند در آن بالاتر است به وجود می‌آید.

- **گلویی ناکافی**

یک فرورفتگی روی وجه جوش گوشه است که موجب می‌شود، گلویی جوش برای آن جوش گوشه کافی نباشد. این عیب به علت عدم توانایی جوشکار در ذوب فلز پایه و یا رسوب فلز پرکننده کافی در منطقه گلویی است.

- **تحدب و تقویت جوش**

تحدب وضعیتی است که در جوش‌های گوشه به عنوان حداکثر فاصله از وجه جوش گوشه محدب تا خط اتصال دهندهٔ انتهای جوش تعریف می‌شود. در جوش‌های شیاری، تقویت جوش به عنوان فلز جدید اضافی، بیشتر از مقدار لازم، برای پر شدن اتصال تعریف می‌گردد.

- **ساق ناکافی**

به معنای ساق کوچکتر از حد لازم در جوش گوشه می‌باشد.

- **بی‌نظمی‌های سطح**

۱. **حفره‌های سطحی**

در برخی موارد، شرایط جوشکاری سبب تشکیل حفره در سطح گردهٔ جوش می‌شوند. الگوی این عیوب می‌تواند از حفره‌های منفرد در فاصلهٔ هر چند اینچ تا حفره‌های متعدد در هر اینچ متغیر باشد. گازهایی که

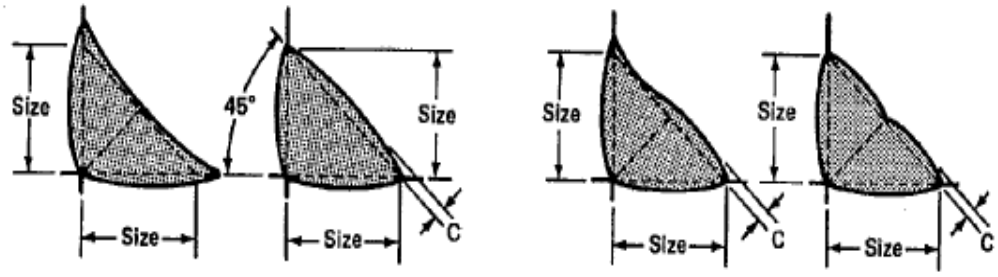
قطرات فلز پرکنندهٔ مذاب را در قوس و در حوضچه مذاب جوش حفاظت می‌کنند، عامل مهمی در کیفیت فلزجوش تولید شده محسوب می‌شوند. هر تغییری که حفاظت گاز را تغییر دهد، جوش را تحت تأثیر قرار خواهد داد. یک مثال از چنین تغییری تفاوت مابین حفاظت در قوس در زمانی است که پاس جوش در کف یک شیار نازک رسوب داده می‌شود، و حفاظتی که در زمان رسوب لایهٔ رویی همان جوش وجود دارد. بهبود در ظاهر گردهٔ جوش، معمولاً از طریق تغییر شرایط جوشکاری از قبیل قطبیت[۳] یا طول قوس حاصل می‌گردد.

از بین بردن حفره‌های سطحی، دارای اهمیت زیادی است، چرا که این حفره‌ها می‌توانند سبب به دام افتادن سرباره یا سایر ناپیوستگی‌ها گردند. در مواقعی که هدف به دست آوردن جوش‌هایی بی‌نقص باشد، فرض این که حفره‌ها هنگام رسوب لایهٔ بعدی فلزجوش از بین می‌روند، فرض مطمئنی نخواهد بود. حفره‌های سطحی می‌بایست پیش از رسوب دادن لایه‌های بعدی، از طریق تراشه‌برداری یا سنگ‌زنی حذف گردند.

۲. سایر بی‌نظمی های سطحی

عرض متغیر لایه های سطحی، فرورفتگی‌ها، تغییرات در ارتفاع گرده، یکنواخت نبودن موج‌های جوشکاری و سایر بی‌نظمی‌های سطحی ممکن است به عنوان ناپیوستگی‌های جوش دسته‌بندی نشوند. در هر حال این‌ها بخشی از جوش هستند. بی‌نظمی‌های سطحی ممکن است یکپارچگی جوش کامل را تحت تأثیر قرار ندهند، ولی در بسیاری موارد توسط الزامات مشخصات فنی پوشش داده شده و موضوع بازرسی خواهند بود.

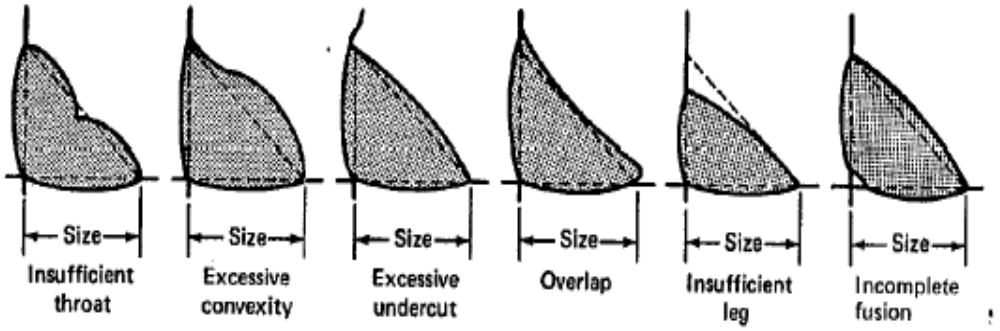
اختلالات مغناطیسی ، تکنیک ضعیف جوشکاری، و شرایط نادرست الکتریکی، می‌توانند در ایجاد انواع معینی از بی‌نظمی‌های سطحی نقش داشته باشند. چنین شرایطی ممکن است ناشی از کمبود تجربه و یا عدم دسترسی به اتصال جوشکاری باشند. در یک بیان کلی، ظاهر سطح، منعکس کننده توانایی و تجربه جوشکار است و وجود بی‌نظمی‌های سطحی ممکن است تا حد زیادی مضر باشد. جوش‌های دارای سطوح یکنواخت، هم به دلایل ساختاری و هم بصری مطلوب هستند. نمونه جوش گوشه با ظاهر بد سطحی در شکل شان داده شده است. نمونه جوش رضایت‌بخش در شکل نمایش داده شده است. بهترین راه برای قضاوت در خصوص سطوح قابل پذیرش جوش،استفاده از نمونه‌های ساخت می‌باشد.



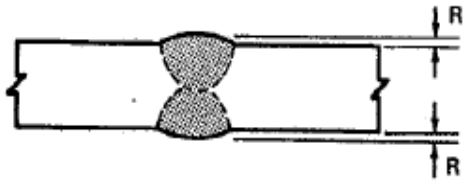
Note: C denotes convexity.

(A) Desirable fillet weld profiles

(B) Acceptable fillet weld profiles

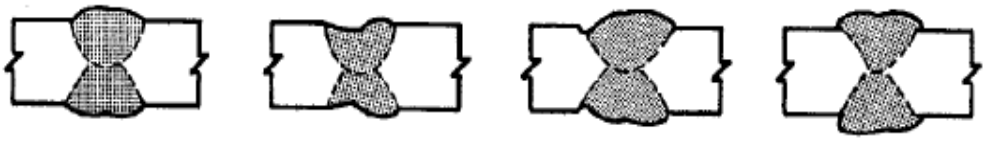


(C) Unacceptable fillet weld profiles



Note: R denotes reinforcement.

(D) Acceptable butt weld profile



Excessive convexity | Insufficient throat | Excessive undercut | Overlap

(E) Unacceptable butt weld profiles

شکل ۵ پروفیل قابل قبول و غیرقابل قبول جوش

جدول۳ – عیوب و راه حل آنها

علت	راه حل
تخلخل	
هیدروژن، نیتروژن، یا اکسیژن اضافی دراتمسفر جوشکاری	استفاده از فرآیند جوشکاری کم ـ هیدروژن؛ فلزات پرکنندهٔ حاوی مقادیر زیاد مواد اکسیژن‌زدا؛ افزایش سیلان گاز محافظ
سرعت بالای انجماد	بکارگیری پیشگرم یا افزایش حرارت ورودی
فلز پایه کثیف	تمیزکاری سطوح اتصال و سطوح مجاور
فلز پرکنندهٔ کثیف	استفاده از فلزهای پرکننده‌ای که به طور مخصوص تمیزکاری و بسته‌بندی شده باشند، و نگهداری آن‌ها در محل تمیز
صحیح نبودن طول قوس، جریان جوشکاری، یا نحوه به‌کارگیری دستی الکترود	تغییر شرایط و تکنیک‌های جوشکاری
تبخیر روی از برنج	استفاده از فلز پرکننده مس ـ سیلسیم کاهش حرارت ورودی
فولاد گالوانیزه	استفاده از الکترودهای E7010 ودستکاری حرارت قوس به منظور تبخیر گالوانیزه (روی) پیشاپیش حوضچهٔ مذاب جوش
رطوبت اضافی در پوشش الکترود و یا روی سطوح اتصال	استفاده از روش‌های توصیه شده جهت نگهداری و ذخیره‌سازی الکترودها، پیشگرم فلز پایه
فلز پایه محتوی گوگرد بالا	استفاده از الکترودهای دارای واکنش‌های سرباره سازی بازی (قلیایی)
آخال	
زدودن ناموفق سرباره	تمیزکاری سطح و گردهٔ قبلی جوش
به دام افتادن اکسیدهای دیرگداز	برس‌کشی کامل روی گردهٔ قبلی جوش
تنگستن در فلز جوش	اجتناب از تماس بین الکترود و قطعه کار؛ استفاده از الکترودهای بزرگ‌تر
طراحی نادرست اتصال	افزایش زاویه شیار (groove angle) اتصال

آخال‌های اکسیدی	فراهم کردن محافظت گازی مناسب
ترک‌خوردن فلز جوش	
اتصال بسیار مقید	پیش‌گرم،رهاسازی تنش‌های پسماند بصورت مکانیکی، به حداقل رساندن تنش‌های انقباضی با استفاده ازbackstep یا رعایت ترتیب جوشکاری
درجه رقت بیش از حد	تغییر دادن جریان جوشکاری و سرعت حرکت جوشکاری با الکترود پوشش‌دار منفی؛ لایه نشانی (buttering) سطوح اتصال پیش از انجام جوشکاری
ترک خوردن فلز جوش	
الکترودهای معیوب	تعویض با الکترودهای نو؛ پختن الکترود به هدف حذف رطوبت
ضعف در جور کردن (fit – up)	کاهش درز اتصال؛ افزایش build up با فلز جوش
گرده جوش کوچک	افزایش سایز الکترود؛ افزایش جریان جوشکاری؛ کاهش سرعت حرکت
فلزپایهٔ غنی از گوگرد	استفاده از فلز پرکننده حاوی گوگرد کم
اعوجاج زاویه‌ای	تغییر به جوشکاری متعادل در هر دو طرف اتصال
ترک خوردن چاله انتهایی جوش	پرکردن چاله انتهایی جوش پیش از خاموش کردن قوس؛ استفاده از دستگاه زوال جریان جوشکاری (decay device) در زمان تمام کردن گردهٔ جوش
ترک خوردن فلز پایه	
هیدروژن در اتمسفر جوشکاری	استفاده از فرآیند جوشکاری کم هیدروژن؛ انجام پیشگرم و دوساعت نگهداری پس از جوشکاری یا انجام بی‌درنگ عملیات حرارتی پس از جوشکاری
ترک داغ	استفاده از حرارت ورودی پایین؛ رسوب‌دهی لایه‌های نازک؛ تعویض فلز پایه
داکتیلیتی پایین	به کارگیری پیشگرم؛ آنیل کردن فلز پایه
تنش‌های پسماند زیاد	طراحی مجدد فلزجوش؛ تغییر توالی مراحل جوشکاری ؛ اعمال عملیات حرارتی واسطه‌ای تنش‌زدایی
سختی‌پذیری بالا	پیشگرم؛ افزایش حرارت ورودی؛ عملیات حرارتی بدون سرد کردن تا دمای اتاق
فازهای شکننده در ریزساختار	عملیات حرارتی انحلال پیش از جوشکاری

روش‌های بازرسی غیرمخرب

مفهوم بازرسی غیر مخرب

تست غیرمخرب (NDT) به روش‌های بازرسی اتلاق می‌شود که در آن‌ها کارایی یک قطعه بدون تغییر یا از بین رفتن آن قطعه، مورد بررسی قرار می‌گیرد.

تست غیرمخرب(NDT) در بردارندهٔ عبارات متعددی است که برای توصیف فعالیت‌های متنوعی در این زمینه به کار گرفته می‌شوند. برخی از این عبارات، عبارتند از بررسی غیرمخرب (NDE) ، بازرسی غیرمخرب (NDI) و آزمون غیرمخرب (که NDE نامیده شده ولی شاید بهتر باشد NDEX نامیده شود). این فعالیت‌ها مشتمل بر آزمایش، بازرسی و آزمودن هستند، که شباهت آن‌ها از این جهت است که همگی در درجه اول با نگاه افکندن به (یا به درون) یا اندازه‌گیری مشخصه‌ای در مورد یک شیء، به منظور تعیین برخی مشخصه‌های آن شیء یا به منظور تعیین این که آیا شیء مورد بررسی دارای نامنظمی‌ها، ناپیوستگی‌ها یا نقص‌هایی می‌باشد یا خیر، همراهند.

تست‌های غیرمخرب به علل زیر روی قطعات جوش اعمال می‌شوند:

۱- افزایش قابلیت اطمینان محصول
۲- جلوگیری از حوادث با حذف محصولات معیوب
۳- تعیین قابل قبول بودن قطعه با توجه به یک کد یا مشخصه
۴- اطلاعات برای تصمیم‌گیری در مورد تعمیرات
۵- کاهش هزینه با حذف فرآوری بعدی اجزاء مردود

عبارات نامنظمی، ناپیوستگی و نقص هر سه می‌توانند به جای یکدیگر برای توصیف چیزی که در یک بخش از مجموعه سؤال برانگیز می‌شود، به کار گرفته شوند، اما مشخصات فنی، نظام‌نامه‌ها و کاربری محلی می‌توانند سبب ارائه تعاریف متفاوتی از این عبارت‌ها شوند. از آنجایی که این عبارات، همگی توصیف کننده چیزی هستند که از طریق آزمایش، بازرسی و آزمودن، مورد جستجو قرار دارد، عبارت NDE (بررسی غیرمخرب) برای در برگرفتن تمامی فعالیت‌ها NDT , NDI , NDEX مطرح شده است که به منظور یافتن، تعیین مکان و اندازه یا تعیین مشخصه‌ای در خصوص شیء یا نقایص مورد استفاده قرار گرفته و به محقق امکان می‌دهند که درخصوص این که شیء یا نقایص ، قابل پذیرش هستند یا خیر، تصمیم‌گیری کند. نقصی که غیرقابل پذیرش ارزیابی شده باشد معمولاً با عنوان عیب نامیده می‌شود.

روش‌های بازرسی غیرمخرب، به جز در بازرسی چشمی، شامل المان‌های زیر می‌باشند:

۱- منبع انرژی

۲- یک قطعه کار که با منبع انرژی هماهنگی داشته باشد

۳- قطعه آزمون برای اندازه‌گیری تفاوت‌ها، یا اثرات انرژی اعمالی

۴- وسیله‌ای برای نشان دادن و ثبت نتایج آزمون

۵- اپراتور آموزش دیده

۶- دستورالعمل برای انجام تست

۷- سیستم گزارش نتایج

مشترکات زیادی بین کاربرد آزمون‌های مخرب و غیرمخرب وجود دارد. به عنوان مثال، آزمون‌های مخرب یا آزمون‌های اثباتی معمولا برای تکمیل، تأیید یا تعیین حدود آزمون‌های غیرمخرب و تأمین اطلاعات اضافی مورد استفاده قرار می‌گیرند.

نوع انرژی که می‌توان برای آزمون غیرمخرب یک قطعه جوش به کار برد، به خواص فیزیکی فلز پایه و فلز جوش و طراحی اتصال بستگی دارد. دانش دقیق در مورد هر یک از روش‌های NDT برای انتخاب صحیح روش‌های مناسب در هر کاربرد ضروری است. روش‌های متداول NDT که قابل به‌کارگیری برای بررسی قطعات جوش هستند عبارتند از:

۱- بررسی چشمی(VT) ، با استفاده یا بدون استفاده از ابزارهای نوری کمکی

۲- مایع نافذ(PT)

۳- ذرات مغناطیسی(MT)

۴- رادیوگرافی (RT)

۵- جریان گردابی (ET)

۶- اولتراسونیک (UT)

۷- انتشار امواج صوتی (AET)

علاوه بر روش‌های ذکر شده ، روش‌های دیگری همچون انتقال حرارت و تست فریت وجود دارند، که در موارد خاصی مورد استفاده قرار می‌گیرند.

انتخاب روش‌های NDT

انتخاب صحیح یک روش NDT یا تلفیقی از روش‌هایNDT در وهلهٔ اول نیازمند آگاهی دقیق از مسأله مورد حل می‌باشد.پس از آن ضروری است که از میان گزینه‌های مختلف، روش‌های NDT که مناسب‌تر برای بررسی می‌باشند، انتخاب و جدا شوند.

راه‌های متعدد و متفاوتی برای مقایسه روش‌هایNDT منتخب در این کتاب ارائه شده‌اند، ولی اساساً سیستم مقایسه‌ای که به طور کامل پذیرفتنی باشد وجود ندارد، چرا که نتایج وابستگی بسیار زیادی به کاربرد مورد نظر دارند. بنابراین، توصیه می‌شود مقایسه به طور خاص برای هر بخش NDT و کاربرد مشخص بسط داده شود. اعتباریابی نهایی هر پروتکل NDT بستگی به آزمایش‌های پذیرش انجام گرفته با استفاده از استانداردهای مناسب کالیبراسیون خواهد داشت.

تست غیرمخرب به آسانی می‌تواند به نه زمینه مجزا تقسیم گردد:

- تشخیص و بررسی (ارزیابی) نقایص
- تشخیص و بررسی نشتی
- مترولوژی (اندازه‌گیری ابعاد) و ارزیابی
- تعیین و بررسی مکان
- شناسایی ساختار یا ریزساختار
- تخمین خواص فیزیکی و مکانیکی
- تعیین عکس‌العمل به تنش (کرنش) و عکس‌العمل دینامیک
- آنالیز نشان‌ها
- تعیین ترکیب شیمیایی

نظر به این که دو مورد از زمینه‌های فوق‌الذکر ـ آنالیز نشان‌ها و تعیین ترکیب شمیایی ـ معمولاً در مباحث مرتبط با کاربرد NDT لحاظ نمی‌گردند و لذا تحت پوشش مباحث این بخش قرار نمی‌گیرند، بحث بیشتری روی آن‌ها صورت نمی‌گیرد. هفت زمینه باقی‌مانده تفاوت‌های گسترده‌ای دارند و بنابراین هر یک به طور جداگانه به همراه منتخبی از روش‌های NDT خاص در همان زمینه، مورد بحث قرار خواهند گرفت.

سه پارامتر اصلی باید در انتخاب روش بازرسی مد نظر قرار گیرد: (۱) مزایا و محدودیت‌های روش بازرسی، (۲) استانداردهای رد یا پذیرش (۳) هزینه .

- **محدودیت‌های روش بازرسی**

مزایا و محدودیت‌های روش بازرسی را می‌توان برای تعیین اینکه کدام روش یا روش‌ها بهترین نتایج را برای یک تست خاص به همراه دارند به کار برد. به عنوان مثال، رادیوگرافی می‌تواند ترک‌هایی را مشخص کند که صفحه اصلی آن‌ها موازی اشعه است، این ترک‌ها معمولا عمود بر سطح صفحه هستند. با این وجود، رادیوگرافی نمی‌تواند تورق در صفحه یا ترک‌های موازی سطح را تشخیص دهد. در حالی‌که، در صورت استفاده مناسب از روش اولتراسونیک می‌توان ترک‌ها در جهات مختلف را نشان داد .

- **استانداردهای رد یا پذیرش**

عبارت" جوش باید تحت بازرسی رادیوگرافی قرار بگیرد" هیچ معنایی ندارد، مگر وقتی که استانداردهای پذیرش جوش مشخص شود. استانداردهای پذیرش، ویژگی‌های مختلف انواع ناپیوستگی‌ها و اینکه آیا هر نوع ناپیوستگی قابل قبول است یا خیر را مشخص می‌کنند. اگر نوع خاصی از ناپیوستگی مجاز باشد، استانداردهای پذیرش باید حداکثر اندازه مجاز آن را بیان کند .

- **هزینه**

روش‌های مختلف بازرسی در شرایط متفاوت هزینه‌های مختلفی را شامل می‌شوند. دو عامل اصلی هزینه که در انتخاب روش بازرسی غیر مخرب باید مد نظر قرار گیرند، هزینه تجهیزات اولیه، و هزینه اجرای بازرسی می‌باشند. بازرسی چشمی معمولا همیشه ارزان‌ترین روش است اما فقط به تشخیص ناپیوستگی‌های سطحی محدود می‌شود. به طور کلی، هزینه روش‌های بازرسی رادیوگرافی، اولتراسونیک و جریان گردابی بیشتر از هزینه روش‌های چشمی، ذرات مغناطیسی و مایع نافذ است.

انتخاب روش مناسب می‌تواند بسیار پیچیده باشد. برای رسیدن به هدف مورد نظر و به حداقل رساندن هزینه‌ها، عموماً از یک تکنسین یا مهندس تست‌های غیر مخرب کمک گرفته می شود.

- **تشخیص و ارزیابی نقایص**

تشخیص نقایص ،معمولاً مهمترین جنبه NDT محسوب می‌گردد. رویکردهای متعددی برای گزینش روش‌های NDT متصور است. یکی از رویکردها چنین است که فرض شود تنها شش عامل بنیادی در انتخاب روش‌های NDT دخیل هستند:

- دلیل (دلایل) به کارگیری NDT
- نوع (انواع) نقایص مورد نظر در نمونه مورد آزمایش
- اندازه و جهت‌گیری نقیصه‌ای که رد کردنی است.
- مکان پیش‌بینی شده نقایص مورد نظر در نمونه مورد آزمایش
- اندازه و شکل نمونه مورد آزمایش
- ویژگی‌های ماده مورد ارزیابی

مهمترین سوالی که باید پیش از انتخاب یک روش NDT به آن پاسخ داد، این است که دلیل (دلایل)، برای انتخاب یک روش NDT چیست؟ در این خصوص دلایل مختلفی محتمل هستند، دلایلی از قبیل:

- تعیین این امر که آیا شیء مفروض پس از هرگام از مراحل ساخت، قابل پذیرش است یا خیر؛ این شاخه می‌تواند NDT در حین فرآیند یا بازرسی در حین فرآیند نامیده شود.
- تعیین این امر که آیا شیء مفروض برای مصرف نهایی قابل پذیرش است یا خیر، این شاخه می‌تواند NDT نهایی یا بازرسی نهایی نامیده شود.
- تعیین این امر که آیا یک شیء از پیش موجود که هم اکنون در حال استفاده است، برای تداوم استفاده قابل پذیرش است یا خیر؛ این شاخه می‌تواند NDT در حین سرویس یا بازرسی در حین سرویس نامیده شود.

پس از تعیین دلایل انتخاب NDT، شخص باید انواع نقایص رد شدنی، اندازه و جهت‌گیری نقایص رد شدنی و مکان‌های نقایصی را که منجر به رد شدن شیء می‌گردند، مشخص کند. نوع، اندازه، جهت‌گیری و مکان نقایصی که رد شدنی هستند، حتی‌الامکان می‌بایست توسط آنالیز تنش و یا محاسبات مکانیک شکست، تعیین گردد، در صورتی که انجام دقیق و قطعی محاسبات به لحاظ اقتصادی امکان‌پذیر نباشد، نوع، اندازه و جهت‌گیری نقایصی که منجر به رد شدن شیء خواهند شد، می‌بایست با فاکتور ایمنی مقتضی، تخمین زده شوند.

نوع، اندازه، جهت‌گیری و مکان نقص رد شدنی، غالباً توسط یک نظام‌نامه، استاندارد، یا مجموعه الزامات تعیین می‌گردد. از قبیل مواردی چون نظام‌نامه انجمن مهندسین مکانیک آمریکا برای مخازن تحت فشار،الزامات کمیسیون مقررات هسته ای ، یا نظام‌نامه انجمن جوشکاری آمریکا برای جوشکاری سازه. در صورتی که یکی از این نوع نظام‌نامه‌ها یا قوانین ،در خصوص شیء موردنظر صدق کند، اطلاعات مورد نیاز در مستندات مربوطه قابل دسترسی خواهد بود.

- **نقائص حجمی و صفحه‌ای**

پس از آن‌که اندازه و جهت‌گیری نقص ردشدنی معین گردید، ضروری است نوع نقایص رد شدنی تعیین گردند. به طور کلی دو نوع نقص وجود دارد: حجمی و صفحه‌ای. نقایص حجمی را می‌توان توسط سه بعد یا حجم توصیف کرد. جدول ۴ فهرستی از برخی انواع نقائص حجمی را به انضمام روش‌های NDTمقتضی جهت تشخیص آن‌ها ارائه می‌کند. نقایص صفحه‌ای در یک بعد باریک ولی در دو بعد دیگر بزرگتر هستند. جدول ۵ برخی انواع نقایص دو بعدی را به انضمام روش‌های NDT مقتضی جهت تشخیص آن‌ها فهرست می‌کند.

جدول۴: برخی انواع نقایص حجمی و روش‌های NDT مناسب جهت تشخیص

Volumetric flaws
Porosity
Inclusions
Slag
Tungsten
Other
Shrinkage
Holes and voids
Corrosion thinning
Corrosion pitting
NDE detection methods
Visual (surface)
Replica (surface)
Liquid penetrant (surface)
Magnetic particle (surface and subsurface)
Eddy current
Microwave
Ultrasonic
Radiography
X-ray computed tomography
Neutron radiography
Thermography
Optical holography
Speckle metrology
Digital image enhancement (surface)

جدول۵ برخی انواع نقایص دوبعدی و روش‌های NDT مناسب جهت تشخیص

Planar flaws
Seams
Lamination
Lack of bonding
Forging or rolling lap
Casting cold shut
Heat treatment cracks
Grinding cracks
Plating cracks
Fatigue cracks
Stress-corrosion cracks
Welding cracks
Lack of fusion
Incomplete penetration
Brazing debond
NDE detection methods
Visual
Replication microscopy
Magnetic particle
Magnetic field
Eddy current
Microwave
Electric current perturbation
Magabsorption
Ultrasonic
Acoustic emission
Thermography

جدول۶: روش‌های NDT مورد استفاده جهت نقایص سطحی و داخلی

Surface
Visual
Replica
Liquid penetrant
Magnetic particle
Magnetic field
Electric current
Magabsorption
Eddy current
Ultrasonic
Acoustic emission
Thermography
Optical holography
Speckle metrology
Acoustic holography
Digital image enhancement
Acoustic microscopy
Interior
Magnetic particle (limited use)
Magnetic field
Electric current perturbation
Magabsorption
Eddy current
Microwave
Ultrasonic
Acoustic emission
Radiography
X-ray computed tomography
Neutron radiography
Thermography (possible)
Optical holography (possible)
Acoustic holography (possible)
Acoustic microscopy (possible)

مکان ، شکل و اندازهٔ نقص

علاوه بر تقسیم‌بندی نقایص تحت انواع حجمی و صفحه‌ای ، ضرورت دارد که مکان نقائص در شیء نیز مد نظر قرار گیرد. نقایص را می‌توان به سهولت به دو دسته نقایص سطحی و نقایص داخلی که با سطح برخورد ندارند، تقسیم‌بندی کرد. جدول زیر روش‌های NDT مورد استفاده جهت نقایص سطحی و داخلی را فهرست می‌کند.

دو عامل دیگر که انتخاب روش NDT را تحت تأثیر قرار می‌دهند، شکل و اندازهٔ شیء مورد ارزیابی هستند. جداول ۷ تکنیک‌های NDTرا برای اندازه (ضخامت) و شکل متغیر ، مورد مقایسه قرار می‌دهد آن گروه از مشخصه‌های ماده که ممکن است انتخاب روش NDT را تحت تأثیر قرار دهد، قویاً به روش خاص NDT مورد نظر بستگی دارد. جدول ۸ زیر فهرستی از تعدادی از روش‌های NDT و مشخصه‌های حائز اهمیت بحرانی برای هر کدام را ارائه می‌دهد.

روش خاص NDT را می‌توان با اعمال تمام عواملی که پیش از این مورد بحث قرار گرفت انتخاب کرد. از آن جایی که هر روش NDT دارای رفتار خاص خود می‌باشد، غالباً مطلوب آن است که چندین روش NDT با قابلیت‌های تکمیلی در تشخیص مورد استفاده قرار گیرند. به عنوان مثال، می‌توان از روش‌های آلتراسونیک و رادیوگرافی همراه با یکدیگر استفاده کرد تا از تشخیص هر دو نوع نقایص صفحه‌ای (مانند ترک) و حجمی (مانند تخلخل) اطمینان حاصل شود.

جدول ۷ مقایسه روش‌های NDT بر پایه اندازه قطعات

Surface only but independent of size
Visual
Replica
Digital enhancement
Liquid penetrant
Shallow depth or thin object (thickness ≤1 mm, or 0.04 in.)
Magnetic particle
Magnetic field
Magabsorption
Eddy current
Increased thickness (thickness ≤3 mm, or 0.12 in.)
Microwave
Optical holography
Speckle metrology
Acoustic holography
Acoustic microscopy
Increased thickness (thickness ≤100 mm, or 4 in.)
X-ray computed tomography
Increased thickness (thickness ≤250 mm, or 10 in.)
Neutron radiography(a)
X-ray radiography
Thickest (dimension ≤10 m, or 33 ft)
Ultrasonic
(a) All NDE methods suitable for thick objects can be used on thin objects, except neutron radiography, which is not useful for most thin objects.

جدول ۸ :فهرستی از روشهای NDT و مشخصه های حائز اهمیت برای هر روش

Method	Characteristic
Liquid penetrant	Flaw must intercept surface.
Magnetic particle	Material must be magnetic.
Eddy current	Material must be electrically conductive or magnetic.
Microwave	Microwave transmission
Radiography and x-ray computed tomography	Changes in thickness, density, and/or elemental composition
Neutron radiography	Changes in thickness, density, and/or elemental composition
Optical holography	Surface optical properties

بازرسی چشمی

معرفی روش

بازرسی چشمی متداول‌ترین روش بازرسی غیرمخرب است که برای ارزیابی کیفیت قطعه جوش مورد استفاده قرار می‌گیرد. انجام آن ساده و هزینه آن نسبتاً پایین است، نیاز به تجهیزات خاصی ندارد و نیز اطلاعات مهمی در مورد تطابق با مشخصات مورد نظر به دست می‌دهد. بینایی خوب بازرس از ملزومات مهم این روش است.

بازرسی چشمی اولین مرحله بازرسی در هر یک از روش‌های غیرمخرب می‌باشد. این روش علاوه بر تشخیص عیوب، می‌تواند علائم مربوط به مشکلات احتمالی تولید در مراحل مختلف ساخت را تشخیص دهد و همچنین می‌تواند در برنامه‌های کنترل کیفیت مورد استفاده قرار گیرد. تشخیص صحیح و اصلاح عیوب یا اشکالات فرآیند می‌تواند موجب صرفه جویی عمده در هزینه‌ها شود. با بازرسی چشمی دقیق قبل، در حین و بعد از جوشکاری می‌توان ۸۰ تا ۹۰٪ ناپیوستگی‌ها را قبل از نیاز به روش‌های NDT پرهزینه تر تشخیص داد.

تجهیزات

وسایل کمکی چشمی و انواع گیج‌ها گاهی برای تسهیل تشخیص عیوب و اندازه‌گیری ابعاد جوش یا عیوب موجود در جوش مورد استفاده قرار می‌گیرند. جهت انجام صحیح این نوع بازرسی، روشنایی محیط باید به اندازه کافی باشد که در این راستا ممکن است از وسایل جانبی جهت ایجاد نور کافی استفاده شود. اگر محل مورد بازرسی به طور مستقیم قابل مشاهده نباشد، بازرس می تواند از آینه، بورسکوپ، چراغ قوه یا دیگر وسائل کمکی استفاده کند. در این مواقع باید توجه شود که ذره‌بین باعث اشتباه در تخمین اندازهٔ عیوب نشود.

بازرسی قطعات جوش معمولا شامل ارزیابی کمی و کیفی اتصال می‌شود. ابزارهای استاندارد متعددی جهت اندازه‌گیری هندسهٔ اتصال و مونتاژ ، ابعاد جوش و پیش آمدگی، انحراف، و عمق Undercut مورد استفاده قرار می‌گیرند. در برخی شرایط گیج‌های مخصوصی جهت اطمینان از حصول شرایط مورد نظر مورد نیاز است. شناساگرهایی مانند پیرومترهای تماسی و مدادهای مومی باید جهت اطمینان از دمای پیشگرم مناسب و دمای بین پاسی مناسب مورد استفاده قرار گیرند. جهت استفادهٔ مناسب از ابزارهای کمکی چشمی و گیج ها باید بازرس تحت آموزش درست قرار گیرد.

- **آشنایی با انواع گیج های جوشکاری و نحوه کار با آن‌ها در بازرسی ابعادی جوش‌ها**

برخی از کاربردهای گیج های جوشکاری عبارتند از:

۱- کنترل ابعادی قطعات و اتصالات مورد جوشکاری آماده شده

۲- کنترل سطوح شیب دار پخ خورده از نظر زاویه سطح شیب دار پخ خورده

۳- کنترل فواصل لازم بین قطعات جهت مونتاژکاری آن‌ها

۴- کنترل هم سطح بودن یا نبودن قطعات قبل از مونتاژ یا جوشکاری

۵- کنترل ابعاد جوش‌های تکمیل شده طبق نقشه بعد از جوشکاری

۶- کنترل و اندازه گیری عیوب احتمالی بر روی سطح جوش‌ها از نظر طول، عرض و عمق آن‌ها.

البته گیج‌های مورد استفاده بسیار متنوع می باشد، گاهی گیجی را برای یک منظور به کار می برند و گاهی نیز از گیج‌هایی که چندین کار می توانند انجام دهند استفاده می شود. آنچه که مهم است دسترسی به اهداف فوق می باشد و باید در این راستا ابزار مناسب مربوطه را تهیه نمود.

- **انواع گیج‌های جوشکاری**

۱. گیج Fillet

این گیج بیشتر برای اندازه گیری گرده های جوش با اندازه۱ تا ۱/۸ اینچ (۳/۲-۲۵ میلی‌متر) به کار می رود. این گیج‌ها همچنین تحدب و تقعر گرده های جوش را نیز اندازه گیری می کند.

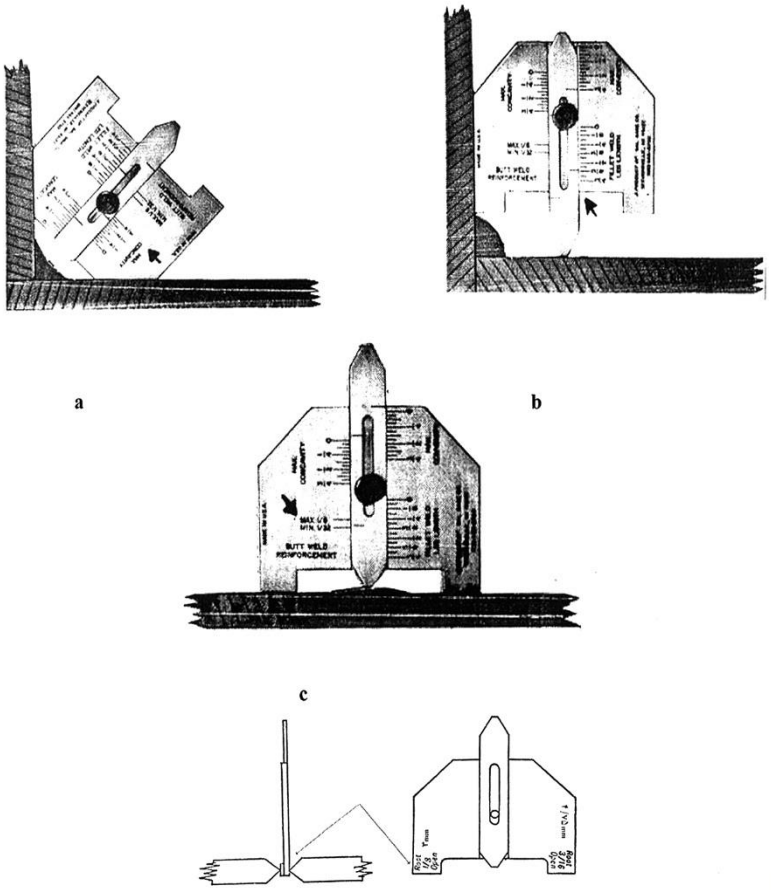
۲. گیج های چند منظوره

یک گیج چند منظوره قادر به انجام چندین اندازه گیری مانند اندازه گیری تحدب و تقعر جوش، گرده جوش و اندازه ریشه می باشد. از انواع آن می توان به گیج‌های AWS و Cambridge-type اشاره کرد.

۱. گیج AWS

این گیج برای تعیین مشخصات جوش‌های گوشه ای و لبه ای کاربرد دارد. این گیج قادر به اندازه گیری تلرانس تحدب و تقعر جوش‌ها که از قبل برای آن تعیین شده است، می باشد. این گیج همچنین قادر به اندازه گیری گرده های جوش نیز می باشد.

در شکل روش های مختلف کار با گیج AWS نشان داده شده است.



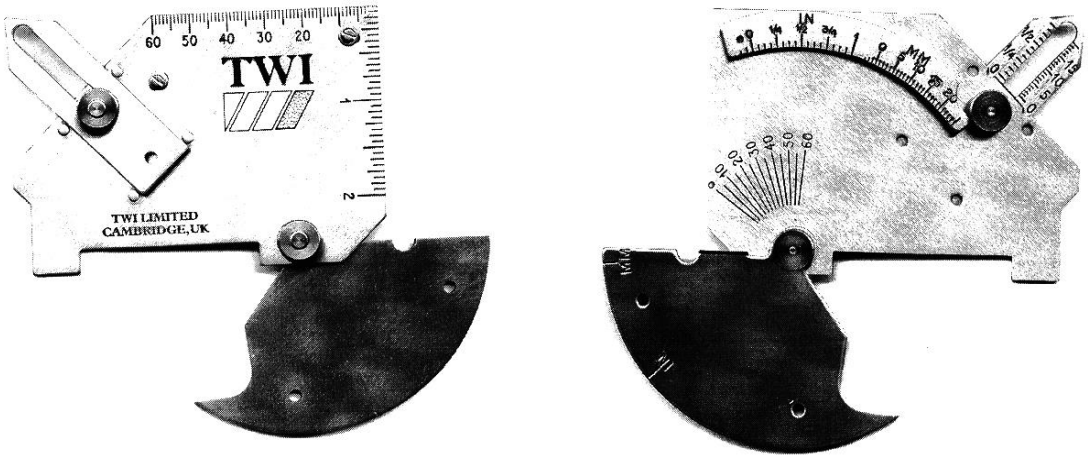
شکل۶ : چگونگی اندازه گیری مشخصات جوش با گیج AWS.

۳. گیج Cambridge

این گیج چند منظوره قادر به اندازه گیری موارد زیر در واحدهای اینچ و میلی‌متر می باشد:

- زاویه آماده سازی (۰- ۶۰°)
- اضافه فلز جوش
- عمق Undercutها
- عمق حفره
- اندازه ریشه
- ارتفاع گرده جوش
- عدم هم ترازی
- اندازه گلویی جوش گوشه ای
- طول گرده جوش

در اشکال تصاویر این گیج و روش‌های استفاده از آن نمایش داده شده است..



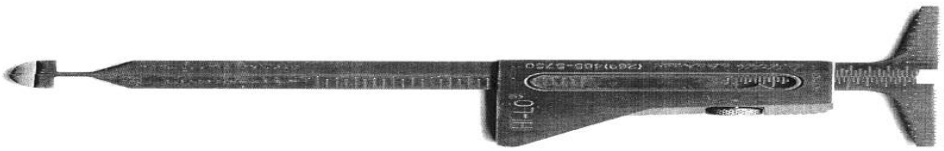
شکل۷ . گیج های Cambridge

۴. گیج Hi-Lo

این گیج که گیج mismatch نیز نامیده می شود برای اندازه گیری هم‌طرازی داخلی اتصالات لوله به کار می رود. بعد از وارد کردن و قرار دادن گیج، پیچ انگشتی بسته و گیج درآورده می شود تا عدم هم‌ترازی معلوم می شود.

این گیج می تواند برای اندازه‌گیری‌های زیر نیز به کار رود:

- ارتفاع گرده جوش
- عدم هم‌طرازی داخلی
- درز اتصال
- مسیر جوش جوش‌های مدور
- زاویه آماده سازی
- ضخامت دیواره جوش



شکل۸ . گیج HIGH LOW

بازرسی قبل از جوشکاری

بازرسی فلز پایه قبل از انجام جوش می‌تواند شرایط منجر به ایجاد نقص‌ها را مشخص کند. پوسته‌ها، درزها، لایه‌ها یا دیگر شرایط نامناسب سطحی را می‌توان با بازرسی چشمی تشخیص داد. امکان مشاهدهٔ تورق صفحه‌ها روی لبه‌های برش نیز وجود دارد. ابعاد مورد نظر باید توسط اندازه‌گیری‌های مختلف مورد تأیید قرار بگیرند. همچنین باید نوع و ردهٔ فلز پایه مشخص گردد و اصلاحات مورد نیاز قبل از ادامه کار صورت پذیرد.

بعد از نصب قطعات در محل لازم برای جوشکاری، بازرس باید محل اتصال جوش را از نظر درز اتصال، آماده‌سازی لبه‌ها و دیگر مواردی که ممکن است کیفیت جوش را تحت تأثیر قرار دهند، بررسی کند. به خصوص، بازرس باید شرایط زیر را برای تطابق با مشخصات مورد نظر بررسی کند:

۱- آماده‌سازی، ابعاد و تمیزی اتصال
۲- صحت ابعاد تسمه‌های پشتیبان، حلقه‌ها و یا ورودی‌های مصرفی
۳- جهت گیری و Fit-Up قطعاتی که باید جوش داده شوند.
۴- فرآیند و مواد مصرفی جوشکاری
۵- روش جوشکاری و تنظیمات دستگاه‌ها
۶- دمای پیشگرم مشخص شده
۷- کیفیت مورد نظر جوش

گاهی بررسی Fit-Up جوش بی‌نظمی‌هایی در محدوده نظام نامه مشخص شده نشان می‌دهد. این موارد مهم بوده و برای ادامه مراحل بعدی باید به آن‌ها توجه شود. به عنوان مثال، اگر در Fit-Up یک جوش گوشه، درزاتصال مشاهده شود در حالی که در نظام نامه مورد نظر مشخص نشده، پایه مجاور جوش گوشه باید به اندازهٔ درزاتصال افزایش یابد.

۵-۳-۴- بازرسی در حین جوشکاری

در حین جوشکاری، بازرسی چشمی روش اولیه جهت کنترل کیفیت است. برخی از مراحل تولید که می‌توان با این روش کنترل کرد عبارتند از:

۱- عملیات روی خالجوش‌ها.
۲- کیفیت پاس ریشه و پاس‌های بعدی جوش
۳- دمای پیشگرم و دمای بین پاسی کافی
۴- ترتیب جوشکاری
۵- تمیز کردن بین پاسی
۶- آماده سازی ریشه قبل از جوشکاری طرف دوم
۷- هماهنگی با دستورالعمل به کار گرفته شده

بحرانی‌ترین قسمت هر جوش پاس ریشه آن است زیرا بسیاری از ناپیوستگی‌های جوش در این قسمت رخ می‌دهند. بازرسی چشمی مناسب پاس ریشه باعث می‌شود تا بسیاری از ناپیوستگی‌ها در جوش نهایی حذف شوند. وضعیت بحرانی دیگر ریشه زمانی پیش می‌آید که عملیات روی طرف دوم در اتصال‌های دوگانه جوش مورد نیاز باشد. دراین موارد، باید زدودن سرباره و دیگر بی‌نظمی‌ها توسط تراشه برداری ، سوراخکاری قوسی یا سنباده زنی انجام گیرد. درزاتصال در حین انجام جوش در پاس ریشه باید مورد بررسی قرار گیرد و از مناسب بودن خال جوش ، کلمپ‌ها یا Braceهایی که برای حفظ درزاتصال جهت نفوذ و جهت‌گیری مناسب اتصال قرار داده شده‌اند، اطمینان حاصل شود.

در بازرسی پاس‌های بعدی جوش، معمولاً روی شکل خط جوش و تمیزی بین پاسی متمرکز می‌شود. گاهی این کار با کمک استانداردهای کیفیت کاری انجام می‌شود.

این استانداردها مقاطعی از اتصالات مشابه قطعات کار را نشان می‌دهند که در آن‌ها پاس‌های مختلف مشخص شده‌اند. هر پاس جوش مورد نظر را می‌توان با پاس مربوطه در استاندارد کیفیت کاری مقایسه کرد. یک نمونه کیفیت کاری فقط نشان دهنده شرایط ایده‌آل است و نمی‌تواند نشانگر شرایط واقعی کار باشد. به همین دلیل، باید ضرایب خطا برای تلرانس تولید در نظر گرفته شود.

وقتی دماهای پیشگرم و بین پاسی مشخص می‌شود، باید دما، در زمان‌های مشخص به وسیله یک وسیله کنترل دمایی مناسب کنترل شود (مثلاً مداد شمعی یا پیرومتر). مقدار حرارت ورودی و ترتیب های مختلف هر پاس جوش را می‌توان جهت حصول خواص مکانیکی مورد نظر، محدودهٔ تغییر شکل و یا هر دو تغییر داد.

برای اطمینان از کیفیت جوش در حین پیشرفت کار، هر پاس جوش باید به صورت چشمی توسط جوشکار کنترل شود تا بی‌نظمی‌های سطحی مشخص و تمیزکاری سطحی کافی برای جلوگیری از ناخالصی-های سرباره‌ای یا تخلخل انجام گیرد.

بازرسی بعد از جوشکاری

مواردی که بعد از جوشکاری توسط بازرسی چشمی باید بررسی شوند عبارتند از:

۱- ظاهر نهایی جوش
۲- ابعاد نهایی جوش
۳- مقدار جوش
۴- دقت ابعادی
۵- مقدار تغییر شکل
۶- عملیات حرارتی بعد از جوش

در بیشتر کدها و مشخصات، نوع و اندازه ناپیوستگی‌های مورد انتظار جوش ارائه شده است. بسیاری از ناپیوستگی‌های زیر روی سطح جوش توسط بازرسی چشمی قابل تشخیص هستند:

۱- ترک‌ها
۲- Undercut
۳- همپوشانی
۴- ناخالصی‌های سرباره‌ای و تخلخل‌های قابل رویت
۵- پروفیل جوش غیرقابل قبول
۶- زبری وجوه جوش

برای تشخیص دقیق چنین ناپیوستگی‌هایی، سطح جوش باید به دقت از اکسید و سرباره تمیز شود. عملیات تمیزکاری باید به نحوی انجام شود که ناپیوستگی‌ها از دید پنهان نشوند. به عنوان مثال اگر یک چکش تراشه برداری برای حذف سرباره به کار می‌رود، اثر چکش می‌تواند ترک‌های ریز را از دیدرس پنهان کند. Shot Blasting می‌تواند سطح فلز جوش نسبتاً نرم را پین کرده و عیوب موجود را پنهان کند.

دقت ابعادی قطعه جوش با روش‌های اندازه‌گیری معمولی تعیین می‌شود. هماهنگی اندازه جوش و تحدب و تقعر را می‌توان با استفاده از گیج مناسب مشخص کرد. اندازه جوش گوشه در اتصالاتی که اجزای آن زوایای قائمه یا نزدیک به قائمه دارند، به صورت طول پایه‌ها تعریف می‌شود. با به کارگیری گیج‌های مختلف می‌توان

تعیین کرد که آیا طول پایه در محدودهٔ مجاز هست یا خیر و اینکه آیا تحدب بیش از حد یا تقعر بیش از حد وجود دارد یا خیر. در مواردی که اجزا دارای زوایای منفرجه یا حاده هستند ممکن است از گیج‌های مخصوص جهت اندازه‌گیری استفاده شود. برای جوش‌های شیاری، ارتفاع گرده باید مناسب با شرایط مجاز باشد. در مواقعی در نظام نامه یا دستورالعمل مشخص نشده باشد، بازرس می‌تواند با تکیه بر تجربه خود تصمیم بگیرد. ظاهر سطحی مورد نظر می‌تواند حالت‌های متنوعی داشته باشد. به طور عمومی، سطح جوش باید به صورتی باشد که در کد یا دستورالعمل ذکر شده است. می‌توان برای مقایسه ظاهر جوش از استانداردها یا جوش‌های نمونه که توسط سازنده تعیین شده و توسط خریدار نیز تأیید شده‌اند استفاده کرد. در برخی موارد که جوش بخشی از سطح نهایی است و در محصول به چشم می‌خورد، ظاهر خوب مطلوب است، بنابراین یک جوش صاف با اندازه یکنواخت مورد نیاز است. در یک نظام نامه ممکن است مقادیر جزیی Undercut، Undersize و تخلخل مجاز باشد. اما ترک، ذوب ناقص وچاله های انتهایی جوش پر نشده معمولا مجاز نیست. Undercut، همپوشانی و پروفیل جوش نامناسب، تحت بارگذاری محل تمرکز تنش بوده و در این مناطق تحت بارگذاری سیکلی امکان ایجاد ترک وجود دارد.

برخی فولادها همچون ASTM A514 و A517 مستعد ترک خوردگی با تأخیر هستند. کد مورد نظر این فولادها ممکن است قبل از بازرسی جوش در فولادهای حساس به ترک، تأخیر، توصیه کند.

وقتی عملیات حرارتی بعد از جوش توصیه شود، عملیات باید توسط بازرس بررسی و ثبت شود. موارد مهم جهت ثبت در عملیات حرارتی به شرح زیرند:

۱- سطحی که باید حرارت داده شود
۲- نرخ سرد و گرم کردن
۳- زمان و دمای نگهداری
۴- اندازه‌گیری دما و محل آن
۵- کالیبراسیون تجهیزات

در صورت کنترل کیفی جوش تنها بوسیله بازرسی چشمی، باید دقت زیادی وجود داشته باشد. ظاهر سطحی قابل قبول، دلیلی بر سالم بودن قطعه و معیار قابل اطمینانی برای سالم بودن جوش در زیر سطح نمی‌باشد. با این وجود، روش‌های مناسب بازرسی چشمی قبل و حین تولید می‌تواند ضریب اطمینان را نسبت به فرآیندهایی که فقط بازرسی نهایی می‌شوند افزایش دهد.

بازرسی به روش مایعات نافذ

معرفی روش

آزمون مایع نافذ (PT) روشی است که ناپیوستگی‌های باز (سطحی) را با نشان دادن مایع نافذ در مقابل یک آشکارساز روی زمینه ظاهر می‌کند. این روش بر پایه توانایی مایع نافذ در تر کردن منفذ سطحی ناپیوستگی و نفوذ به داخل آن است. اگر عیب قابل توجه باشد، مایع نافذ در داخل فضای خالی آن باقی می‌ماند و باقی‌ماندهٔ آن از روی سطح پاک می‌شود. با به کارگیری آشکارساز مایع یا پودر خشک، عمل جذب باعث کشیده شدن مایع نافذ از عیب و نشان دادن کنتراست روی سطح خواهد شد.

مراحل اصلی به کارگیری آزمون مایع نافذ نسبتاً ساده هستند. یک فرد غیر ماهر نیز می‌تواند با خواندن راهنمای چاپ شده روی ظروف نافذها، تست را به سادگی انجام دهد.

ترتیب زیر معمولاً برای به کارگیری تست مایع نافذ معمولی به کار می‌رود. در صورت تغییر ترتیب مراحل زیر ممکن است تست اعتبار خود را از دست بدهد.

۱- تمیز کردن سطح نمونه

۲- اعمال مایع نافذ

۳- منتظر شدن به اندازه زمان نفوذ

۴- حذف مایع نافذ اضافی

۵- اعمال آشکار ساز

۶- بررسی سطح برای مشاهده و ثبت نتایج به دست آمده

۷- تمیزکاری برای پاک سازی مقادیر باقی‌مانده (در صورت لزوم)

روش‌های تست مایع نافذ را می‌توان به دو دسته اصلی تقسیم کرد:

روش I- تست مایع نافذ فلورسنت- روش II- تست مایع نافذ مرئی تفاوت اصلی این دو نوع روش این است که در روش اول، مایع نافذ فلورسنت است به این معنا که در زیر نور مافوق بنفش یا "سیاه" درخشش دارد. در روش دوم از نافذ مرئی استفاده می‌شود، که معمولاً قرمز رنگ است و کنتراست خوبی با زمینهٔ سفید رنگ آشکارساز دارد.

کاربردها

برای بازرسی جوش، تست مایع نافذ در صورت به کارگیری درست، قابل اطمینان است. به‌جز بازرسی چشمی، می‌توان گفت که این روش پر کاربردترین تست غیرمخرب برای بازرسی سطحی قطعات غیر

مغناطیسی است. در حالی که این آزمون را می‌توان برای سطوح جوش داده شده انجام داد، وجود موج در خط جوش و دیگر ناپیوستگی‌ها می‌تواند از دقت تفسیر نشانه‌ها بکاهد ، در بررسی جوش فلزات ریختگی به این روش، نقص‌های سطحی ذاتی قطعه ریختگی می‌تواند دقت این نوع تست را کاهش دهد. اگر شرایط سطحی باعث افزایش عیوب نامربوط مشاهده شده شوند، لازم است که سطح توسط سنباده زنی نرم قبل از بازرسی آماده گردد. معمولا جهت بازرسی در سایت از روش مایع نافذ مرئی به خاطر سادگی به‌کارگیری آن استفاده می‌شود.

موارد استعمال آزمون مایع نافذ بی اندازه گسترده و متغیر است. این سیستم در صنایع فضایی برای کنترل کیفیت قطعات تولیدی توسط تولیدکنندگان و تعمیر و نگهداری و سرویس های منظم و بررسی های ایمنی توسط مصرف کنندگان مورد استفاده قرار می گیرد. نمونه قطعاتی که با این سیستم مورد کنترل قرار می گیرند عبارتند از دیسک و پره های روتور توربین ها، چرخ های هواپیما، قطعات ریختگی و آهنگری و جوشکاری. بسیاری از قطعات خودرو مخصوصاً قطعات آهنگری و ریختگی آلومینیمی، از قبیل پیستون ها و سرسیلندرها را قبل از مونتاژ تحت این نوع بازرسی کنترل کیفی قرار می دهند. ار سیستم مایع نافذ همچنین برای تعمیرات و سرویس های منظم قطعات لوکوموتیوهای قطار و جستجوی ترک های خستگی مواد نورد شده استفاده می شود .

مصرف متداول دیگر بازرسی با مایع نافذ، کنترل درستی و دقت نتایج بدست آمده به روش ذرات مغناطیسی در جوش‌های فرومغناطیسی است.

۵-۴-۳-مزایا و محدودیت‌ها

فرآیند بازرسی به وسیله مایع نافذ در مقایسه با سایر روش ها تقریباً ساده است زیرا مستلزم سیستم های پیچیده الکترونیکی نیست و وسایل لازم برای این نوع بازرسی در مقایسه با سایر سیستم‌های آزمون‌های غیر مخرب بسیار ارزان است. این تکنیک می تواند برای هرگونه مواد، به‌جز موادی که دارای خلل و فرج هستند، به‌کار رود و در موارد خاص حساسیت آن بیشتر از بازرسی به‌وسیله ذرات مغناطیسی است. بازرسی با مایع نافذ عملاً برای کلیه قطعات به هر شکل و به هر اندازه قابل استفاده است و برای بازرسی کیفی محصولات آماده و نیمه تمام و همچنین بازرسی قطعات در حال کار به مورد اجرا گذاشته می شود. قطعات در حال کار را می توان در محل کار قطعه آزمایش کرد و بنابراین از پیاده شدن یک مجموعه پیچیده بزرگ جلوگیری کرد. یا اینکه ممکن است هنگام بازرسی قطعات پنهان، مثلاً در تعمیر اساسی هواپیما مورد استفاده قرار داد.

محدودیت مسلم سیستم بازرسی با مایع نافذ در این است که این روش فقط برای عیب یابی و آشکارسازی عیب های سطحی به کار می رود. عیب های زیر سطحی مستلزم استفاده از روش های بازرسی دیگر است.

سایر محدودیت های اعمال این روش در مورد قطعاتی است که دارای سطح خشن (ناهموار) و خلل و فرج هستند. در حالت اخیر علائم غیر واقعی آشکار خواهند شد زیرا هر حفره طبیعی به صورت یک عیب نمودار می شود.

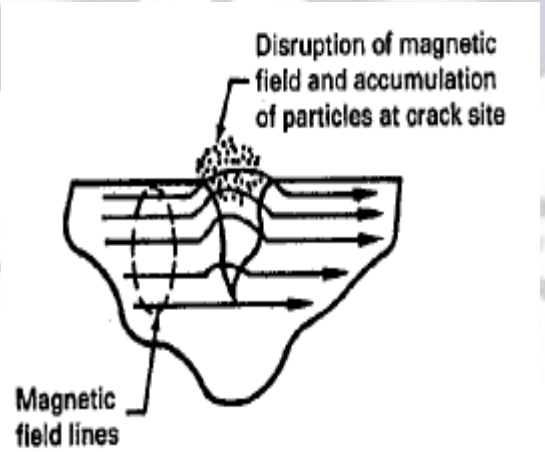
بازرسی به روش ذرات مغناطیسی

معرفی روش

بازرسی با ذرات مغناطیسی (MT) یک روش غیرمخرب برای تشخیص ناپیوستگی‌های سطحی یا نزدیک به سطح در مواد مغناطیسی می‌باشد. این روش بر پایه این اصل برقرار است که خطوط مغناطیسی نیرو در مواد فرومغناطیسی، توسط ناپیوستگی‌های موجود در ماده تغییر شکل می‌دهند. اگر ناپیوستگی در ماده مغناطیسی روی سطح یا نزدیکی آن وجود داشته باشد، خطوط شار مغناطیسی روی سطح تغییر شکل می-یابند، که به آن نشتی شار مغناطیسی گفته می‌شود. وقتی ذرات ریز مغناطیسی به قطعه‌ای که در آن نشتی وجود دارد اعمال می‌شود، در ناحیه ناپیوستگی انباشته شده و باقی می‌مانند. این اصل در شکل نشان داده شده است. تجمع ذرات تحت شرایط نوری مناسب قابل مشاهده خواهد بود. در حالی که انواع مختلفی از روش تست ذرات مغناطیسی وجود دارد، همهٔ آن‌ها بر این اصل استوارند که ذرات مغناطیسی در مناطق نشتی تجمع پیدا می‌کند.

سه شرط اصلی برای انجام این روش وجود دارد که عبارتند از:

۱- قطعه باید مغناطیسی شود.
۲- ذرات مغناطیسی باید وقتی اعمال شوند که قطعه مغناطیسی است.
۳- هر گونه تجمع مواد مغناطیسی باید مشاهده و تفسیر شود.



شکل۹ :تجمع ذرات مغناطیسی در یک نقص سطحی

یک ماده فرومغناطیسی را می‌توان با ایجاد یک جریان الکتریکی در ماده، یا قرار دادن ماده در یک میدان مغناطیسی ایجاد شده توسط یک منبع خارجی، مغناطیسی کرد. کل منطقه یا قسمتی از آن را می‌توان بنابر اندازه و ظرفیت تجهیزات یا نیاز موجود، مغناطیسی کرد. همان‌طور که پیش‌تر نیز اشاره شد، ناپیوستگی باید مسیر معمول خطوط نیرو را قطع کند. اگر ناپیوستگی سطحی باشد، نشتی در ازای یک مقدار و شکل مشخص از ناپیوستگی، حداکثر خواهد بود. وقتی ناپیوستگی زیرسطح باشد، نشتی کمتر خواهد بود. در عمل، ناپیوستگی‌ها باید سطحی باشند، یا در نزدیکی سطح قرار داشته باشند تا قدرت نشتی برای تجمع ذرات مغناطیسی کافی باشد.

اگر جهت‌گیری ناپیوستگی موازی خطوط نیرو باشد، غیرقابل تشخیص خواهد بود. از آنجا که ناپیوستگی‌ها در هر جهتی ممکن است وجود داشته باشند، معمولا لازم است که قطعه حداقل دوبار مغناطیس شود تا خطوط مغناطیسی نیرو در جهت‌های مختلف به وجود آیند و تست به درستی انجام گیرد.

خطوط نیرو باید دارای قدرت کافی باشند تا قادر به نشان دادن ناپیوستگی‌هایی که غیرقابل قبول هستند و در عین حال اینقدر قوی نیستند که ذرات را تجمع دهند نیز باشند.

مزایا

روش ذرات مغناطیسی وسیله‌ای حساس برای یافتن ترک‌های کوچک و کم عمق سطحی در مواد فرومغناطیسی است. نشانه‌ها ممکن است در ترک‌هایی که از بزرگی کافی برای دیده شدن توسط چشم غیرمسلح برخوردار هستند، ایجاد گردند، ولی ترک‌هایی با پهنای بیش از این حد، در صورتی که دهانه سطحی آن قدر بزرگ باشد که امکان پل زدن ذرات فراهم نشود، قادر به ایجاد الگوی ذرات نخواهند شد.

ناپیوستگی‌هایی که واقعاً به سطح نرسیده‌اند نیز در بسیاری موارد توسط این روش مشخص می‌شوند، اگرچه در این خصوص باید به محدودیت‌های خاصی توجه شود. در صورتی که ناپیوستگی، ریز، تیز و به سطح نزدیک باشد، به عنوان مثال رشتهٔ طویلی از آخال‌های غیرفلزی، نشانهٔ واضحی قابل تولید خواهد بود. در صورتی که ناپیوستگی در عمق بیش‌تری جای گرفته باشد، نشانه‌ها از وضوح کمتری برخوردار خواهند بود. هر قدر که ناپیوستگی مفروض در عمق بیشتری زیرسطح واقع باشد، برای حصول نشآن‌های قابل تشخیص، باید از بزرگی بیش‌تری برخوردار باشد و یافتن ناپیوستگی با این روش دشوارتر می‌گردد.

نشانه‌های ذرات مغناطیسی، مستقیماً روی سطح قطعه ایجاد می‌شوند و در بردارندهٔ تصویری مغناطیسی از ناپیوستگی‌های واقعی هستند. هیچ مداربندی الکتریکی یا ابزار بازخوانی الکترونیکی که کالیبره شده و یا

در شرایط درستی برای تشخیص قرار بگیرد، وجود ندارد. اپراتورهای ماهر، بعضاً می‌توانند با استفاده از پودرهای متناسب و تکنیک صحیح، تخمین‌های قابل قبولی از عمق ترک ارائه دهند. نمایش گاه به گاه شدت میدان در قطعه، به منظور حصول اطمینان از کافی بودن قدرت میدان ضروری است.

اندازه یا شکل قطعات قابل بازرسی به این روش از محدودیت بسیار کمی برخودار بوده و یا محدودیتی ندارد. به طور معمول، نیازی به تمیزکاری مبسوط اولیه وجود ندارد و ترک‌هایی که توسط مواد خارجی پر شده‌اند، قابل تشخیص می‌باشند .

محدودیت‌ها

محدودیت‌های معینی در بازرسی با ذرات مغناطیسی وجود دارند که اپراتور می‌بایست از آن‌ها آگاه باشد؛ به عنوان مثال روش بازرسی مغناطیسی فقط روی فلزات فرومغناطیسی قابل اجرا است که فلز جوش رسوب داده شده نیز فرومغناطیس باشد. این روش را نمی‌توان در بازرسی فلزات غیرآهنی یا فولاد آستنیتی به کار برد. وقتی خواص مغناطیسی فلز جوش تفاوت زیادی با خواص مغناطیسی فلز پایه داشته باشد نیز ممکن است در انجام تست اشکالاتی به وجود آید. اتصال بین فلزاتی با خواص مغناطیسی غیرمشابه باعث ناپیوستگی-های مغناطیس‌ای می‌شود که بصورت عیب مشاهده می‌شوند، در حالی که اتصال جوش سالم است. .همچنین پوشش‌های نازک رنگ و سایر پوشش‌های غیرمغناطیسی، مانند روکش‌های آبکاری، اثر مخربی بر حساسیت بازرسی با ذرات مغناطیسی دارند.

تخلخل زیرسطح و ناخالصی‌های سرباره‌ای باعث ایجاد الگوهای پودری می‌شوند که به وضوح مشخص نمی‌شوند. درجهٔ حساسیت این روش به عوامل خاصی بستگی دارد. حساسیت با کاهش اندازهٔ ناپیوستگی و همچنین با افزایش عمق عیب نسبت به سطح کاهش می‌یابد. کاهش در حساسیت در زمانی که ناپیوستگی‌ها گرد یا کروی هستند، بیشتر از زمانی که ترک هستند مشهود است.

ناپیوستگی باید به اندازهٔ کافی بزرگ باشد تا میدان مغناطیسی را قطع کرده یا در آن تغییر ایجاد کند و نشتی خارجی ایجاد شود. ناپیوستگی‌های ریز ازدیاد طول یافته مانند درزها، ناخالصی‌ها، یا ترک‌های ریز، قادر به قطع میدان مغناطیسی موازی با جهت ناپیوستگی نمی‌باشند و در این حالت، اثری مشاهده نخواهد شد.

شرایط سطحی نیز بر حساسیت فرایند بازرسی مؤثرند. سطح جوش و قسمت‌های اطراف آن باید تمیز، خشک و فارغ از روغن، آب، سرباره اضافی یا دیگر تجمعاتی باشند که مزاحم حرکت ذره مغناطیسی می‌شوند. یک سطح زبر باعث کاهش حساسیت و تغییر شکل میدان مغناطیسی می‌شود. همچنین به صورت مکانیکی

با تشکیل الگوهای پودر ایجاد مشکل می‌کند. سنباده‌زنی سبک برای صاف کردن سطح جوش زبر، برای جلوگیری از مشکلات احتمالی توصیه می‌شود.

به طور کلی محدودیت‌ها عبارتند از:

- این روش صرفاً برای مواد فرومغناطیسی قابل استفاده است.
- برای حصول بهترین نتایج، میدان مغناطیسی باید با صفحهٔ اصلی ناپیوستگی متقاطع باشد؛ این امر گاهی اوقات نیازمند دو یا چند بازرسی متوالی با درجه مغناطش متفاوت می‌باشد.
- مغناطیس‌زدایی پس از بازرسی غالباً ضروری می‌باشد.
- تمیزکاری بعدی به منظور حذف بقایای ذرات مغناطیسی چسبیده به سطح، برخی از اوقات ممکن است پس از آزمایش و مغناطیس‌زدایی ضروری باشد.
- گاهی اوقات برای قطعات بسیار بزرگ، نیاز به جریان بیش از حد زیاد وجود دارد.
- توجه خاصی ضروری است تا از گرم شدن و سوختگی قطعات تمام کاری شده یا سطوح، در محل‌های تماس الکتریکی جلوگیری شود.
- علی‌رغم این که نشانه‌های ذرات مغناطیسی به سهولت مشاهده می‌شوند، تفسیر آن‌ها بعضاً به مهارت و تجربه نیاز دارد.

تجهیزات

تجهیزات اصلی برای آزمایش ذرات مغناطیسی نسبتاً ساده هستند. این تجهیزات شامل تسهیلات مربوط به تولید میدان‌های مغناطیسی با قدرت کافی و جهت مناسب می‌باشند. یک آمپرمتر باید وجود داشته باشد، تا بازرس متوجه شود که نیروی مغناطیس کننده صحیحی برای هر آزمون به کار رود.

بیشتر تجهیزات موجود در بازار قادر به اجرای انواع مشخصی از این تست‌ها هستند. با این وجود هیچ یک از تجهیزات ذرات مغناطیسی قادر به انجام انواع تست‌ها به بهترین و اقتصادی‌ترین شکل ممکن نیست. در نتیجه، عوامل زیر باید در انتخاب نوع تجهیزات جهت انجام نوع خاص تست، مد نظر قرار گیرد:

۱- نوع جریان مغناطیسی کردن
۲- اندازه قطعه یا جوش
۳- هدف مشخصه تست یا نوع عیوب مورد انتظار
۴- محیط مورد نظر برای انجام تست
۵- تجهیزات متحرک یا ثابت

۶- مساحت قسمت مورد آزمایش و موقعیت آن روی قطعه

۷- تعداد قطعات مورد آزمایش.

ناپیوستگی های قابل تشخیص

فایده بخشی بازرسی با ذرات مغناطیسی برای جستجوی ناپیوستگی ها یا نقایص بستگی به انواع ناپیوستگی هایی دارد که این روش قادر به یافتن آن‌ها می باشد. عوامل مهم عبارتند از اندازه، شکل، جهت گیری و مکان ناپیوستگی ها در رابطه با قابلیت آن برای ایجاد میدان های نشتی.

- آثار ایجاد شده

آثار ذرات پودر مغناطیسی ایجاد شده باید بررسی شوند تا هماهنگی آن‌ها با کد یا استاندارد مورد نظر ارزیابی شود. این آثار بسته به میدان نشتی شار ایجاد شده توسط ناپیوستگی، می‌توانند شکل‌های مختلفی داشته باشند. خواص این آثار از جمله ارتفاع، عرض، شکل و وجود جزئیات آن‌ها، اطلاعاتی جهت تعین نوع و اندازه ناپیوستگی را فراهم می‌سازند. هر ناپیوستگی الگویی در پودر ایجاد می‌کند که توسط اپراتور ماهر قابل تشخیص است. در مورد برخی از آثار ناپیوستگی‌های معمولی در زیر توضیحاتی آورده شده است.

- **ترک‌های سطحی:** آثار ایجاد شده توسط ترک سطحی کاملاً مشخص بوده و توسط تجمع شدید پودرها قابل تشخیص است. مقدار تجمع پودر معیاری نسبی برای عمق ترک است.
- **ترک‌های زیر سطحی:** ترک‌هایی که به سطح نرسیده‌اند آثاری متفاوت با آثار ترک‌های سطحی برجای می‌گذارند. تجمع پودر گسترده‌تر و با وضوح کمتری قابل تشخیص است.
- **همجو شی ناقص:** آثار مربوط به این عیب تقریباً به خوبی مشخص هستند اما معمولاً در لبهٔ پاس جوش قرار می‌گیرد. مثل اثر ترک، همجوشی ناقص هم اگر زیر سطح باشد، اثر آن کمتر قابل تشخیص خواهد بود.
- **ناخالصی‌های سرباره و تخلخل:** ناخالصی‌های سرباره‌ای و تخلخل زیر سطح قابل تشخیص هستند اما آثار آن‌ها بسیار نامشخص است مگر اینکه مقدار آن‌ها بسیار زیاد باشد. تجمع پودر به خوبی قابل تشخیص نیست اما می‌توان آن را از آثار سطحی تمیز داد.
- **نفوذ ناقص در اتصال:** وقتی شرایط بازرسی اجازه دهد، نفوذ ناقص در اتصال را نیز می‌توان توسط تست ذرات مغناطیسی تشخیص داد. آثار پودر، عریض و آشفته، مثل ترک زیر سطح است، اما الگوی آن یک خط مستقیم است.

- **تورق:** وقتی لبه‌های ورق بازرسی می‌شوند، به خصوص در موارد آماده سازی جوش قبل از جوشکاری، می‌توان تورق‌های مربوط به نورد ورق را تشخیص داد. این آثار قابل توجه و منسجم هستند و ممکن است پیوسته یا گسسته باشند.
- **درزها:** این آثار مستقیم؛ تیز و نازک و معمولاً گسسته هستند. تجمع پودر کمتر قابل توجه است. در این مورد جریان بیشتری نسبت به جریان لازم برای تشخیص ترک‌ها مورد نیاز خواهد بود.
- Undercut: این اثر سطحی در کناره های جوش شیاری یا Fillet به وجود می‌آید. این اثر کمتر از اثر نفوذ ناقص قابل تشخیص خواهد بود. بررسی چشمی روش مناسب‌تری برای ارزیابی این ناپیوستگی خواهد بود.

نشانه های غیر مرتبط

در زمان اجرای بازرسی با ذرات مغناطیسی، برخی شرایط انجام تست موجب ایجاد آثار نامربوط یا غلط می‌شود. نشانه های غیر مرتبط به الگوهایی واقعی اطلاق می شود که بر اثر میدان های نشتی که ناشی از حضور نقایص نباشند، ایجاد می گردد. با وجودی که این آثار حقیقی هستند، این میدان‌های نشتی توسط ناپیوستگی‌ها یا پدیده‌هایی ایجاد می‌شود که لزوماً بر دقت جوش یا توانایی در اجرای اهداف مربوطه تأثیری ندارند. نشانه های غیر مرتبط علل متعددی دارند و به همین دلیل نیازمند ارزیابی هستند اما نباید به عنوان نقص تفسیر شوند در بسیاری از موارد این موضوع نیازمند سنباده‌زنی یا تمیزکاری بیشتر خواهد بود تا نوع اثر با قطعیت تعیین شود. استفاده از دیگر روش‌های بازرسی غیرمخرب برای کمک به تعیین و تفسیر این آثار مطلوب است.

منابع نشانه‌های غیر مرتبط

الگوهایی از ذرات که سبب حصول نشانه های غیرمرتبط می شوند، ممکن است بر اثر طراحی، ساخت یا سایر دلایل ایجاد گردند که متضمن شرایطی که منجر به کاهش استحکام یا کارکرد قطعه شوند، نمی باشند. نظر به این که نشانه های غیرمرتبط آرایش حقیقی ذرات هستند، تفکیک و تشخیص آن‌ها از آرایش های ناشی از نقایص، دشوار است. بنابراین لازم است فرد بررسی کننده از شرایط طراحی و ساخت موثر یا مقصر در ایجاد نشانه های غیرمرتبط آگاه باشد.

- **پرداخت سطحی:** وقتی جوش دارای سطح زبر یا نامنظم باشد، احتمال ایجاد آثار نادرست بیشتر است. سنباده زنی جوش جهت ایجاد سطح صاف و انجام مجدد تست تعیین کنندهٔ اعتبار نتایج به دست آمده خواهد بود.

- **تفاوت در خواص مغناطیسی:** تفاوت در خواص مغناطیسی در اتصال جوش می‌تواند توسط مکانیزم‌های مختلفی ایجاد شود ولیکن همگی منجر به ایجاد آثار نامربوط می‌شوند. در نتیجه، در برخی موارد لازم است از روش غیرمخرب دیگری برای تعیین کیفیت جوش استفاده کرد. تغییر در خواص مغناطیسی می‌تواند در منطقه HAZ نیز اتفاق بیفتد. اثر ایجاد شده، در راستای لبهٔ جوش ادامه پیدا می‌کند و بسیار نامشخص است. الگوی ایجاد شده ممکن است با الگوی مربوط به Undercut اشتباه گرفته شود اما از آن غیرمنسجم تر است. تنش زدایی حرارتی بعد از جوش این پدیده را از بین می‌برد.تغییر دیگر در خواص مغناطیسی وقتی مشاهده می‌شود که دو فلز با خواص مغناطیسی متفاوت جوش داده می‌شوند، یا فلز پرکننده و فلز پایه خواص مغناطیسی متفاوتی داشته باشند. متداول‌ترین نمونه، اتصال فولاد کربنی (مغناطیسی) و فولاد زنگ نزن آستنیتی (غیرمغناطیسی) است. نمونه دیگر استفاده از فولاد زنگ نزن آستنیتی برای تعمیر فولاد کربنی است در این موارد یک اثر نادرست در محل اتصال این دو به وجود می‌آید، که تیز و واضح بوده و شبیه اثر ترک است.
- **Banding**: در صورتی که جریان مورد استفاده جهت مغناطیسی کردن نمونه بسیار بالاتر از مقدار لازم باشد، این پدیده مغناطیسی اتفاق می‌افتد. الگوی به دست آمده در این مورد مثل خطوط نیرو در میدان، مشخص هستند. در این مورد جریان باید کاهش یابد یا فاصله پراد افزایش یابد تا امکان عدم تشخیص عیوب واقعی از بین برود.
- **میدان مغناطیس پسماند:** جابه‌جایی فولاد با آهنربای الکتریکی یا تماس با آهنربای دائمی می‌تواند آثار غلطی در نتیجه باقی ماندن میدان مغناطیسی ایجاد شده ایجاد کند.
- **کار سرد:** گاهی، کار سرد فولاد مغناطیسی خواص موضعی مغناطیسی را طوری تغییر می‌دهد که پودر در یک موضع جمع می‌شود. اثر به صورت یک تجمع نامنسجم نامشخص از پودر خواهد بود.
- **چسبندگی ذرات به واسطه نیروی مغناطیسی بیش از حد:** یکی از انواع نشانه های غیر مرتبط نشانه ای است که بر اثر چسبندگی ذرات در میدان های نشتی حول گوشه های تیز، شیارها یا سایر نامنظمی های سطحی و در هنگام مغناطیسی کردن به صورت طولی و با نیروی مغناطیسی کننده بسیار قوی ایجاد گردد. استفاده از جریانی بسیار قوی با مغناطیسی کردن دایره‌ای، می تواند منجر به ایجاد نشانه هایی از خطوط شار میدان خارجی گردد. هر دوی این موارد (نیروی مغناطیسی کننده اضافی و جریان اضافی) به راحتی توسط اپراتورهای با تجربه تشخیص داده می شوند و می‌توان آن‌ها را با کاهش نیروی مغناطیسی کننده برطرف کرد.

- **Mill scale:** پوسته های محکم و چسبنده سبب تجمع و آرایش ذرات می گردد. این امر نه تنها به دلیل چسبندگی مکانیکی که علاوه بر آن به واسطه اختلاف نفوذپذیری مغناطیسی مابین فولاد و پوسته نیز می باشد. در اکثر موارد این امر را می توان به صورت چشمی تشخیص داد و با انجام تمیزکاری بیشتر و به دنبال آن آزمایش مجدد می توان از عدم وجود ناپیوستگی واقعی اطمینان حاصل کرد.
- **پیکربندی‌هایی که منتج به محدود شدن میدان مغناطیسی می گردند**: یکی از دلایل ایجاد نشانه های غیرمرتبط محسوب می شوند. برخی پیکربندی های معمول محدودکننده عبارتند از شیارهای داخلی، مانند زبانه ها، رزوه ها، شیارهای ناشی از نشانه گذاری یا شکاف خارها.
- **نگارش مغناطیسی**: شکل دیگری از نشانه های غیر مرتبط به حساب می آید. نگارش مغناطیسی معمولاً در خصوص قطعاتی مطرح می شود که مشخصات پسماندی خوبی در حالت مغناطیسی شده از خود بروز می دهند. در صورتی که چنین قطعه ای با لبه تیز قطعه دیگر (ترجیحاً از لحاظ مغناطیسی نرم) تماس پیدا کند جهت گیری میدان پسماند به صورت موضعی تغییر یافته و منجر به شکل گیری میدان نشتی و در نتیجه نشانه های ذرات مغناطیسی خواهد گردید. به عنوان مثال می توان از یک سوزن معمولی برای نوشتن روی قطعه ای که مستعد به نگارش مغناطیسی باشد، استفاده کرد. نگارش مغناطیسی به سهولت قابل تفسیر نیست، چون ذرات چسبندگی ضعیفی داشته و از نظر ظاهری مبهم و منقطع هستند. هرگاه که ظن نگارش مغناطیسی می رود کافی است قطعه مغناطیس زدایی شده و تحت آزمایش مجدد قرار گیرد. در صورتی که نشانه، از نوع نگارش مغناطیسی بوده باشد دیگر ظاهر نخواهد شد.
- **منابع دیگر:** برخی شرایط دیگری که سبب شکل گیری نشانه های غیرمرتبط می شوند، عبارتند از اتصالات لحیم، شکاف مابین قطعات چفت شده و دانه های بزرگ.

تشخیص نشانه‌های مرتبط از غیر مرتبط

تکنیک های متعددی وجود دارند که به کمک آن ها می توان نشانه های مرتبط و غیرمرتبط را تفکیک کرد:

- در جایی که mill scale یا زبری سطحی، عامل احتمالی باشد بازرسی چشمی دقیق سطح در ناحیه ناپیوستگی و استفاده از بزرگنمایی تا ده برابر.
- مطالعه طرح یا نقشه قطعه مورد آزمایش، جهت تسهیل شناسایی محل های جوش، تغییر مقطع یا محدودیت های شکلی.

- مغناطیس زدایی و آزمایش مجدد.
- آنالیز دقیق الگوی ذرات، الگوی ذرات معمول در نشانه های غیرمرتبط معمولاً عریض و دارای چسبندگی ملایم بوده و حتی در حین مغناطیسی کردن پیوسته به سهولت قابل زدودن است.
- استفاده از یک روش دیگر بازرسی غیرمخرب، از قبیل تست آلتراسونیک یا رادیوگرافی به منظور اثبات وجود عیب زیرسطحی.

دستورالعمل‌های عمومی برای بازرسی با ذرات مغناطیسی

در بازرسی با ذرات مغناطیسی تغییرات متعددی در دستورالعمل می‌توان اعمال کرد که بر نتایج حاصله تاثیر حیاتی دارند. این تغییرات بدین جهت ضروری هستند که انواع ناپیوستگی های مورد جستجو و همچنین انواع مواد فرومغناطیسی که توسط آن‌ها این ناپیوستگی ها شناسایی می گردند، بسیار متعدد هستند.

به منظور برقراری مجموعه ای از دستورالعمل‌ها برای بازرسی یک قطعه مشخص، به روش ذرات مغناطیسی، ضروری است قطعه مورد نظر به دقت تحت آنالیز قرار گرفته، نحوه تاثیر اندازه و شکل قطعه بر نتایج آزمایش تعیین گردد. مشخصه های مغناطیسی ماده و اندازه، شکل، محل و جهت ناپیوستگی مورد انتظار، عامل دیگری است که تغییرات احتمالی در دستورالعمل را تحت تاثیر قرار خواهد داد. مواردی که باید برای برقراری مجموعه ای از دستورالعمل ها برای بازرسی یک قطعه خاص توسط ذرات مغناطیسی، مد نظر قرار گیرند، عبارتند از:

- نوع جریان
- نوع ذرات مغناطیسی
- روش مغناطیسی کردن
- جهت مغناطیسی کردن
- شدت جریان اعمالی
- تجهیزات.

نوع جریان

جریان الکتریکی مورد استفاده می تواند هم از نوع جریان متناوب و هم شکلی از جریان مستقیم باشد. این انتخاب بستگی به این دارد که آیا ناپیوستگی ها سطحی هستند یا زیرسطحی، و در صورت زیرسطحی بودن در چه فاصله ای زیر سطح قرار گرفته اند.

جریان متناوب: اثر پوسته ای جریان متناوب در ۵۰ یا ۶۰Hz، استفاده از آن را برای تشخیص ناپیوستگی هایی که به سطح باز می شوند و یا تنها به فاصله چند هزارم اینچ زیر سطح واقع هستند، محدود می سازد. با جریان متناوبی در فرکانس های پایین تر اثر پوسته ای کمتر محسوس است و در نتیجه خطوط نیرو در عمق بیشتری نفوذ خواهندکرد.

جریان مستقیم:از سوی دیگر بر خلاف جریان متناوب تمام سطح مقطع را به طور کمابیش یکنواخت، در جهت طولی مغناطیسی می کند و استحکام آن با شیب مستقیم الخط از مقداری حداکثر در سطح، تا صفر در مرکز میله در حالت مغناطیسی شدن دایره‌ای تغییر می دهد.

کاربردها

بازرسی ذرات مغناطیسی مصرف گسترده‌ای در زمینه جوشکاری دارد. این روش بازرسی می‌تواند در تعیین کیفیت نهایی جوش در فولادهای مغناطیسی و چدن‌ها بکار رود. تست‌های ذرات مغناطیسی قابل توجهی روی قطعات جوشکاری انجام می‌شود. به علاوه، وقتی این روش در فواصل مشخص در تکمیل جوش چند پاسی بکار رود، ابزار کنترل بسیار مناسبی جهت این نوع فرآیندها خواهد بود. به این ترتیب عیوب زمانی مشخص می‌شوند که امکان اصلاح آن‌ها وجود دارد، نه زمانی که انجام تعمیرات مشکل‌تر و با هزینهٔ بسیار بیشتر است. به عنوان مثال، یک کاربرد این روش این است که ریشه رویه برداری شده یا یک شیار تعمیری قبل از جوشکاری مورد بازرسی قرار گیرد تا اطمینان حاصل شود که عیوب بطور مطلوبی حذف شده‌اند. بازرسی با ذرات مغناطیسی در جوش، بعد یا گاهی قبل از تنش زدایی نیز انجام می‌گیرد. بیشتر عیوبی که در این شرایط به وجود می‌آیند سطحی هستند.

در صنایع هوافضا گاهی از بازرسی ذرات مغناطیسی در تست اجزای سازه‌ای سبک استفاده می‌شود. از آنجا که خستگی مهمترین مسئله در طراحی این اجزاء است، کیفیت سطحی از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است. در مقاطع نازک بسیاری از عیوب ریزسطحی نیز قابل تشخیص خواهند بود. بازرسی ذرات مغناطیسی را می‌توان حین نگهداری معمولی نیز انجام داد. این روش به خوبی می‌تواند مشکلات ساختاری احتمالی را روشن سازد.

بازرسی ذرات مغناطیسی عمدتاً قبل از جوشکاری روی لبه‌های ورق انجام می‌گیرد که ترک‌ها، تورق، ناخالصی و جدایش را مشخص کند. این روش تنها ناپیوستگی‌هایی را نشان می‌دهد که در سطح یا نزدیکی لبهٔ مورد بازرسی باشند. تمام ناپیوستگی‌های موجود در لبهٔ ورق‌ها موجب رد شدن آن‌ها نمی‌شوند. با این

وجود لازم است که ناپیوستگی‌هایی که تحت اتصال جوش یا توانایی فلز پایه در تحمل بار طراحی تحت شرایط کاری را بخطر می‌اندازند، حذف شوند.

بازرسی با ذرات مغناطیسی را می‌توان در کارهای تعمیراتی یا اصلاحی هم روی قطعات نو و هم قطعاتی که در حین کارکرد دچار ترک شده‌اند انجام داد. این موضوع نه تنها شامل تعمیر قطعات جوش، بلکه اصلاح با جوش در تعمیر قطعات ریختگی و فورج نیز می‌شود. می‌توان توصیه کرد که تعمیر تکمیل شده برای حذف ترک‌ها یا دیگر ناپیوستگی‌های غیرقابل قبول در جوش یا فلز مجاور آن نیز مجدداً کنترل شود. بطور کلی دستورالعمل بازرسی برای تعمیر یا اصلاح باید مشابه تست قطعات اصلی انجام شود.

تفسیر آثار ناپیوستگی‌ها

وقتی از بازرسی با ذرات مغناطیسی استفاده می‌شود، معمولا یک کد یا استاندارد وجود دارد که روش و معیارهای قبول یا رد را تعیین می‌کند. بیشتر استانداردها حدود مجاز ناپیوستگی‌های تشخیص داده شده با استفاده از تست ذرات مغناطیسی را تعیین می‌کنند. با وجودی که اندازه و نوع ناپیوستگی‌ها معیار اولیه است، در بسیاری موارد شرایط دیگری چون موقعیت و جهت نیز می‌توانند اثر بزرگی بر تأثیر ناپیوستگی‌ها بر سالم بودن جوش داشته باشند، که تصمیم گیری در مورد این عیوب برعهده مهندسین جوش می‌باشد.

استانداردها و مشخصات فنی

برای بازرسی با ذرات مغناطیسی، توسط تعداد زیادی از انجمن‌های فنی و زیرمجموعه‌های وزارت دفاع ایالات متحده توسعه یافته‌اند. بخش III،Vو VIII نظام نامهٔ بویلرها و مخازن تحت فشار ASME، حاوی مشخصات فنی برای بازرسی غیرمخرب مخازن است. تعداد زیادی از مشخصات فنی مواد هوافضا (منتشر شده توسط انجمن مهندسین خودرو) و استانداردهای انجمن آزمایش و مواد آمریکا، بازرسی با ذرات مغناطیسی را تحت پوشش قرار می‌دهند. انواع مختلفی از استانداردهای نظامی، در بردارندهٔ مشخصاتی فنی هستند که روندهای بازرسی برای تجهیزات و تدارکات نظامی را برای فروشندگان تعیین می‌کنند. راهنمای روشن پیشنهادی انجمن آزمایش‌های غیرمخرب آمریکا SNT-TC-1A، راهنمایی است برای کارفرمایان، جهت راه‌اندازی رویه‌های درون-سازمانی برای آموزش، تأیید صلاحیت، و صدور گواهینامه برای پرسنلی که شغل آن‌ها مستلزم دانش مناسبی از اصول حاکم بر روش بازرسی غیرمخربی که انجام می‌دهند، می‌باشد.

ثبت نتایج

در صورتی که سیستم مناسبی جهت ثبت دقیق و کامل آثار وجود نداشته باشد، انجام تست فایده‌ای ندارد. گاهی ابعاد نشانه‌های مرجع ثبت می‌شود. به این ترتیب محل دقیق ناخالصی را می‌توان بعداً تعیین کرد. اگر انجام تعمیر بلافاصله بعد از انجام بازرسی مورد نظر باشد می‌توان تجمع پودرها را به همان صورت نگاه داشت تا محل عیب را نشان دهد.

با این وجود در بسیاری از موارد نیاز به ارائه گزارش دائمی وجود دارد. در چنین موردی، می‌توان تجمع ایجاد شدهٔ پودر را با استفاده از روش‌های زیر حفظ کرد. با مشاهدهٔ آثار ذرات مغناطیسی، یک قطعه نوار شفاف حساس به فشار، که به اندازه کل منطقه مطلوب باشد، با دقت روی قطعه کشیده می‌شود. برای تعیین محل عیب، می‌توان نوار را روی تست‌های مرجع مجاور نیز کشید. با برداشتن نوار از روی قطعه، ذرات مغناطیسی تجمع یافته به آن می‌چسبند و یک گزارش دقیق از شکل، مقدار و محل آن‌ها به دست می‌آید. سپس می‌توان این نوار را روی یک صفحه سفید دارای کنتراست چسباند. ممکن است برای آشکار شدن محل دقیق عیب طرح‌های دیگری مورد نیاز باشد. همچنین روش‌های مختلف عکاسی کاربرد گسترده‌ای در ثبت دائمی آثار ذرات مغناطیسی دارند. گاهی جهت افزایش کنتراست ذرات باز با زمینه از اسپری کردن قطعات با آشکار ساز تست مایع نافذ قبل از انجام بازرسی کمک می‌گیرند. در این حالت یک زمینه سفید در مقابل آثار تیره رنگ ذرات مغناطیسی به دست می‌دهد.

شرکت پتروشیمی امیرکبیر (سهامی عام)

معرفی روش

تست اولتراسونیک (UT) یک روش غیرمخرب است که در آن امواج صوتی با فرکانس بالا به قطعه اعمال می‌شوند تا ناپیوستگی‌های داخلی و سطحی را مشخص کنند. تشخیص، تعیین محل و ارزیابی ناپیوستگی‌ها ممکن است زیرا:

۱- سرعت صوت در ماده معمولاً ثابت است و اندازه‌گیری فاصله را مقدور می‌سازد.

۲- دامنه صوت برگشتی تقریبا با اندازه بازتاب دهنده نسبت دارد.

موج صوتی به قطعه مورد آزمایش در مسیر تعیین شده اعمال می‌شود و روی فصل مشترک یا دیگر محل‌های ناپیوستگی در ماده بازتاب پیدا می‌کند. موج بازتابی دریافت و آنالیز می‌شود تا حضور و محل ناپیوستگی‌ها تعیین شود.

درجهٔ انعکاس، به میزان زیادی به حالت فیزیکی مواد تشکیل دهنده فصل مشترک و تا حدود کمتری به خواص فیزیکی ویژه مادهٔ بستگی دارد. به عنوان مثال، امواج صوتی در فصل مشترک‌های فلز/گاز تقریبا به طور کامل انعکاس پیدا می‌کنند. در فصل مشترک‌های فلز/ مایع یا فلز/جامد، انعکاس جزیی به وقوع می‌پیوندد که در این حالت، درصد انرژی انعکاسی، به طور عمده به نسبت برخی خواص معین ماده در طرفین فصل مشترک بستگی پیدا می‌کند.

ترک‌ها، حفره انقباضی، ترکیدگی‌ها، پوسته‌ها، حفرات و سایر ناپیوستگی‌هایی که می‌توانند فصل مشترک‌های انعکاسی ایجاد کنند، به راحتی قابل تشخیص هستند. آخال‌ها و سایر ناهمگنی‌ها نیز از طریق ایجاد انعکاس یا پراکندگی امواج آلتراسونیک یا با ایجاد برخی دیگر از اثرات قابل شناسایی بر امواج آلتراسونیک، قابل تشخیص می‌باشند.

بیشتر دستگاه‌های بازرسی آلتراسونیک، ترک‌ها را از طریق نمایش یکی یا تعداد بیش‌تری از موارد زیر، تشخیص می‌دهند.

- انعکاس صدا از فصل مشترک‌های متشکل از مرز مواد یا ناپیوستگی‌های واقع در خود فلز
- زمان عبور موج صوتی از درون قطعهٔ تست، از نقطهٔ ورود در محل پروب تا نقطهٔ خروج در محل پروب
- میرایی امواج صوتی به خاطر جذب و پراکندگی درون قطعه تست

- مشخصه‌هایی در پاسخ طیفی، چه برای سیگنال عبوری و چه برای سیگنال منعکس شده.

اکثر بازرسی‌های آلتراسونیک در فرکانس‌های مابین ۰/۱ و ۲۵MHZ انجام می‌گیرند که این محدوده بسیار بالاتر از محدودهٔ شنوایی انسان - حدود ۲۰HZ تا ۲۰KHz - می‌باشد. امواج آلتراسونیک از نوع ارتعاشات مکانیکی هستند؛ دامنهٔ ارتعاشات در فلزاتی که تحت بازرسی آلتراسونیک قرار می‌گیرند، سبب ایجاد تنش‌هایی بسیار کمتر از حد الاستیک می‌شود، بنابراین از تأثیرات دائمی روی قطعه جلوگیری می‌شود.

بازرسی آلتراسونیک یکی از پرکاربردترین روش‌های بازرسی غیرمخرب است. کاربرد اولیهٔ آن در بازرسی فلزات، تشخیص و شناسایی نقایص درونی است؛ علاوه بر این کاربرد، این روش برای تشخیص نقایص سطحی، تعیین مشخصه‌های پیوند، اندازه‌گیری ضخامت و عمق خوردگی، به میزان بسیار کمتری به منظور تعیین خواص فیزیکی، ساختار، اندازه دانه و ثوابت الاستیک نیز به کار گرفته می‌شود.

مزایا

مزایای اصلی UT نسبت به دیگر روش‌های NDT در جوشکاری عبارتند از:

۱- خواص نفوذی خوب برای تشخیص ناپیوستگی‌ها در مقاطع ضخیم
۲- حساسیت نسبتاً بالا به ناپیوستگی‌های کوچک
۳- توانایی تعیین محل ناپیوستگی‌های داخلی و تخمین اندازه و شکل آن‌ها
۴- کافی بودن دسترسی به یک وجه (معمولاً) قطعه
۵- تجهیزات قابل حمل قابل استفاده در محل کار
۶- بی خطر برای پرسنل یا تجهیزات.

محدودیت‌ها

محدویت‌های اصلی UT عبارتند از:

۱- کار و انجام عملیات نیازمند تکنسین‌های آموزش دیده و با تجربه است.
۲- قطعات جوش زبر، با شکل بی‌نظم، بسیار کوچک یا نازک را نمی‌توان تشخیص داد، که شامل جوش‌های گوشه نیز می‌شود.
۳- ناپیوستگی‌های سطحی ممکن است تشخیص داده نشوند.
۴- اعمال کوپلنت بین ترنسدیوسر و جوش برای انتقال انرژی موج صوتی ضروری است.

۵- استانداردهای مرجع برای کالیبره کردن تجهیزات و ارزیابی اندازه عیب لازم هستند.

تجهیزات الکترونیک

اگرچه تجهیزات الکترونیک مورد استفاده در بازرسی آلتراسونیک، در بین تولیدکنندگان مختلف تجهیزات، از نظر جزئیات تفاوت‌های بسیاری دارند، ولی کلیه دستگاه‌های صنعتی به صورت مشترک از اجزای اصلی زیر نشکیل شده‌اند.

۱- تولید کننده سیگنال الکترونیکی (پالس دهنده) که ولتاژ متغیر تولید کند.
۲- ترنسدیوسر فرستنده که امواج اولتراسونیک در هنگام اعمال ولتاژ آزاد کند.
۳- کوپلنت برای عبور انرژی اولتراسونیک از ترنسدیوسر به قطعه و برعکس.
۴- ترنسدیوسر دریافت کننده برای تبدیل امواج صوتی به ولتاژ متغیر. این ترنسدیوسر را می‌توان با ترنسدیوسر فرستنده ترکیب کرد.
۵- دستگاه الکترونیکی برای تقویت و یکسو کردن یا تغییر سیگنال از ترنسدیوسر دریافت کننده.
۶- نشانگر یا صفحه برای ثبت یا تشخیص خروجی بدست آمده از قطعه.
۷- یک تایمر الکترونیک برای کنترل عملیات.

بسیاری از سیستم‌ها علاوه بر این شامل تجهیزات الکترونیک برای بهبود وضعیت سیگنال، Gating، تفسیر خودکار، ارتباط با سیستم اسکن مکانیکی یا الکترونیکی می‌باشند. علاوه بر این، پیشرفت در تکنولوژی میکروپروسسورها سبب گسترش یافتن قابلیت‌های کسب داده‌ها و پردازش سیگنال سیستم‌های بازرسی آلتراسونیک شده‌اند.

اجزای اصلی به صورت بلوک‌هایی در شکل نشان داده شده‌اند.

اتصالات جوشکاری شده می‌توانند هم با استفاده از تکنیک پرتو مستقیم و هم با استفاده از تکنیک پرتو زاویه‌ای بازرسی آلتراسونیک شوند، که اغلب از روش بازرسی پرتو زاویه‌ای استفاده می‌شود. به این علت که لازم نیست پروب روی سطح جوش قرار بگیرد بلکه روی سطح فلزی نسبتاً هموار نزدیک به جوش قرار می‌گیرد. در روش بازرسی پرتو زاویه‌ای، زاویهٔ کفشک معمولاً طوری انتخاب می‌شود که امواج برشی را در قطعهٔ مورد بازرسی در زاویهٔ بهینه جهت شناسایی عیوب خطرناک، تولید کند.

عیوب متداول در جوش‌ها عبارتند از: تخلخل، سربارهٔ محبوس، نفوذ ناقص ذوب ناقص و ترک‌ها. عیوب خطرناکی همچون ترک‌ها و ذوب ناقص معمولاً به صورت طولی در طول جوش گسترش می‌یابند و زمانی که پرتو صوتی در زوایای قائمه به آن‌ها برخورد می‌کند، سیگنال‌های واضحی تولید می‌کند. تخلخل کروی

حتی زمانی که پرتو صوتی با زاویه به اتصال برخورد می‌کند، اکو (انعکاس) با دامنهٔ کوچک تولید خواهد کرد. ناخالصی‌های سرباره‌ای ممکن است نشانه‌های پله‌دار تولید کند که در زوایای قائمه نسبت به جهت سرباره ماکزیمم هستند. ناخالصی‌های زیاد ممکن است زمانی‌که قسمت‌های مختلف ناخالصی اسکن می‌شود، سیگنال‌های متعدد تولید کنند.

۵-۶-۲۱ -بازرسی اتصالات پیوندی

اگر شکل اتصال مطلوب باشد، بازرسی آلتراسونیک می‌تواند جهت تعیین سالم بودن اتصالات پیوندی به صورت چسبیده یا اتصالات پیوندی فرآیندهای متالورژیکی متفاوت دیگر نظیر لحیم کاری مورد استفاده قرار گیرد.

هر دو تکنیک پالس-اکو و رزونانس جهت بررسی کیفیت پیوند در اتصالات لحیم کاری شده مورد استفاده قرار گرفته است.

یاتاقان‌های مهره ماسوره بابیت یکی از قسمت‌هایی است که دارای پیوندهای متالورژیکی بوده و عیوب آن توسط آزمایش آلتراسونیک بررسی می‌شوند. پیوند بین بابیت و پوسته به وسیله تکنیک پرتو مستقیم پالس-اکو با استفاده از پروب تماسی بر روی سطح خارجی پوسته فولادی بازرسی می‌شود. پروب با قطر کوچک جهت اطمینان از تماس کامل بین پوسته و کوپلنت مورد استفاده قرار می‌گیرند. قبل از بازرسی، سطح خارجی پوسته فولادی و درون لایه با بیت تا حداکثر زبری μm ۳/۲۰ ماشینکاری می‌شود.

در حین بازرسی، اسیلوسکوپ معمولاً سه اثر را نشان می‌دهد: پالس اولیه، اکو کوچک از خط پیوند و انعکاس برگشتی از سطح درونی. مناطقی که اثر خط پیوند حداقل است را به عنوان پیوند قابل قبول در نظر می‌گیرند. وقتی که سیگنال خط پیوند افزایش می‌یابد، پیوند دارای مشکل است. وقتی که هیچ انعکاسی برگشتی از سطح درونی وجود نداشته باشد به این معنی است که هیچ پیوندی وجود ندارد.

بازرسی انواع دیگر اتصالات پیوندی تقریباً به همان روش تشریح شده در بالا انجام می‌شود.

بازرسی به روش رادیوگرافی

۵-۷-۱-معرفی روش

در تست رادیوگرافی قطعات جوش یا لحیم، از اشعه‌های x یا γ یا هر دو برای نفوذ در قطعه و تشخیص ناپیوستگی‌ها از روی تصویر روی یک ثبات[۴] یا مونیتور استفاده می‌شود. این ثبات می‌تواند از فیلم عکاسی، ورق حساس شده، صفحهٔ فلورسنت یا دیتکتور اشعه الکترونیکی باشد. فیلم عکاسی معمولا برای ثبت دائمی نتایج تست به کار می‌رود. وقتی جسم مورد آزمون یا اتصال جوش در معرض اشعه نافذ قرار می‌گیرد، قسمتی از اشعه جذب می‌شود، برخی از آن پخش می‌شود و قسمتی دیگر از فلز عبور می‌کند و روی ثبات اثر می‌گذارد. مقدار اشعه عبوری از جوش به موارد زیر بستگی دارد:

۱- چگالی نسبی فلز و ناخالصی‌های موجود

۲- تغییرات ضخامت قطعه

۳- خواص خود اشعه.

ناخالصی‌های غیرفلزی ، حفره‌ها ، ترک‌های جهت دار و دیگر ناپیوستگی‌ها موجب تغییر در مقدار اشعه عبوری ثبت شده می شوند. تغییرات در مقدار اشعه عبوری موجب مناطق دارای کنتراست روی ثبات می‌شود. این موضوع در شکل نشان داده شده است.

عناصر اصلی در آزمون رادیوگرافی عبارتند از:

۱- منبع تولید اشعه نافذ، مانند دستگاه اشعه X یا یک ایزوتوپ رادیواکتیو

۲- جسم رادیوگراف شونده، مانند قطعه جوش

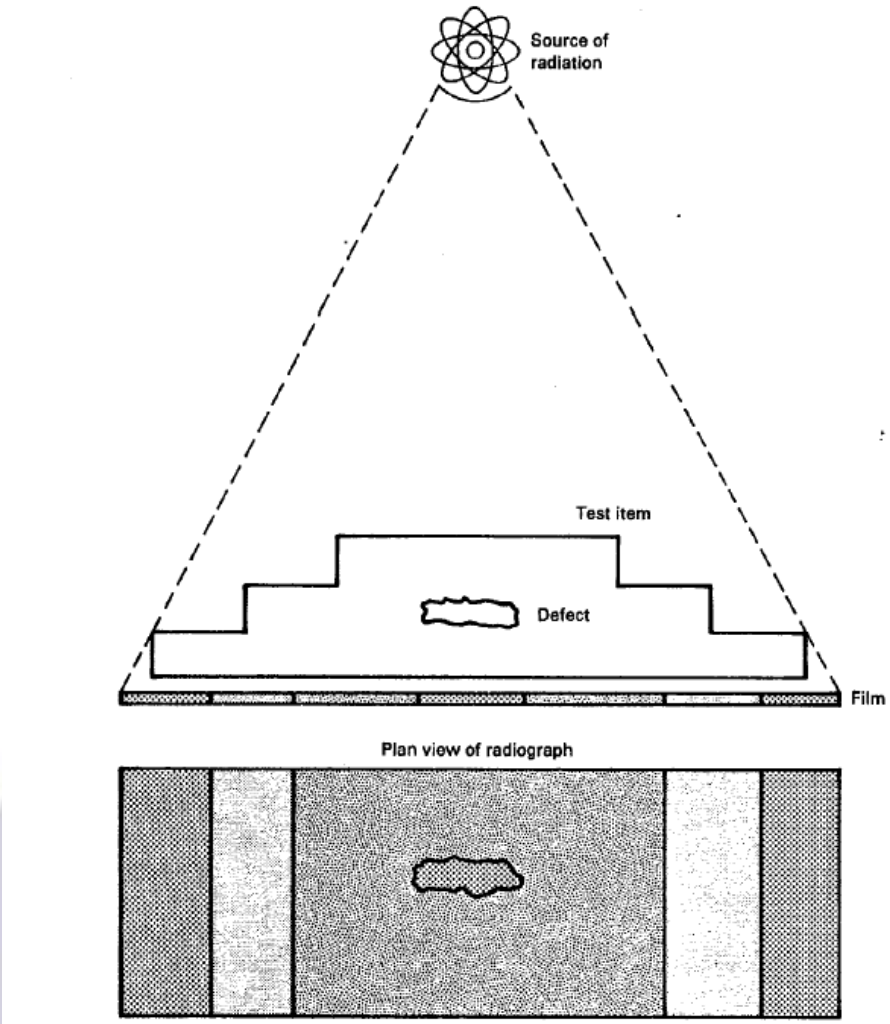
۳- وسیله مشاهده یا ثبت، معمولا فیلم (اشعه X) عکاسی متصل به نگهدارندهٔ[۵] Light-Tight

۴- یک رادیوگراف با صلاحیت و آموزش دیده برای تولید اشعه به شکل مطلوب

۵- وسیله‌ای برای خواندن فیلم یا دیگر ثبات‌ها

۶- فرد ماهر در تفسیر رادیوگراف.

1- Medium
4- Holder



شکل ۱۰ : تصویر کلی بازرسی رادیوگرافی

رادیوگرافی جهت ثبت خصوصیات قطعه‌ای با ضخامت یا چگالی فیزیکی متفاوت در مقایسه با محیط اطرافش ، مورد استفاده قرار می‌گیرد. اختلاف یا تفاوت‌های بزرگ در مقایسه با انواع کوچکتر، آسان‌تر ثبت می‌شوند. به طور کلی، در رادیوگرافی فقط مواردی را می‌توان ثبت کرد که دارای ضخامت قابل توجهی در جهت موازی پرتو تابش باشند. این بدان معنی است که قابلیت فرآیند در ثبت ناپیوستگی‌های صفحه‌ای مثل ترک‌ها به جهت‌گیری مناسب قطعه کار در حین بازرسی بستگی دارد. ناپیوستگی‌هایی مثل حفره‌ها و آخال‌ها که دارای ضخامت قابل اندازه‌گیری در تمام جهات می‌باشد را می‌توان در فواصل مختلف در مقایسه با ضخامت ثبت کرد. به طور کلی، مواردی که باعث جذب بیش از ۱ درصد نسبت به محیط اطرافشان گردند قابل ثبت می‌باشند.

اگرچه ثبت عیوب درونی قطعات دارای محدودیت‌هایی می‌باشد، رادیوگرافی و آلتراسونیک، دو روش عمومی از روش‌های بازرسی غیرمخرب می‌باشند که می‌توانند عیوب درونی و زیر سطحی را به طور رضایت بخشی ثبت کنند. هر دو روش دارای محدودیت‌هایی هستند، رادیوگرافی روش موثری در ثبت عیوب غیرصفحه‌ای می‌باشد در حالی که آلتراسونیک در ثبت عیوب صفحه‌ای بسیار مؤثر می‌باشند. در مقایسه با دیگر روش‌های بازرسی غیرمخرب مثل ذرات مغناطیسی، مایعات نافذ و جریان‌های گردابی، رادیوگرافی دارای سه امتیاز اصلی می‌باشد:

- قابلیت ثبت عیوب درونی
- قابلیت ثبت تغییرات محسوس در ترکیب
- ثبت دائمی نتایج بازرسی.

محدودیت‌ها

در مقایسه با دیگر روش‌های بازرسی غیرمخرب، رادیوگرافی گرانقیمت می‌باشد. هزینه‌های سرمایه‌گذاری نسبتاً زیاد و فضای مناسب جهت آزمایشگاه رادیوگرافی مورد نیاز است، هر چند که با استفاده از منابع اشعه x و γ قابل حمل این هزینه‌ها تا حدودی کاهش می‌یابد. در واحدهای قابل حمل هزینه سرمایه‌گذاری کاهش یافته و فقط محلی برای ظهور و ثبوت فیلم‌ها و تفسیر آن مورد نیاز می باشد. هزینه‌های اپراتوری بسیار بالا بوده و بعضی اوقات، حدود ۶۰ درصد از زمان بازرسی کل ،صرف تنظیم‌های رادیوگرافی می‌شود. در حالی که در رادیوگرافی در زمان واقعی، هزینه‌های اپراتوری خیلی کمتر است زیرا زمان تنظیم کوتاهتر بوده و هزینه‌های اضافی برای ظهور و ثبوت یا تفسیر فیلم وجود ندارد.

بازرسی مقاطع ضخیم را می‌توان به عنوان یک فرآیند زمان‌بر در نظر گرفت زیرا فیلم رادیوگرافی نیاز به زمان زیاد تشعشع مؤثر در منابع قابل حمل دارد. منابع رادیواکتیو (اشعه γ) دارای محدودیت‌هایی در مقدار خروجیشان می‌باشند زیرا منابع با اکتیویته زیاد نیازمند محافظت شدید پرسنل است. این محدودیت موجب استفاده از منابع با اکتیویته کمتری جهت حمل و نقل می‌شود. همچنین منابع اشعه X قابل حمل، باعث محدودیت‌هایی در مقاطع ضخیم به خصوص در هنگام استفاده از تیوب اشعه Xمی‌شوند. تیوب‌های اشعه X دارای تشعشع نسبتاً کم انرژی (۳۰۰kev) می‌باشند و خروجی تشعشع آن‌ها محدود می‌باشد. این دو ماهیت تیوب‌های قابل حمل اشعه X موجب محدود شدن کاربردشان، تا بازرسی مقاطع با جذب معادل ۷۵mm فولاد می‌گردد. بجای تیوب‌های اشعه x پرتابل، شتاب دهنده‌های خطی قابل حمل و بتاترون‌ها دارای اشعه x با انرژی بالا (۸Mev) جهت رادیوگرافی مقاطع ضخیم‌تر استفاده می شوند.

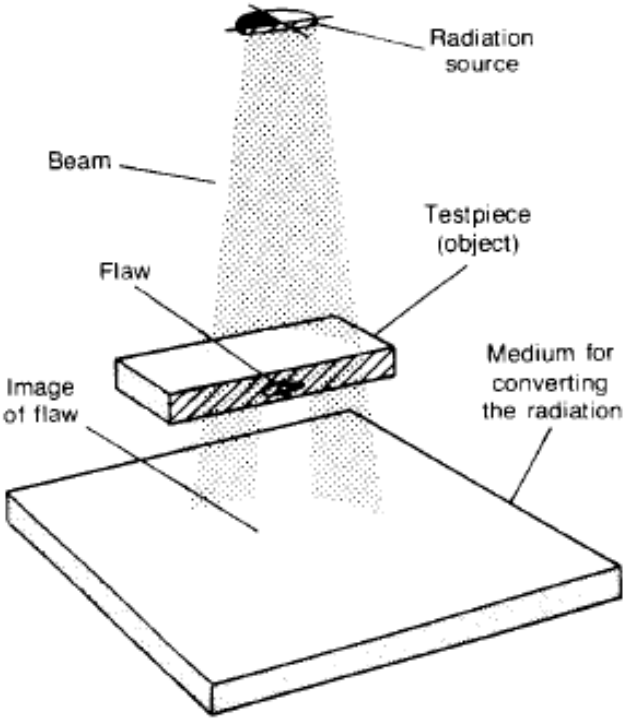
انواع مشخصی از عیوب به راحتی توسط رادیوگرافی ثبت نمی شوند،به عنوان مثال ترک‌ها قابل ثبت نیستند مگر اینکه موازی جهت تشعشع قرار گیرند. ترک‌های بسته شده در مقاطع ضخیم با وجود جهت‌گیری مناسب هم قابل ثبت نیستند. ناپیوستگی‌های ریز مثل آخال‌ها در مواد کار شده، خلل و فرج‌های در حد میکرون، ترک‌های مویی و ... قابل تثبیت نیستند مگر اینکه به اندازه کافی باعث جداسازی شوند تا بتوان محیط ناخالصی را ثبت کرد. ثبت عیب لایه‌ای همچون تورق به وسیله رادیوگرافی تقریباً غیرممکن است زیرا به دلیل جهت‌گیری نامناسب اختلاف جذب قابل توجهی بین لایه و قسمت‌های دیگر ایجاد نمی‌شود.

به روشنی مشخص است که مقادیر زیاد دز اشعه x یا γ موجب کشته شدن سلول‌های بدن انسان می‌شود و در مقادیر بسیار زیاد دز موجب بیماری‌های سخت و یا مرگ می‌شود. حفاظت پرسنل- افرادی که به طور مستقیم با اشعه درگیرند و نیز افرادی که مجاور محل بازرسی قرار دارند - بسیار مهم است. بنابراین الزامات ایمنی موجب زیاد شدن هزینه‌های اقتصادی و اپراتوری در روش رادیوگرافی می‌شوند.

اصول رادیوگرافی

سه قسمت اصلی رادیوگرافی شامل منبع تشعشع، قطعه کار یا جسم مورد ارزیابی و ماده حسگر می‌شود. این قسمت‌ها به صورت شماتیکی در شکل نشان داده شده اند. قطعه کار در شکل ، ورق با ضخامت یکنواخت می‌باشد که دارای یک عیب درونی است که موجب اختلاف جذب آن با قسمت‌های دیگر می‌شود. تشعشع در حین عبور از قطعه کار توسط آن جذب می‌شود و مقدار جذب توسط عیب و فلز متفاوت می‌باشد. بنابراین اثر تشعشع عبوری از قسمت معیوب بر روی ماده حسگر در مقایسه با بقیه قسمت‌ها متفاوت خواهد بود که این حالت موجب ایجاد تصویر یا سایه از عیب بر روی ماده حسگر می‌گردد. این بخش ماهیت کلی و اصول ایمنی رادیوگرافی را بیان می‌کند.

شرکت پتروشیمی امیرکبیر (سهامی عام)

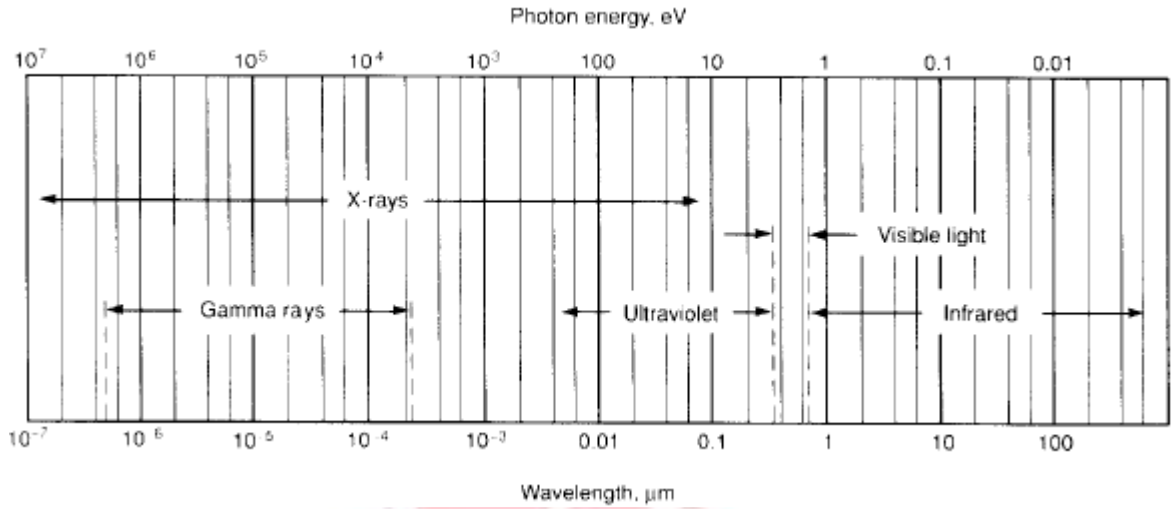


شکل ۱۱ طرح کلی عوامل اصلی یک سیستم رادیوگرافی

منابع تشعشع

دو نوع تشعشع الکترومغناطیسی (اشعه x و اشعه γ)در بازرسی رادیوگرافی مورد استفاده قرار می‌گیرند.

اشعه x و γ نسبت به انواع دیگر امواج الکترومغناطیسی (مثل نور مرئی، امواج لیزر و امواج رادیویی) فقط در طول موج تفاوت دارند هر چند که انتقال مشخصی از یک نوع تشعشع الکترومغناطیسی نسبت به نوع دیگر وجود ندارد (شکل). فقط اشعه‌های x و γبه دلیل طول موج کوتاهشان (انرژی زیاد) دارای قابلیت نفوذ در مواد و نشان دادن عیوب درونی را دارند.



شکل ۱۲بخشی از طیف الکترومغناطیسی شامل اشعه X ، اشعه γ ،فرابنفش ،نور مرئی و مادون قرمزو ارتباط طول موج و انرژی فوتون

اشعه‌های X مناسب برای بازرسی جوش توسط دستگاه‌های اشعه X ولتاژ بالا تولید می‌شوند. طول موج اشعه X توسط ولتاژ اعمالی بین اجزا، در لوله اشعه X تعیین می‌شود. ولتاژهای بالاتر اشعه X با طول موج کوتاهتر و شدت بیشتر ایجاد می‌کند که موجب توانایی بیشتر نفوذ می‌شود. کاربردهای معمول دستگاه‌های اشعه X برای ضخامت‌های مختلف فولاد، در جدول ۹ نشان داده شده است. در مورد دیگر فلزات، توانایی نفوذ دستگاه ممکن است بسته به خواص جذب اشعه X در آن فلز، بیشتر یا کمتر باشد. خواص جذب اشعهٔ X معمولا به دانسیته فلز وابستگی دارد.

جدول ۹ محدوده تقریبی ضخامت فولاد در دستگاه X

Max voltage, kVp	Approx. max thickness, in.
100	0.33
150	0.75
200	1
250	2
400	3
1000	5
2000	8

اشعه‌های γ از هسته مواد رادیواکتیو که به آن رادیوایزوتوپ گفته می‌شود، ساطع می شود. با وجودی که طول موج اشعه ایجاد شده کاملا متفاوت از X است، اما هر دو اشعهٔ X و γ در رادیوگرافی به صورت مشابهی عمل می‌کنند. سه رادیوایزوتوپ متداول مورد استفاده عبارتند از کبالت 60، سزیم 137 و ایریدیم 192 که به

ترتیب کاهش سطح انرژی (توانایی نفوذی) نام برده شدند. کبالت 60 و ایریدیم 192 مصارف بیشتری نسبت به سزیم 137 دارند. محدوده ضخامت مناسب فولاد در این رادیوایزوتوپ‌ها، در جدول ۱۰ نشان داده شده است.

جدول ۱۰محدوده تقریبی ضخامت فولاد در رادیوایزوتوپ‌ها

Radioisotope	Approx. equivalent x-ray machine kVp	Useful thickness range, in.
Iridium-192	800	0.5 – 2.5
Cesium-137	1000	0.5 – 3.5
Cobalt-60	2000	2 – 8

هر منبع اشعه مزیت‌ها و محدودیت‌های خود را دارد که در جدول ۱۱ قید گردیده است. قابل توجه‌ترین جنبه منبع اشعه معمولاً به کیفیت تصویر ایجاد شده مربوط است. با این وجود قابل حمل بودن و هزینه آن نیز از دیگر ملاحظات مهم در انتخاب منبع می‌باشد.

کلیه منابع تولید کننده اشعه مضر هستند و در مورد ورود و یا کار در محل رادیوگرافی باید احتیاط خاصی صورت پذیرد که این موضوع در بخش‌های بعدی مورد بحث قرار می‌گیرد.

جدول ۱۱ مزیت‌ها و محدودیت‌های هر منبع اشعه

Table 9.4
Advantages and limitations of radiation sources

Radioisotopes	X-ray machines
Advantages	
(1) Small and portable	(1) Radiation can be shut off
(2) No electric power required	(2) Penetrating power (kV) is adjustable
(3) No electrical hazards	(3) Can be used on all metals
(4) Rugged	(4) Provides radiographs with good contrast and sensitivity
(5) Low initial cost	
(6) High penetrating power	
(7) Access into small cavities	
(8) Low maintenance costs	
Limitations	
(1) Radiation emitted continuously by the isotope	(1) High initial cost
(2) Radiation hazard if improperly handled	(2) Requires source of electrical power
(3) Penetrating power cannot be adjusted	(3) Equipment comparatively fragile
(4) Radioisotope decays in strength requiring recalibration and replacement	(4) Less portable
	(5) Tube head usually large in size
(5) Radiographic contrast generally lower than with x-rays	(6) Electrical hazard from high voltage
(6) Cannot be used on all metals, e.g., aluminum	(7) Radiation hazard during operation

- **پرتوهای X (X-Ray)**

پرتوهای X دارای خواصی به شرح زیر می باشند:

۱ـ نامرئی هستند.

۲ـ مستقیم و با سرعت نور حرکت می‌کنند.

۳ـ پرتوهای X را نمی‌توان به وسیله منشور یا عدسی و یا میدان‌های مغناطیسی یا الکتریکی تغییر مسیر داد. اگرچه مسیر آن‌ها را می‌توان به وسیله پراش در شبکه کریستالی تغییر داد.

۴ـ پرتوهای x از مواد عبور می‌کنند و در هنگام عبور بخشی از آن‌ها جذب ماده می‌گردند. میزان نفوذ پرتوها بستگی به نوع آن ماده و انرژی پرتوهای x تابشی دارد.

۵ـ پرتوهای تابشی x یونیزه کننده هستند. به این مفهوم که سبب آزاد شدن الکترون‌ها در ماده می‌گردند. مایعات و جامدات را می‌توان یونیزه کرد ولی برای مدت طولانی نمی‌توان آن‌ها را در این حالت نگه داشت در صورتی که گازهای یونیزه شده برای مدت طولانی‌تری پایداری خود را حفظ می‌کنند و از اینرو در ساخت دستگاه‌های اندازه‌گیری اشعه x و γ استفاده می‌شوند.

۶ـ پرتوهای x می‌توانند سبب آسیب دیدن و انهدام سلول‌های زنده پوست و خون گردند.

۷ـ بر روی ماده امولسیون فیلم اثر فتوگرافی دارند و در بعضی مواد اثر فلورسنت ایجاد می‌کنند.

۸ـ از قانون عکس مربع‌ها پیروی می‌کنند.

۹ـ پرتوهای x در هنگام عبور از بدن اثری بر روی حواس انسان نمی‌گذارند.

۱۰ـ پرتوهای x ممکن است با پدیده‌های پراکنش، بازتابش، شکست و پراش روبرو گردند که پدیده پراش در اثر برخورد پرتوکم انرژی (5 تا 50 kev) با شبکه‌های کریستالی به وجود می‌آید و می‌تواند سبب پیدایش نقاط سیاهی بر روی پرتو نگاشت گردد.

- **پرتوهای گاما** $(\gamma - \text{Ray})$

پرتوهای گاما دقیقاً خواص فیزیکی مشابه با پرتوهای x دارند و از تابش‌های الکترومغناطیس هستند. منتها این نوع پرتوها را به وسیله دستگاه‌های الکتریکی نمی‌توان تولید کرد؛ اشعه گاما از واپاشی هسته‌های اتم‌های موجود در مواد رادیواکتیو حاصل می‌گردند. انرژی پرتوهای گاما انتشار یافته از یک ماده خالص رادیو اکتیو را نمی‌توان کنترل کرد (زیرا به نوع ماده رادیواکتیو بستگی دارد) و چون نمی‌توان سرعت واپاشی ماده رادیواکتیو را تغییر داد، لذا نمی‌توان شدت آن را نیز کنترل کرد.

پرتوهای گاما نیز همانند پرتوهای x طی عبور از ضخامت ماده بخشی از آن‌ها جذب می‌شوند و از این رو در تولید تصویر رادیوگرافیک می‌توان از آن‌ها بهره گرفت.

پرتوهای گاما بطور معمول بصورت طیف خطی[۶] انتشار می‌یابند و عبارت از یک سری انرژی‌های محدود و مجزا از یکدیگر می‌باشند.

1- Line Spectra

جسم مورد آزمایش

تست رادیوگرافی به مقدار متفاوت اشعه در هنگام عبور از جسم مورد آزمایش بستگی دارد. نرخ جذب به عوامل زیر بستگی دارد:

۱- قدرت نفوذ منبع

۲- دانسیته مواد قرارگیرنده در مقابل اشعه

۳- ضخامت نسبی مواد در مسیر اشعه.

ناپیوستگی‌های مختلفی که در جوش وجود دارند، می‌توانند اشعه کمتر یا بیشتری نسبت به فلز اطراف خود جذب کنند، که به دانسیته ناپیوستگی و ضخامت آن در موازات اشعه بستگی دارد. بیشتر ناپیوستگی‌ها، مثل ناخالصی‌های سرباره، تخلخل‌ها و ترک‌ها، با موادی با دانسیته نسبی پایین پر شده‌اند. این مناطق به صورت مناطق تیره روی محیط ثبات (فیلم) پدیدار می‌شوند. مناطق روشن‌تر معمولا ضخامت بیشتر یا دانسیته بیشتر را نشان می‌دهند. گرده جوش، پاشش، و ناخالصی‌های تنگستن مثال‌هایی از این مورد هستند.

تبدیل تصویر

مهمترین فرآیند در رادیوگرافی، تبدیل تشعشع به شکل مناسب جهت مشاهده یا پردازش بیشتر سیگنال می‌باشد. این تبدیل با یک محیط ثبت (معمولاً فیلم) یا محیط تصویر واقعی با زمان (فلوئورسنت یا کریستال) همراه است. فرآیند تصویرسازی را می‌توان همراه با استفاده از صفحات تشدید کننده یا فیلتر کننده جهت تشدید فرآیند تبدیل یا فیلتر تشعشع‌های پراکنده انجام داد.

- **وسائل ثبت یا مشاهده**

محیط ثبت .یک تصویر دائمی از تغییرات شدت تشعشع‌های جذب نشده و متناسب با زمان را فراهم می‌سازد. در محیط ثبت مثل فیلم، تصویر پنهانی و نامرئی در محیطی که تحت تشعشع قرار گرفته است تشکیل می‌شود. این قسمت بعد از فرآیند کردن فیلم (ظهور، شستشو و خشک کردن) به صورت تار دیده می‌شود و مقدار تیرگی (دانسیته عکاسی) به میزان تشعشع بستگی دارد. سپس فیلم بر روی یک صفحه نورانی قرار داده می‌شود و تغییرات دانسیته مشاهده می‌شود که از روی آن می‌توان بررسی و تفسیر را انجام داد.

- محیط تصویرسازی واقعی با زمان

تصویر فوری از دانسیته تشعشع عبوری از قطعه کار را نمایش می‌دهد. با استفاده از صفحات فلوئورسنت نور مرئی متناسب با شدت اشعه x یا γ عبور داده می‌شود. این نور انتقالی را می‌توان مستقیماً مشاهده کرد و یا تقویت کرده و یا به سیگنال‌های ویدیویی جهت ماینتور کردن در تلوزیون تبدیل کرد.

- صفحات تشدید کننده و فیلتر کننده

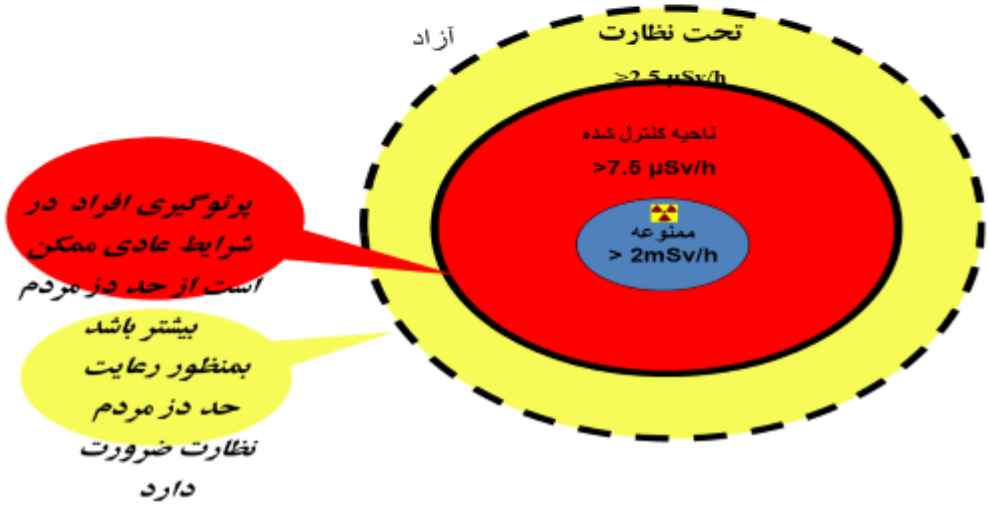
جهت بهبود کنتراست تصویر ،به خصوص هنگامی که شدت تشعشع کم و یا انرژی تشعشع زیاد باشد به کار می‌رود. صفحات در انرژی‌های بالاتر مفیدتر است زیرا در انرژی‌های بالاتر حساسیت فیلم و صفحات فلوئورسنت کاهش می‌یابد. متداول‌ترین وسیله ثبت، فیلم رادیوگرافی است که مخصوص همین هدف ساخته شده است. فیلم رادیوگرافی صنعتی، یک صفحه پلاستیکی نازک شفاف انعطاف پذیر است که پوشش ژلاتینی حاوی کریستال‌های میکروسکوپی برمید نقره روی آن رسوب داده شده است. در برخی فیلم‌ها، این مخلوط ژلاتینی روی یک طرف و در برخی روی هر دو طرف را پوشانده است. این مخلوط به اشعه نافذ و نور مرئی حساس است و باید در اتاق تاریک در محفظه‌های فیلم Light-Tight قرار گیرد. فیلم‌های رادیوگرافی براساس سرعت، کنتراست و اندازه دانه دسته‌بندی می‌شوند. انتخاب فیلم به طبیعت بازرسی، ضخامت و نوع فلز، زمان قرارگیری مورد نیاز و حساسیت مطلوب بستگی دارد.

صفحه‌های فلورسنت یا سیستم‌های تقویت کنندهٔ تصویر را می‌توان برای مشاهده مستقیم فرد رادیوگرافر به کار برد. ابزارهای الکترونیکی می‌توانند تصویر را گسترش داده، یا آن را روی علائم الکتریکی منتقل کنند تا فراوری بعدی، مشاهده، یا ثبت روی آن انجام شود. با این وجود، در حال حاضر اکثر رادیوگرافی در جوشکاری، با فیلم انجام می‌شود.

جدول محاسبه شعاع نواحی
ممنوعه، کنترل شده و تحت نظارت

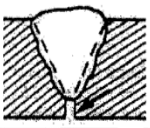
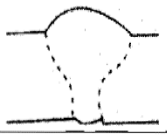
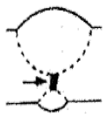
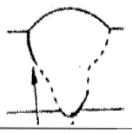
چشمه	ممنوعه	کنترل شده	تحت نظارت
ایریدیم -۱۹۲	1.6√A	26√A	44√A
کبالت -۶۰	2.6√A	42√A	73√A
سزیم -۱۳۷	1.3√A	21√A	36√A

نواحی کار



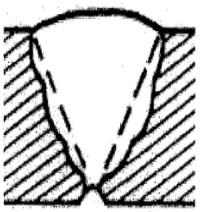
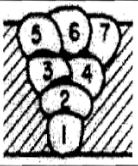
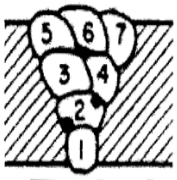
شرکت پتروشیمی امیرکبیر (سهامی عام)

معیار پذیرش جوش با رادیوگرافی طبق API 1104

نام عیب	شرح عیب	شکل	حداکثر اندازهٔ مجاز	ملاحظات
نفوذ ناقص (IP)	نفوذ ناقص بدون بالا و پائین بودن لبه (پرنشدن کامل ریشه جوش)		طول ۲۵ میلیمتر (انفرادی) طول ۲۵ میلیمتر در ۳۰۰ میلیمتر (مجموع) ۸ درصد طول جوش (برای طول کمتر از ۳۰۰ میلیمتر)	
نفوذ ناقص (IPD)	نفوذ ناقص بخاطر بالا و پایین بودن لبه (نمایان بودن یک لبه در ریشه بخاطر عدم همترازی)		طول ۵۰ میلیمتر (انفرادی) طول ۷۵ میلیمتر (مجموع)	
نفوذ ناقص (ICP)	نفوذ ناقص در پایهٔ پخ (عیب زیرسطحی بین اولین پاس داخلی و اولین پاس بیرونی)		طول ۵۰ میلیمتر (انفرادی) طول ۵۰ میلیمتر در ۳۰۰ میلیمتر (مجموع)	
ذوب ناقص (IF)	عیب سطحی بین فلزجوش و فلز مبنای منتهی به سطح		طول ۲۵ میلیمتر (انفرادی) طول ۲۵ میلیمتر در ۳۰۰ میلیمتر (مجموع) ۸ درصد طول جوش (برای طول کمتر از ۳۰۰ میلیمتر)	
ذوب ناقص (IFD)	ذوب ناقص بخاطر سرد جوشی (عیب بین دو فلز جوش مجاور یا بین فلزی جوش وفلز مبنای غیرمنتهی به سطح)		طول ۵۰ میلیمتر (انفرادی) طول ۵۰ میلیمتر در ۳۰۰ میلیمتر (مجموع) ۸ درصد طول جوش (برای طول کمتر از ۳۰۰ میلیمتر)	
تقعر داخلی (IC)	گودشدگی وسط جوش از طرف داخل لوله			درجه سیاهی تعقر از درجه سیاهی فلز مبنا بیشتر نباشد

شرکت پتروشیمی امیرکبیر (سهامی عام)

معیار پذیرش جوش با رادیوگرافی طبق API 1104

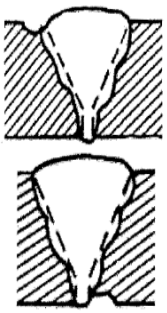
نام عیب	شرح عیب	شکل	حداکثر اندازهٔ مجاز	ملاحظات
سوختگی سرتاسری (BT)	قسمتی از پاس ریشه بخاطر نفوذ اضافی پاس دوم، سوخته شده و بطرف داخل لوله سوق داده شده است.		حداکثر اندازه ۶ میلیمتر و درجه سیاهی BT از درجه‌سیاهی فلزمبنابیشتر نباشد. حداکثر اندازه بیشترازضخامت لوله نازکترنباشد ودرجه سیاهی BT ازدرجه سیاهی فلزمبنا بیشتر نباشد. مجموع حداکثر اندازه های BT جداگانه از ۱۳ میلیمتر در ۳۰۰ میلیمتر یا طول کل جوش هر کدام کمتر است، بیشتر نباشد (برای لوله کوچکتر از قطر ۶۰ میلیمتر فقط یک BT به هر اندازه بیشتر نباشد)	
آخال سرباره (SI)	سرباره جامد حبس شده در فلز جوش یا بین فلز جوش و فلز مبنا			
آخال سرباره طویل شده (ESI)	خطوط سرباره پیوسته یا شکسته (معمولاً در منطقه ذوب)		طول ۵۰ میلیمتر (انفرادی) طول ۵۰ میلیمتر در ۳۰۰ میلیمتر (مجموع) عرض ۱/۶ میلیمتر	آخال سرباره طویل شده موازی اگر به اندازه پهنای پاس ریشه از هم فاصله داشته باشد، تکی محسوب میشود ولی اگر پهنای هرکدام از ۰/۸ میلیمتر بیشتر باشد، عیوب جداگانه به‌حساب می‌آیند.
آخال سرباره منفرد (ISI)	سرباره با شکل نامنظم که در هر جای جوش ممکن است وجود داشته باشد		طول ۱۳ میلیمتر در ۳۰۰ میلیمتر (مجموع) عرض ۳ میلیمتر ٤ تا عرض حداکثر ۳ میلیمتر در ۳۰۰ میلیمتر ۸ درصد طول جوش (جمع ESI و ISI)	

شرکت پتروشیمی امیرکبیر (سهامی عام)

معیار پذیرش جوش با رادیوگرافی طبق API 1104

نام عیب	شرح عیب	شکل	حداکثر اندازهٔ مجاز	ملاحظات
تخلخل (P)	منفذهای گازی حبس شده در فلز جوش		اندازه ۳ میلیمتر ۰/۲۵ ضخامت قطعه نازکتر	
تخلخل پراکنده (SP)	منفذهای گازی پراکنده		بیشتر از نمودار ارائه شده نباشد	
تخلخل خوشه ای (CP)	منفذهای گازی مجتمع		تخلخل خوشه ای پاس رو: قطر خوشه ۱۳ میلیمتر طول ۱۳ میلیمتر در ۳۰۰ میلیمتر (مجموع) اندازه منفذ انفرادی در خوشه از ۱/۶ میلیمتر بیشتر نباشد	تخلخل خوشه ای پاسهای میانی همانند تخلخل پراکنده درنظر گرفته شود.
تخلخل طویل شده (HB)	تخلخل طویل شده خطی در پاس ریشه		طول ۱۳ میلیمتر (انفرادی) طول ۵۰ میلیمتر در ۳۰۰ میلیمتر (مجموع) HB های با طول بیشتر از ۶ میلیمتر به فاصله بیشتر از ۵۰ میلیمتر ۸ درصد طول جوش (مجموع)	

معیار پذیرش جوش با رادیوگرافی طبق API 1104

نام عیب	شرح عیب	شکل	حداکثر اندازهٔ مجاز	ملاحظات
ترک (C)	جدایش دو قسمت از فلز		هر اندازه یا هر جای جوش مجاز نیست طول کمتر از ٤ میلیمتر ترک کم عمق یا ستاره ای چاله جوش	بجز ترک کم عمق یا ترک ستاره‌ای درچاله‌انتهای جوش
بریدگی کناره (E) بیرونی (I)ریشه	شیار ایجاد شده در فلز مبنای کناره جوش		طول ۵۰ میلمتر در ۳۰۰ میلیمتر (مجموع EU و IU) یک ششم طول جوش (مجموع EU و IU)	در بازرسی چشمی: عمق تا ۰/۸ میلیمتر یا ۱۲/۵ درصد ضخامت، عمق بیشتر از ۰/٤ تا ۰/۸ میلیمتر یا بیشتر از ۶ تا ۱۲/۵ درصد ضخامت، بطول ۵۰ میلیمتر در ۳۰۰ میلیمتر طول جوش. عمق کمتر یا مساوی ۰/٤ میلیمتر یا کمتر یا مساوی ۶ درصد ضخامت با هر طول
تجمع عیوب (AI)	تجمع چند نوع عیب (بجز نفوذ ناقص بخاطر بالا و پایینی و بریدگی کناره)		طول ۵۰ میلیمتر در ۳۰۰ میلیمتر (مجموع) ۸ درصد طول جوش (مجموع)	

IP = Inadequate Penetration	BT = Burn - Through	CP = Cluster Porosity
IPD = Inadequate Penetration Due to High-Low	SI = Slag Inclusion	HB = Hollow-bead Porosity
ICP = Inadequate Cross Penetration	ESI = Elongated Slag Inclusion	C = Crack
IF= Incomplete Fusion	ISI = Isolated Slag Inclusion	EU = External Undercutting
IFD= Incomplete Fusion Due to cold lap	P = Porosity	IU = Internal Undercutting
IC = Internal Concavity	SP = Scattered Porosity	AI = Accumulation of Imperfections

شرکت پتروشیمی امیرکبیر (سهامی عام)

منابع:

- جزوه مرکز پژوهش مهندسی جوش ایراناسن
- استاندارد API 1104 – 1994
- استاندارد ASME SEC V – VIII
- ASNT GUIDE