



السلامة



لوله‌های فولادی انتقال نفت و گاز

سرشناسه	ساری، عبدالرسول. ۱۳۳۶.
عنوان و نام پدیدآور:	لوله‌های فولادی انتقال نفت و گاز = Steel pipes for transmission Oil & Gas
مشخصات نشر:	گردآورنده و تألیف عبدالرسول ساری.
مشخصات ظاهری:	تهران، روابط عمومی شرکت ملی گاز ایران، ۱۳۹۶.
شابک:	۲۱۱ ص، مصور (بخشی رنگی)، جدول.
وضعیت فهرست‌نویسی:	۹۷۸-۶۰۰-۷۷۷۱-۱۳-۶
یادداشت:	فیپا
موضوع:	کتابنامه ص. ۲۰۵-۲۰۹.
موضوع:	لوله‌های فولادی
موضوع:	Pipe, Steel
موضوع:	نفت - لوله‌ها
موضوع:	Gas-pipes
شناسه افزوده:	شرکت ملی گاز ایران
رده‌بندی کنگره:	۱۳۹۶ ۲ل۹ س/TS۲۸۰
رده‌بندی دیویی:	۶۲۱/۸۶۷۲
شماره کتاب‌شناسی ملی:	۴۹۴۱۹۵۳



Steel Pipes for Transmission Oil & Gas

لوله‌های فولادی انتقال نفت و گاز
گردآورنده و تألیف ♦ عبدالرسول ساری

انتشارات ♦ شرکت ملی گاز ایران

نوبت چاپ ♦ نخست ۱۳۹۶

قیمت ♦ اهدایی

شمارگان ♦ ۵۰۰ جلد

تعداد صفحه ♦ ۲۱۱ ص

قطع ♦ وزیری

طراح گرافیک ♦ کانون راهبردی توسعه صنایع خلاق (الهام فرسادنیا)

شابک ♦ ۹۷۸-۶۰۰-۷۷۷۱-۱۳-۶

نشانی ♦ تهران، بلوار کریمخان زند، خیابان شهید عضدی (آبان جنوبی)،

ساختمان مرکزی شرکت ملی گاز ایران

صندوق پستی ♦ ۴۵۳۳-۱۵۸۷۵

نمابر: ۰۲۱-۸۸۹۱۲۶۵۶

تلفن: ۰۲۱-۸۴۷۸۰

وب سایت: www.nigc.ir پست الکترونیکی: info@nigc.ir

کلیه حقوق چاپ و نشر محفوظ و متعلق به شرکت ملی گاز ایران می‌باشد.



فهرست

فهرست مطالب

۹	مقدمه
۱۱	اهمیت لوله در صنعت نفت و گاز
۱۳	فصل اول – مواد اولیه
۱۵	بخش اول:
۱۷	مواد اولیه
۱۸	۱-۱ خواص آهن
۲۱	۱-۲ تأثیر عناصر موجود در فولاد
۲۵	۱-۳ کربن معادل
۲۷	۱-۴ منحنی آهن و کربن
۳۱	بخش دوم:
۳۳	۱-۵ سنگ آهن
۳۴	۱-۶ تولید آهن
۳۷	۱-۷ تولید فولاد
۳۱	بخش سوم:
۴۵	۱-۸ نورد
۵۱	فصل دوم – طبقه‌بندی لوله‌های فولادی
۵۳	۲-۱ طبقه‌بندی از نظر نام‌گذاری
۵۴	۲-۲ طبقه‌بندی بر مبنای سطح تولید
۵۶	۲-۳ طبقه‌بندی بر مبنای استحکام مکانیکی (کششی)
۵۸	۲-۴ تقسیم‌بندی بر مبنای روش تولید
۵۹	۲-۵ تقسیم‌بندی لوله‌ها از نظر تحمل فشاری
۶۰	۲-۶ تقسیم‌بندی بر مبنای مشخصات ابعادی لوله‌ها
۶۹	فصل سوم: روش‌های تولید لوله‌های فولادی
۷۱	بخش اول
۷۳	روش‌های تولید لوله‌های فولادی
۷۳	۳-۱ لوله‌های بدون درز
۷۹	بخش دوم
۸۱	۳-۲ لوله‌های فولادی جوشی
۸۳	۳-۳ لوله‌های کششی
۸۴	۳-۴ مراحل تولید لوله با جوش مقاومت الکتریکی

۸۸	جوش زیرپودری درز مستقیم	۳-۵
۸۹	مراحل تولید لوله با جوش زیرپودری درز مستقیم	۳-۶
۹۶	جوش زیرپودری لوله‌های درز حلزونی	۳-۷
۹۷	مراحل تولید لوله با جوش زیرپودری درز حلزونی	۳-۸
۱۰۳	فصل چهارم: عیوب ورق و لوله‌های فولادی	
۱۰۵	بخش اول	
۱۰۷	اهمیت شناخت به موقع عیوب	
۱۰۹	تعاریف عیوب ورق‌های فولادی و بدنه لوله‌ها	۴-۱
۱۱۷	بخش دوم	
۱۱۹	عیوب جوش زیرپودری	۴-۲
۱۲۵	عیوب جوش مقاومت الکتریکی	۴-۳
۱۳۰	عیوب ابعادی	۴-۴
۱۳۳	فصل پنجم: بازرسی فنی، آزمایشات غیرمخرب لوله‌های فولادی	
۱۳۵	آزمایشات غیرمخرب	
۱۳۶	روش‌های اجرایی بازرسی فنی	۵-۱
۱۳۷	بازرسی عینی و کنترل ابعاد	۵-۲
۱۳۹	آزمایش جوش طولی با امواج ماوراء صوت	۵-۳
۱۴۹	آزمایش جوش طولی با پرتونگاری صنعتی	۵-۴
۱۶۳	بازرسی با ذرات مغناطیسی	۵-۵
۱۶۸	بازرسی با جریان‌های گردابی	۵-۶
۱۷۱	بازرسی با مایعات نافذ	۵-۷
۱۷۴	آزمایش با فشار آب	۵-۸
۱۸۳	فصل ششم: آزمایشات مخرب لوله‌های فولادی	
۱۸۵	آزمایشات مخرب لوله‌های فولادی انتقال نفت و گاز	
۱۸۶	آنالیز شیمیایی	۶-۱
۱۸۷	آزمایشات مکانیکی	۶-۲
۱۸۷	۶-۲-۱- آزمایش کشش	
۱۹۲	۶-۲-۲- آزمایش خمش	
۱۹۴	۶-۲-۳- آزمایش ضربه	
۱۹۶	۶-۲-۴- آزمایش سقوط آزاد وزنه	
۱۹۸	۶-۲-۵- آزمایش سختی سنجی	
۲۰۲	۶-۲-۶- آزمایش متالگرافی و ماکروگرافی	
۲۰۲	۶-۲-۷- آزمایشات لوله‌های انتقال گاز ترش، دریایی و ساحلی	

فهرست جداول

۲۱	عناصر موجود در فولاد و تأثیر آنها	۱-۱
۴۹	واژگان فصل اول	۱-۲
۵۵	مقایسه لوله های سطح ۱ و سطح ۲	۲-۱
۵۷	طبقه بندی لوله ها بر مبنای استحکام مکانیکی (کششی)	۲-۲
۶۱	وزن لوله های بدون درز	۲-۳
۶۳	اسکچول و وزن لوله	۲-۴
۶۸	واژگان فصل دوم	۲-۵
۱۰۱	واژگان فصل سوم	۳-۱
۱۳۱	واژگان فصل چهارم	۴-۱
۱۶۲	نیم عمر مولدهای اشعه گاما و ضخامت لایه های نصف کننده	۵-۱
۱۷۶	واژگان فصل پنجم	۵-۲
۱۷۸	فرم نمونه طرح کنترل کیفیت (Q.C.P)	۵-۳
۲۰۳	واژگان فصل ششم	۶-۱
۲۰۵	منابع	
۲۰۷	منابع داخلی	
۲۰۹	منابع خارجی و استانداردها	



مقدمه

اهمیت لوله در صنعت نفت و گاز:

انتقال نفت و گاز بوسیله لوله نسبت به وسایل دیگر صرفه اقتصادی بهتر، سرعت بیشتر و ایمنی بالاتر دارد. با افزایش کیفیت و استحکام لوله‌ها حجم خیلی زیادی مواد را می‌توان در زمان کمتری انتقال داد.

هزینه زیادی صرف خرید لوله و اجرای خطوط انتقال می‌شود. لذا ضروریست در رابطه با ساخت لوله، با کیفیت بالا و اجرای دقیق و به موقع خطوط لوله اقدامات جدی صورت گیرد. آموزش و نشر دانش در این زمینه اهمیت خاصی دارد تا این شریان‌های اقتصادی بتوانند در شکوفایی کشور نقش خود را ایفا کنند.

این کتاب بنا به درخواست همکاران ارجمند در شش فصل مرتبط با لوله‌های فولادی به شرح زیر تدوین گردید:

فصل اول: مواد اولیه، تولید آهن، فولاد و نورد

فصل دوم: طبقه‌بندی لوله‌های فولادی

فصل سوم: روش‌های تولید لوله

فصل چهارم: تعاریف عیوب ورق‌های بدنه و جوش طولی لوله

فصل پنجم: بازرسی غیرمخرب ورق و لوله‌های فولادی

فصل ششم: آزمایشات آنالیز شیمیایی و مکانیکی

معادل اصطلاحات خارجی بکار رفته به زبان فارسی نوشته شده است و با علامت ((*)) مشخص گردید و در آخر هر بخش جدولی بنام واژگان تدوین و اصطلاحات را در آن ترجمه کردم. یادگیری این اصطلاحات، در مراجعه به استانداردها و کتب خارجی کمک خواهد کرد. در بررسی این کتاب آقای مهندس هدایت امیدوار رئیس محترم امور ارتباطات با مراکز علمی و پژوهشی و سه نفر از کارشناسان زبده شرکت ملی گاز ((آقایان: مهندس غلامحسین نژاد شمسی، مهندس سهیل مزرعه و مهندس سعید سلیمی بنی)) بعنوان هیئت داوران انتخاب شده‌اند که جا دارد از زحمات و راهنمایی‌های آنها کمال تشکر را بنمایم. همچنین از آقایان مهندس نوح‌روش مدیرعامل محترم شرکت بازرسی فنی ایرانیان و مهندس پرهام رئیس محترم بازرسی فنی ساخت لوله که پیش‌نویس این کتاب را با دقت مطالعه و راهنمایی‌های لازم را مبذول فرمودند تشکر می‌نمایم. در نهایت لازم می‌دانم از زحمات آقایان مهندس امین ساری و سجاد ساری که در تدوین این کتاب کمک زیادی کردند تشکر و قدردانی نمائیم. طبعاً این کتاب خالی از عیب نیست. به همین منظور از دوستان محترم استدعا دارم، هرگونه انتقاد، پیشنهاد و راهنمایی دریغ نفرمایند و نقطه نظرات خود را از طریق پست الکترونیکی زیر اعلام بفرمایند.

با تشکر – عبدالرسول ساری

Email: arsari57@gmail.com



فصل اول

مواد اولیه

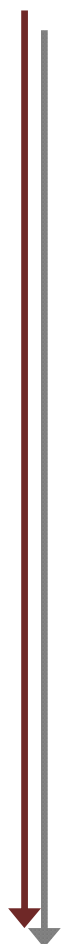
بخش اول

❖ خواص آهن

❖ تأثیر عناصر موجود در فولاد

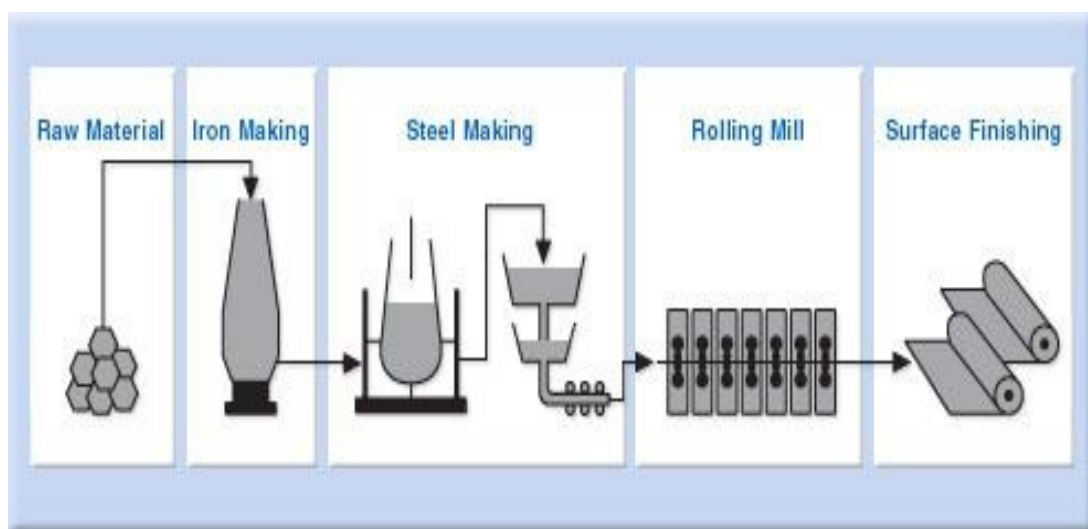
❖ کربن معادل

❖ منحنی آهن و کربن



مواد اولیه

مواد اولیه لوله‌های فولادی از نوع فولاد کم کربن که در کوره‌های قوس الکتریکی* در محیط بازی* تولید می‌شود. فرآیند تبدیل سنگ آهن به آهن و تبدیل آهن به فولاد و سپس به ورقهای فولادی مناسب برای ساخت لوله‌های انتقال نفت و گاز، در شکل ۱-۱ نشان داده می‌شود.



شکل ۱-۱- مراحل تولید ورقهای فولادی از سنگ آهن

۱-۱- خواص آهن

مقدار عنصر آهن موجود در فولادهای کم کربن بالای ۹۰٪ است. قبل از ورود به مباحث فنی لوله‌های فولادی ضروری است مختصری در رابطه با خواص آهن و تاثیر عناصر موجود در فولاد و سایر خصوصیات آنها توضیحاتی ارائه شود.

علامت اختصاری آهن ((Fe)) و در گروه هشتم عناصر واسطه جدول مندلیف قرار دارد. شکل ظاهری آن سفید نقره‌ای مایل به خاکستری است. آهن یکی از سه عنصری است که مانند نیکل و کبالت بطور طبیعی مغناطیس می‌شود.

الف - خواص اتمی و فیزیکی آهن:

عدد اتمی : ۲۶

تعداد پروتون‌ها/ الکترون‌ها : ۲۶

تعداد نوترون‌ها : ۳۰

وزن مخصوص در 20°C : 7.86 g.cm^{-3}

وزن مخصوص در نقطه ذوب : 6.98 g.cm^{-3}

نقطه ذوب : 1535°C

نقطه جوش : 2750°C

تعداد الکترون‌ها در هر مدار: مدار اول ۲، مدار دوم ۸، مدار سوم ۱۴ و مدار چهارم ۲ الکترون قرار دارند.

حالت مغناطیسی: فرومغناطیس است. (البته در دمای بین ۷۶۹ تا ۸۹۸ درجه سانتیگراد این خاصیت را ندارد و نقطه کور تلقی می‌گردد.)

سختی بر حسب برنیل: 490 HB

ب- خواص شیمیایی آهن:

آهن میل ترکیبی شدید با اکسیژن دارد و در محیط آزاد و بدون محافظت تشکیل اکسید آهن (Fe_2O_3) می‌دهد. همچنین با بخار آب و آب داغ با هیدروژن واکنش می‌دهد و در اسیدها حل می‌شود. در دمای ذوب با بعضی از عناصر ترکیب و تشکیل آلیاژ می‌دهد که در صنعت کاربردهای زیادی دارد.

ج- خواص کریستالی آهن:

شبکه کریستالی آهن، با تغییرات دما از نقطه اوتکتیک 723°C تا نقطه ذوب 1535°C متغیر است. در فرآیند انجماد نیز با کاهش ارتعاش اتمها، جاذبه بین آنها بوجود می‌آید. نیرو جاذبه اتمها هرچه از حالت ذوب به سمت انجماد پیش برود تشدید می‌شود و در نهایت به تشکیل شبکه‌های کریستالی پیش می‌روند. این کریستالها در کنار یکدیگر دانه‌هایی را بوجود می‌آورند که هم جهت می‌باشند. با پیشروی انجماد، دانه‌ها در محلهایی با هم برخورد نموده که به این محلهای مرز دانه می‌گویند.

پس فلزات مانند اغلب مواد جامد از قرار گرفتن چند اتم در کنار همدیگر شبکه کریستالی و از قرار گرفتن چند شبکه کریستالی دانه و از قرار گرفتن چندین دانه قطعات فلزی تشکیل می‌شوند.

هر چه سرعت سرد شدن زیادتر باشد دانه‌ها ریزتر می‌شوند. اندازه این دانه‌ها تأثیر بسیار مهمی بر خواص مکانیکی فولاد مانند: استحکام، سختی و ... دارد.

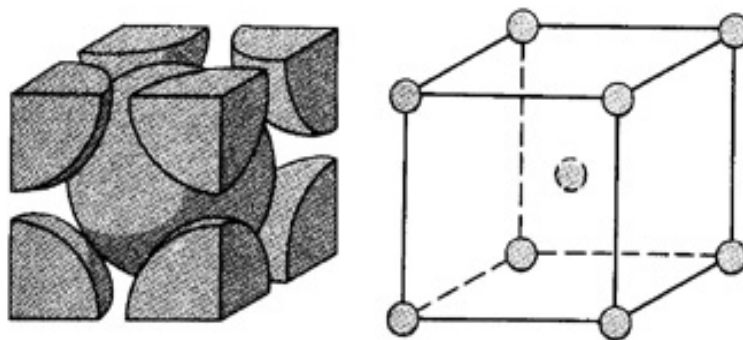
حالت یکنواختی کریستالها نیز بستگی به خلوص فلزات دارد و در مورد آلیاژها مانند فولاد، قطعات از کریستالهای مختلفی تشکیل می‌شوند.

شبکه کریستالی فولاد دارای ساختارهای زیر است:

۱- **مکعب مرکزدار*** : این ساختار دارای هشت اتم مشترک در گوشه‌ها است و با هشت کریستال دیگر اشتراک دارد. یک هشتم از اتم‌های گوشه‌ای متعلق به یک کریستال واحد است و یک اتم در مرکز قرار دارد که به یک کریستال واحد تعلق دارد.

$$8 \left(\frac{1}{8} \right) + 1 = 2$$

آهن α یا فریت دارای ساختار کریستالی مکعبی مرکزدار (BCC) است. سلول واحد و میکروگرافی این کریستال در شکل شماره ۲-۱ نشان داده است.

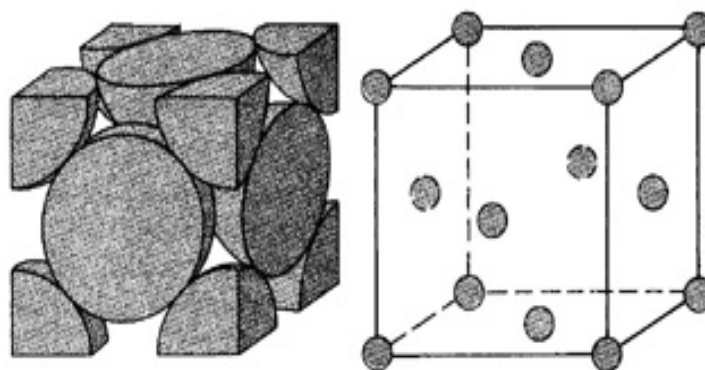


شکل ۱-۲ شبکه کریستالی B.C.C

۲- **مکعب با سطح مرکزدار*:** اتمهای این شبکه شامل، هشت اتم در گوشه‌های مکعب و شش اتم در مراکز ۶ وجوه مکعب است. این شبکه دارای بیشترین فشردگی و کمترین فضای خالی در بین شبکه‌های مکعبی است. در ساختار این کریستال یک هشتم از هر یک از اتم‌های واقع در گوشه مکعب به کریستال واحد اختصاص دارد و اتم‌هایی که در مراکز وجوه قرار گرفته‌اند نیز بین دو کریستال مجاور مشترک هستند.

$$8 \left(\frac{1}{8} \right) + 6 \left(\frac{1}{2} \right) = 4$$

آهن γ یا آستنیت، دارای ساختار کریستالی مکعبی با سطح مرکزدار (FCC) است. سلول واحد و میکروگرافی آن در شکل ۱-۳ نشان داده است.



شکل ۱-۳ شبکه کریستالی F.C.C

۲-۱- تأثیر عناصر موجود در فولاد:

فولاد مناسب برای ساخت لوله‌های انتقال نفت و گاز بایستی دارای مقاومت مکانیکی، قابلیت شکل‌پذیری و جوش‌پذیری لازم باشد. دستیابی به این خواص، به ترکیب شیمیایی و درصد عناصر موجود در فولاد، روش‌های تولید (آهن، فولاد و نورد) عملیات حرارتی و سرعت سرمایش در نورد بستگی مستقیم دارد. تأثیر نامطلوب بعضی از عناصر، با رعایت اصول تولید کاهش پیدا می‌کنند.

تأثیر عناصر موجود در فولاد بصورت مختصر به شرح زیر است:

جدول شماره ۱-۱ عناصر موجود در فولاد و تأثیر آنها

ردیف	نام عنصر	مشخصات				تأثیر آنها در فولاد
		عدد اتمی	جرم اتمی	نقطه ذوب $^{\circ}\text{C}$	مقدار مجاز %	
۱	کربن (C)	۶	۱۲.۰۱	۳۵۵۰	۰.۱۰ تا ۰.۲۸	استحکام و سختی را بالا می‌برد ولی قابلیت جوشکاری*، انعطاف‌پذیری و چقرمگی* را کاهش می‌دهد و امکان بوجود آمدن ترک را افزایش می‌دهد.
۲	منگنز (Mn)	۲۵	۵۴.۹۳	۱۲۴۵	۰.۶۰ تا ۲.۰	تنش تسلیم، استحکام، سختی، چقرمگی مقاومت به سایش و قابلیت جوشکاری را بالا می‌برد. ولی انعطاف‌پذیری را کاهش می‌دهد. تولید کاربید می‌کند و در هنگام تبرید به ترک حساس است.
۳	سیلیس (Si)	۱۴	۲۸.۰۸	۱۴۱۴	۰.۴۰ تا ۰.۵۵	سیالیت مذاب، استحکام کششی و تسلیم، مقاومت به سایش، مقاومت در برابر اکسیداسیون، پایداری در برابر اسیدها و سختی را افزایش می‌دهد. همچنین نیروی پس‌ماند مغناطیسی را کاهش می‌دهد. ولی انعطاف‌پذیری، قابلیت ماشینکاری و جوش‌پذیری را کاهش می‌دهد. همچنین گرافیت‌زا می‌باشد و در فولادهای کم کربن، اثر نامطلوبی بر کیفیت سطحی دارد.

۴	فسفر (P)	۱۵	۳۰.۹۷	۴۴	۰.۰۲۰ تا ۰.۳۰۰	سختی و مقاومت در برابر ساییدگی را افزایش می‌دهد. ولی نسبت به ضربه و تنشهای ارتعاشی ضعیف است.
۵	گوگرد (S)	۱۶	۳۲.۰۶	۱۱۵	۰.۰۰۷ تا ۰.۰۱۵	گوگرد جزو عناصر نا خواسته در فولاد است. شکلهای را پائین می آورد و شکنندگی را در دماهای بالا را افزایش می‌دهد همچنین تجمع آن در مرکز ضخامت ورقهای فولادی و راهیابی آن به منطقه جوش باعث ترک در جوش می‌گردد.
۶	وانادیم (V)	۲۳	۵۰.۹۴	۱۹۱۰	۰.۰۵ تا ۰.۰۷	مقاومت در برابر خستگی و نرمش فولاد را بالا می‌برد و مقاومت کششی و ضربه را نیز افزایش می‌دهد. همچنین در برابر ارتعاش ثابت و تنش‌های متغیر مقاوم است.
۷	نیوبیم (Nb)	۴۱	۹۲.۹۰	۲۴۷۷	۰.۰۵ تا *	بعنوان ریزدانه‌ساز در فولادهای آلیاژی بیشتر کاربرد دارد.
۸	تیتانیوم (Ti)	۲۲	۴۷.۸۸	۱۶۶۸	۰.۰۴ تا *	از اثر تخریب کاربید کروم جلوگیری می‌کند. ریزدانه‌ساز است.
۹	مس (Cu)	۲۹	۶۳.۵۴	۱۰۸۴	۰.۵۰ تا *	استحکام تسلیم و سختی را بهبود می‌بخشد. مقاومت در برابر خوردگی، آب دریا، اسید سولفوریک و اسید کلریدریک را افزایش می‌دهد. در مقادیر کم تأثیری بر جوشکاری ندارد ولی در مقادیر زیاد به شدت قابلیت جوشکاری را کاهش می‌دهد و تأثیر نامطلوب بر کیفیت سطحی دارد. در عملیات حرارتی* زیر لایه‌ها و پوسته‌های سطحی تجمع کرده و با نفوذ به مرز دانه‌ها باعث ترک‌های سطحی می‌شود.
۱۰	نیکل (Ni)	۲۸	۵۸.۶۹	۱۴۵۵	۱.۰ تا *	چقرمگی و مقاومت به ضربه را به و یژه در دمای پایین افزایش می‌دهد. از درشت شدن دانه‌ها در فولاد جلوگیری می‌کند. مقاومت به خوردگی و مقاومت به حرارت را افزایش می‌دهد. مقاومت به مواد شیمیایی احیاکننده در فولادهای آستنیتی کروم نیکل‌دار را افزایش می‌دهد. استحکام تسلیم و استحکام خستگی و سختی و سختی‌پذیری را افزایش می‌دهد. گرافیت‌زا می‌باشد. تماس با این فلز می‌تواند سبب بروز بیماری‌هایی همانند حساسیت‌های پوستی (خارش) و ... گردد.

۱۱	کروم (Cr)	۲۴	۵۱.۹۹	۱۰۰۷	۰.۵۵ تا **	استحکام کششی، سختی و سختی‌پذیری و مقاومت به سایش را افزایش می‌دهد. به دلیل ایجاد یک لایه مقاوم از اکسید کروم روی سطح فولاد مقاومت به خوردگی و پوسته شدن و اکسیداسیون را افزایش می‌دهد. کاربیدزا می‌باشد و قابلیت جوشکاری را کاهش می‌دهد. انعطاف‌پذیری و چقرمگی را کاهش می‌دهد.
۱۲	مولیبدن (Mo)	۴۲	۹۵.۹۴	۲۶۲۳	۰.۵۰ تا **	دانه‌ها را ریز می‌کند و مقاومت در برابر اکسیداسیون، سایش و خوردگی در محیط‌های کلریدی و گوگرددار و همچنین مقاومت به خوردگی حفرةای* را افزایش می‌دهد. تأثیر مفید در قابلیت جوشکاری دارد. نقطه تسلیم واستحکام کششی را در دمای بالا افزایش می‌دهد. کاربیدزا است و قابلیت آهنگری و فورج را کاهش می‌دهد.
۱۳	بور B	۵	۱۰.۸۱	۲۰۷۵	۰.۰۰۰ تا **	سختی‌پذیری را افزایش می‌دهد. زیادی آن چقرمگی را کاهش می‌دهد.
۱۴	آلومینیوم (Al)	۱۳	۲۶.۹۸	۶۶۰	---	در فولادهای کشته شده* اکسیژن زدای نیرومندی و ریزدانه‌ساز است، نیتروژن آزاد را حذف می‌کند و در نتیجه انعطاف‌پذیری در فولادهای کم کربن را افزایش می‌دهد. از ایجاد حفرة و تخلخل در هنگام انجماد جلوگیری و از رشد دانه‌ها در عملیات حرارت بعدی در اثر تشکیل Al_2O_3 و AlN در مرزدانه‌ها جلوگیری می‌کند. سختی واستحکام را افزایش داده و از پیر سختی جلوگیری می‌کند. مقاومت به حرارت و مقاومت در برابر پوسته شدن در دمای بالا را افزایش می‌دهد. قابلیت انتقال حرارت و مقاومت الکتریکی را افزایش می‌دهد. مقدار انبساط حرارتی فولاد را افزایش می‌دهد. ولی مقاومت به خزش را به دلیل اثر ریزدانگی در فولاد کاهش می‌دهد. مقدار زیاد آلومینیوم در فولاد؛ احتمال کاهش قابلیت آهنگری به دلیل تردی گرم* را افزایش داده و می‌تواند منجر به ترک‌های سطحی شود در دمای بالا اثر گرافیت‌زایی دارد.

۱۵	سرب (Pb)	۸۲	۲۰۷	۳۲۷	-----	خاصیت شکل گیری را افزایش می دهد. کیفیت سطح را کاهش می دهد.
۱۶	هیدروژن (H)	۱	۱.۰۰	---	---	در رطوبت و دمای بالا باعث کربن زدایی فولاد می شود. ولی انعطاف پذیری را کاهش می دهد و احتمال ترک را افزایش می دهد. موجب تردی و شکنندگی فولاد می گردد. باعث پوسته شدن ناخواسته سطح فولاد می گردد. در فولاد نفوذ کرده و حفره های گازی* تشکیل می دهد.
** = در مورد مقدار دقیق این عناصر بایستی توافق انجام شود.						

۳-۱- کربن معادل

مقدار درصد عدد حاصل در محاسبه معادله کربنی و عناصر وابسته به آن در فولادها یکی از عوامل مهم برای مشخص نمودن جایگاه هر کدام از عناصر در ایجاد خواص متفاوت است.

الف- محاسبه کربن معادل

فرمولهای مختلفی برای محاسبه کربن معادل وجود دارد استانداردهای ساخت لوله فرمولهای زیر را توصیه می‌کنند:

۱- مؤسسه بین‌المللی جوش (CE_{PCM}) برای فولادهای با کربن % ۰/۱۲ و کمتر معادله زیر را منظور نموده است:

$$CE_{PCM} = C + \frac{Si}{30} + \frac{Mn}{20} + \frac{Cu}{20} + \frac{Ni}{60} + \frac{Cr}{20} + \frac{Mo}{15} + \frac{V}{10} + 5B$$

۲- سازمان تجارت بین‌المللی (ITO) معادله زیر (CE_{LLW}) برای فولادهای با کربن بالای % ۰/۱۲ را منظور نموده است:

$$CE_{LLW} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{(Cr + Mo + V)}{5} + \frac{(Ni + Cu)}{15}$$

ب - کاربردهای کربن معادل

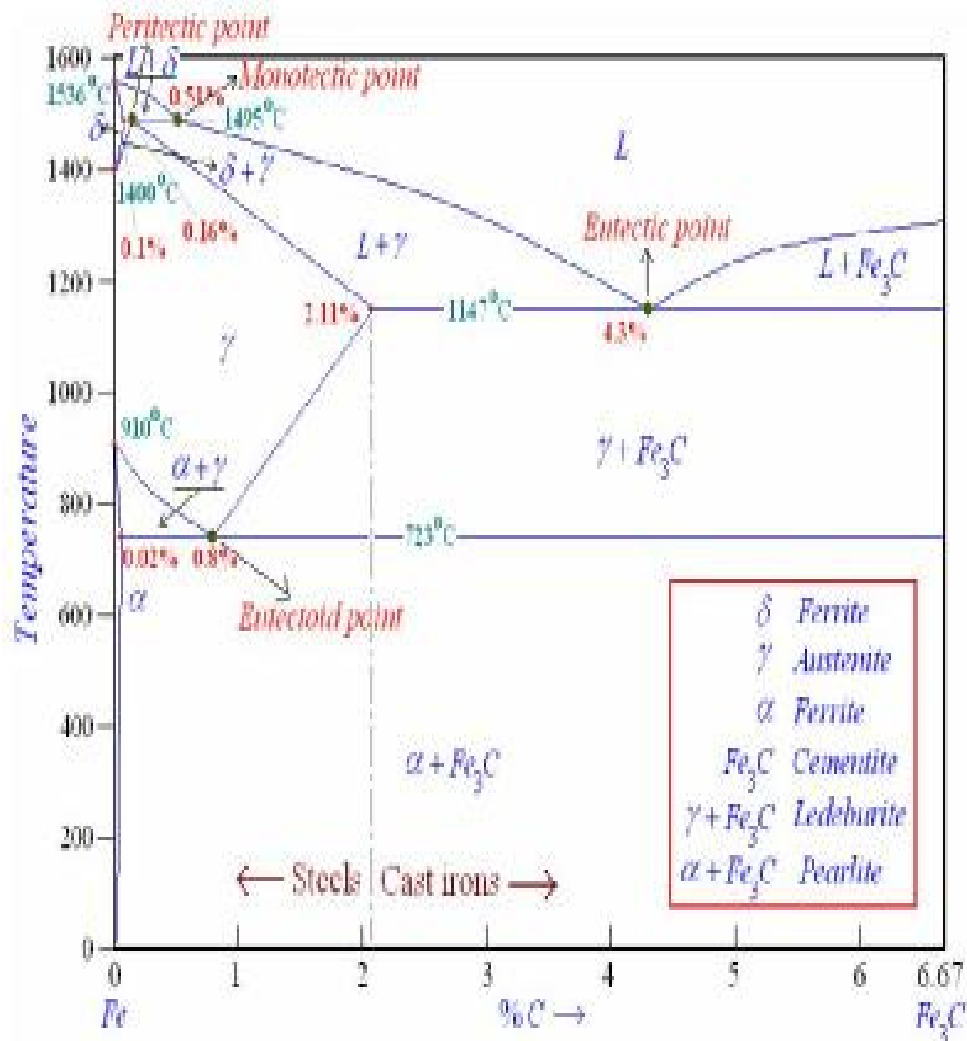
بررسی کربن معادل دارای کاربردهای زیر است :

۱- بکارگیری فولاد برای ساخت لوله‌های انتقال نفت و گاز مطابق استاندارد API 5L و تشخیص کیفی فولاد از نظر شکل‌دهی و جوش‌پذیری با مهیا شدن شرایط زیر امکان‌پذیر می‌گردد:

- الف- در معادله (CE_{IIW}) در صورتیکه حاصل آن کمتر از $\% 0/43$ باشد.
- ب - در معادله (CE_{PCM}) در صورتیکه حاصل آن کمتر از $\% 0/25$ باشد.
- ۲- اثر عناصر آلیاژی مختلف روی قطعات و نسبت آنها به کربن
- ۳- تعیین قابلیت جوش‌پذیری فولادها
- ۴- تعیین نقطه یوتکتیک، ذوب و انرژی لازم برای جوشکاری*
- ۵- اطلاع از وضعیت و وسعت ناحیه متأثر از گرما در جوشکاری*
- ۶- تعیین پارامترهای جوشکاری (آمپر، ولتاژ و سرعت جوشکاری)
- ۷- تعیین شرایط عملیات حرارتی برای قبل و بعد از جوشکاری در صورت نیاز*
- ۸- تعیین قابلیت سختی کاری*

۴-۱- منحنی آهن / کربن

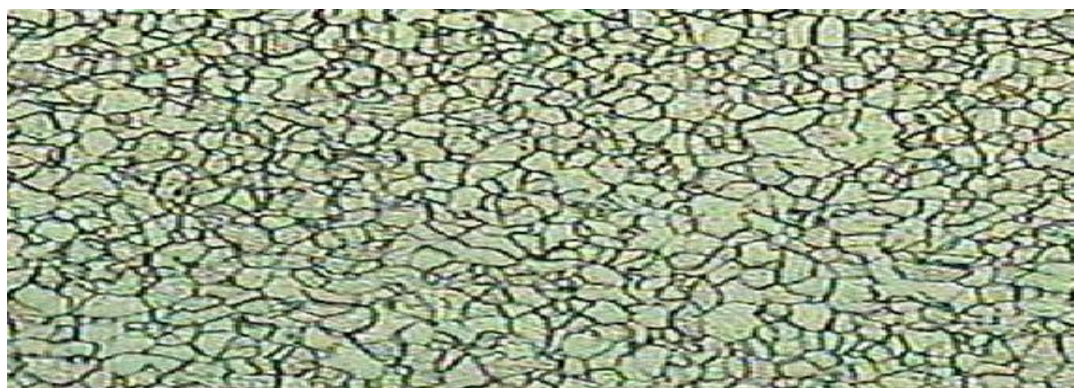
بررسی منحنی تعادل آهن / کربن برای مطالعه عملیات حرارتی (تنش‌زدایی، یکنواختی، سختکاری، جوشکاری و...) فولادها اهمیت زیادی دارد. زیرا بوسیله این منحنی می‌توان در دماهای مختلف تغییرات ساختمان درونی فولادها را برحسب درصد کربن آنها مورد مطالعه قرار داد.



شکل ۴-۱ منحنی تعادل آهن و کربن

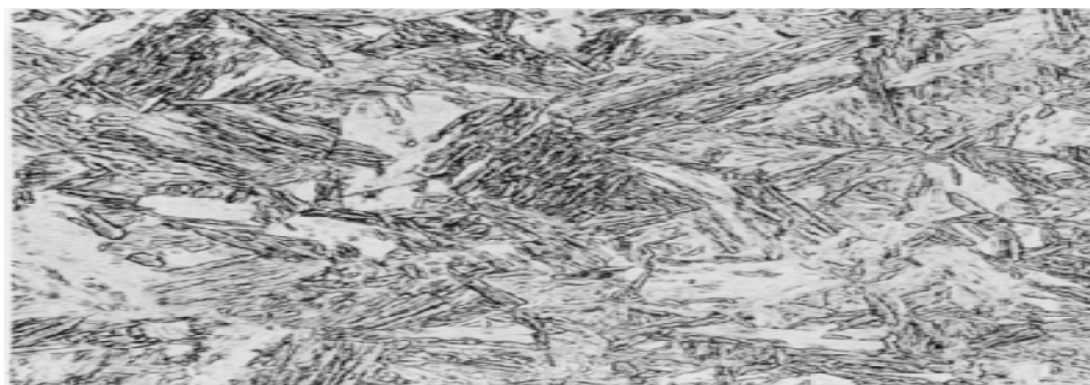
اصطلاحات و اسامی معینی برای شکلهای مختلف ریزساختار درونی فولادها وضع شده است که در زیر به تعریف هر یک از آنها پرداخت می‌شود:

❖ **فریت:** دانه‌بندی بلورین آهن خالص و یا فولادی که تا ۰/۵ درصد کربن در دمای زیر ۹۱۰ درجه سانتیگراد تشکیل می‌شود. به اسم فریت یا آهن α معروف است. فریت نرمترین حالت فولاد است. در زیر میکروسکوپ بصورت دانه‌های چندضلعی نامنظم به رنگ سفید و نوع شبکه آن به شکل مکعب مرکزدار می‌باشد.



شکل ۵-۱ میکروگرافی از فولاد با ساختار فریت

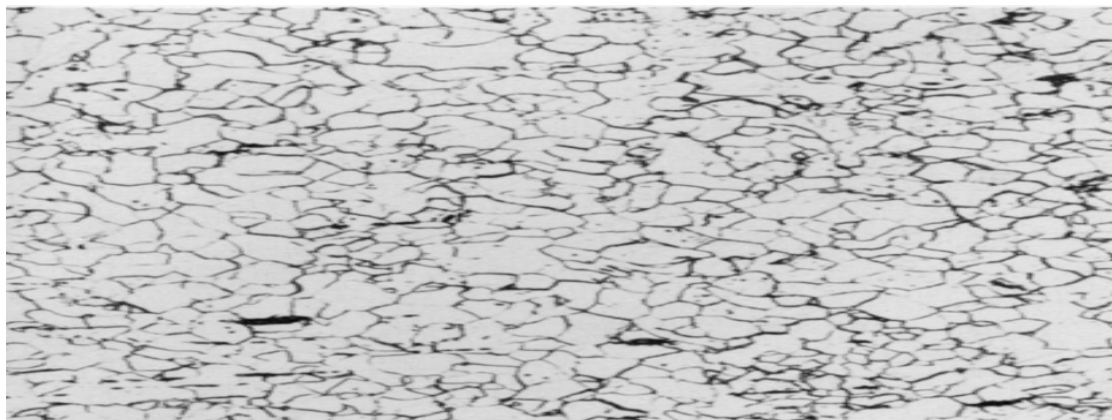
❖ **پرلیت:** با افزایش مقدار کربن تا ۰/۸ درصد، فریت و سمانتیت با هم ادغام می‌شوند و فاز جدیدی بنام پرلیت بوجود می‌آید. در زیر میکروسکوپ بصورت خطوط سیاه و سفید (مانند اثر انگشت) به صورت لایه‌های متناوب از سمانتیت و فریت دیده می‌شود. رنگ مقطع میکروسکپی آن صدفی و به فرم مروارید* می‌باشد.



شکل ۶-۱ میکروگرافی از فولاد با ساختار پرلیت

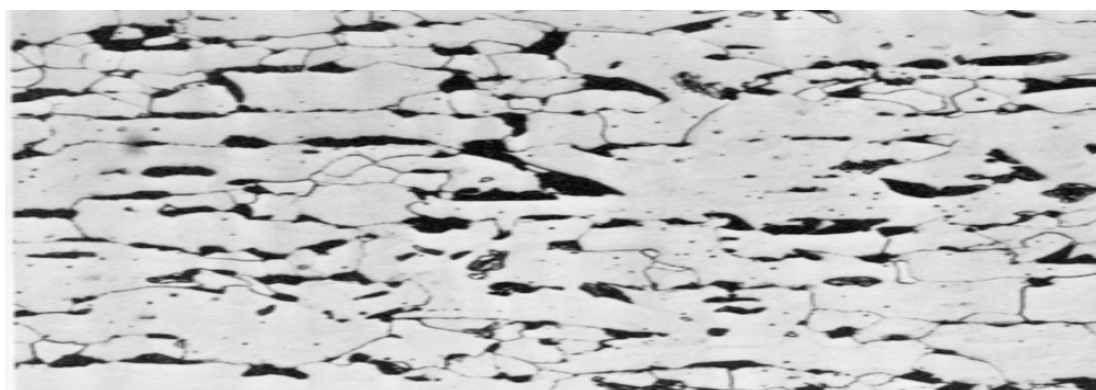
❖ **سمانتیت:** اگر مقدار کربن در فولاد بیش از ۰/۸ درصد باشد، کربن زیادی به شکل شبکه سفیدی دانه‌های پرلیت را کاملاً احاطه می‌کنند که به نام سمانتیت معروف است.

سمانتیت بسیار سخت و شکننده می‌باشد. هر چه مقدار سمانتیت در شبکه زیاد باشد فولاد سخت و شکننده‌تر می‌گردد.



شکل ۷-۱ میکروگرافی از فولاد با ساختار سمانتیت

❖ **آستنیت:** وقتی فولاد با ۰/۸ درصد کربن را گرم می‌کنیم در دمای ۷۲۳ درجه سانتیگراد ساختار شبکه کریستالی آن تغییر پیدا کرده و به (آهن) γ شبکه کریستالی مکعبی با سطح مرکزدار (FCC) تبدیل می‌شود. در این حالت یک اتم کربن در وسط شبکه محبوس گردیده و در آن حل می‌شود. این حالت را در اصطلاح متالورژی محلول جامد کربن در آهن و یا آستنیت می‌گویند.



شکل ۸-۱ میکروگرافی از فولاد با ساختار اوستنیت

بخش دوم

- ◆ سنگ آهن
- ◆ تولید آهن
- ◆ فرمول های تبدیل آهن به فولاد
- ◆ تولید فولاد
- ◆ روش های تولید فولادی
- ◆ روش های حذف ناخالصی های فولاد

۵-۱- سنگ آهن*

سنگ آهن ماده اولیه تولید فولاد است. تقریباً ۴ الی ۵ درصد از پوسته زمین را سنگ آهن تشکیل می‌دهد.

عنصر آهن موجود در معادن سنگ آهن تقریباً زیر ۵۰٪ است که در فرآیند تبدیل آهن به محصول نهایی فولاد یا آلیاژهای دیگر آهن به خلوص بالای ۹۰٪ می‌رسد.

سنگ آهن در معادن به صورت کانی‌های اکسیدی نظیر هماتیت (Fe_2O_3)، مگنتیت (Fe_3O_4) و کانی‌های سولفیدی مانند پیریت و مارکازیت (FeS_2) و کانی‌های کربنات نظیر سیدریت (FeCO_3) یافت می‌شود. این کانی‌ها از خواص فیزیکی و مکانیکی مناسبی برخوردار نیستند و استحکام کافی را ندارند. برای استفاده از آنها در صنعت، نیاز به انجام فرآیندهای مختلفی است تا به محصول نهایی با کیفیت مطلوب برسند.

از آنجایی که خلوص آهن در کانی‌ها کم است استفاده از سنگ آهن به صورت مستقیم در کوره بلند با صرف انرژی زیاد و همچنین تولید سرباره زیاد همراه است.

تبدیل سنگ آهن به مواد اولیه قابل بارگذاری در کوره بلند شامل مراحل زیر است:

الف) استخراج:

شامل: کندن سنگ از معدن، خرد کردن و حمل به کارگاه است.

ب) کنسانتره:

شامل: افزایش خلوص اکسید آهن و جدایش ناخالصی‌ها از آن با استفاده از خاصیت‌های مغناطیسی آهن و تفاوت در چگالی بین آهن و ناخالصی‌ها صورت می‌گیرد.

ج) گندله‌سازی:

کنسانتره آهن به گلوله‌های گرد یا گندله جهت حمل و نقل ایمن و راحت تبدیل می‌شوند. بطور کلی برای استفاده از فولاد در بخش‌های صنعتی و ساختمانی بایستی چرخه زیر انجام گیرد: سنگ آهن ← کنسانتره ← گندله ← آهن اسفنجی ← فولاد ← نورد (کار مکانیکی) ← محصول نهایی

۶-۱- تولید آهن*

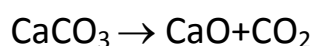
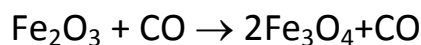
۱-۶-۱- تولید آهن اسفنجی در کوره بلند*

آهن اسفنجی، محصول کوره بلند است و از احیای مستقیم سنگ آهن تولید می‌شود. در عملیات احیای مستقیم آهن*، با دماهای کمتر از نقطه ذوب اکسیژن آن جدا می‌شود. شکل ظاهری این محصول بصورت قطعات کروی (گندله) یا آجر متخلخل یا اسفنجی است. آهن اسفنجی تقریباً بالای ۹۰٪ آهن دارد.

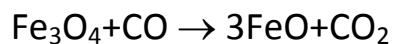
در این فرآیند وزن مخصوص نیز از ۴/۴ به ۷/۸ گرم بر سانتی‌متر مکعب می‌رسد. بدلیل تشکیل حفره‌ها در سطح محصول آن را آهن اسفنجی نیز می‌گویند. سنگ آهک نیز بعنوان ماده اصلی این فرآیند برای تبدیل ناخالصی‌های سیلیسی به سرباره افزوده می‌شود. سیلیکات کلسیم ذوب شده و به پایین کوره حرکت می‌کند و یک لایه ناخالصی روی آهن مذاب تشکیل می‌دهد.

بار کوره بلند، از بالای کوره شامل: گندله یا سنگ آهن، کک و آهک است و از پایین کوره هوای گرم با فشار دمیده می‌شود. این هوای گرم گاهی با اکسیژن تقویت می‌شود. هوای ورودی با کک (کربن) ترکیب شده و مقدار قابل ملاحظه‌ای گرما تولید می‌کند. این واکنش منبع مهم حرارتی در کوره بلند است. تحت این شرایط اکسیژن از آهن جدا می‌شود و در نهایت آهن احیا می‌گردد.

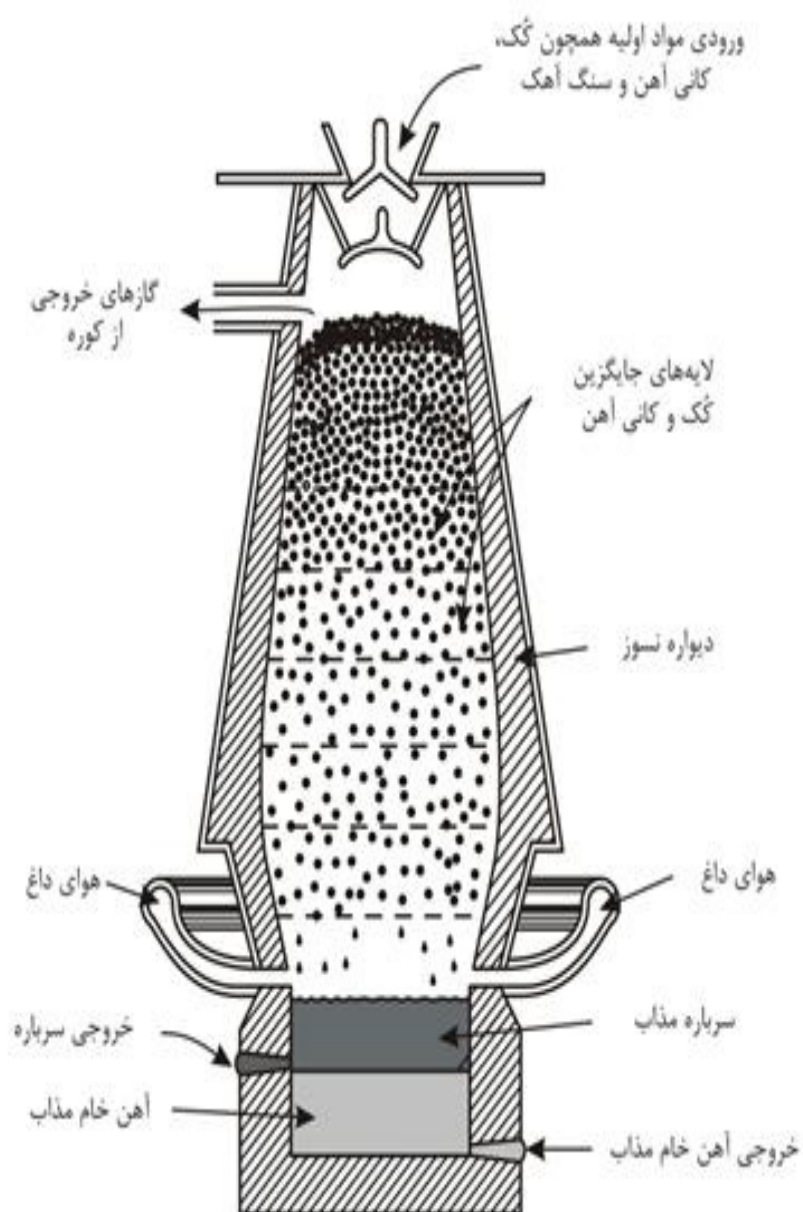
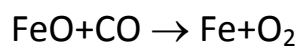
۲-۶-۱- فرمولهای تبدیل آهن به فولاد در کوره بلند



در ناحیه پایتتری از کوره که داغتر است به FeO تبدیل می‌شود:



در داغترین ناحیه کوره اکسید آهن به فلز آهن تبدیل می‌گردد:



شکل ۹-۱ کوره بلند تولید آهن

۳-۶-۱- تولید آهن با روش احیای مستقیم

احیا مستقیم توسط گاز طبیعی یا ذغال سنگ انجام می‌گیرد. با توجه به امکانات و دسترسی هر کشور یا منطقه به گاز یا ذغال سنگ روش احیای انتخاب می‌گردد. فرآیند تولید آهن اسفنجی با استفاده از گاز طبیعی و ذغال سنگ به روش‌های زیر انجام می‌شود:

الف) گاز طبیعی: روش میدرکس* و اچ - وای - ال (HYL)

ب) ذغال سنگ: SL/RN، جیندال* و DRC

روش میدرکس: مهمترین روش تولید آهن خام در ایران و جهان می‌باشد. در این روش، گاز طبیعی (CH_4) وارد واحد شکست گاز می‌شود، سپس بر اثر حرارت وارد شده و کاتالیست‌های مخصوص به هیدروژن و کربن تبدیل می‌شود. سپس هیدروژن و کربن وارد کوره احیا می‌شوند و با اکسیژن گندله یا سنگ آهن ترکیب می‌شوند و باعث احیای آهن می‌شوند.

۷-۱- تولید فولاد*

فولاد*: فولاد آلیاژی است از آهن و کربن که حداکثر کربن آن زیر ۲ درصد است. عملیات حرارتی، فرم‌دهی و جوشکاری روی آن به درصد کربن بستگی دارد. فولاد با توجه به مقدار کربن، به سه گروه زیر تقسیم می‌شود:

- الف- فولاد کم کربن:** این نوع فولاد کمتر از ۰/۲ درصد کربن دارد.
- ب- فولاد با کربن متوسط:** این فولاد بین ۰/۲ تا ۰/۶ درصد کربن دارد.
- ج - فولاد با کربن بالا:** این فولاد سخت و بالای ۰/۶ درصد کربن دارد.

از فولادهایی که زیر ۰/۳ درصد کربن دارند برای ساختن لوله‌های فولادی استفاده می‌شود. محصول کوره بلند، معمولاً آهنی با کربن بالای ۲ درصد است و در طبقه‌بندی چدن‌ها قرار می‌گیرد. این چدن معمولاً دارای کربن بالا و ناخالصی‌های دیگر است که بایستی در کوره تولید فولاد، چدن را به فولاد تبدیل کرد و کربن و دیگر ناخالصی‌های آن را کاهش داد. فرآیندهای تولید فولاد نیاز به ورود مواد آهنی (آهن اسفنجی و قراضه‌های فولادی) به عنوان مواد خام کوره‌های تولید فولاد است. روش‌های فولادسازی بر اساس استفاده از نوع آجر نسوز در دیوار داخل کوره به دو روش اسیدی و بازی تقسیم می‌شوند که روش بازی از کیفیت بهتری برخوردار است.

آهن اسفنجی و قراضه فولادی پس از ذوب و احیا در فرآیند فولادسازی، به محصولات مورد نیاز به شکل اسلب (تختال) یا بیلِت (شمش) ریخته‌گری می‌شوند.

۱-۷-۱- روش‌های تولید فولاد

برای تهیه فولاد از سه روش به شرح زیر استفاده می‌شود:

الف - روش بسمر

دیوار داخلی کوره از سیلیس یا اکسید منیزیم و محیط کوره اسیدی است. نحوه کار کوره به این ترتیب است که جریانی از هوا را به داخل چدن مذاب هدایت می‌کنند تا ناخالصی‌های کربن و گوگرد به صورت گازهای SO_2 و CO_2 از محیط خارج شوند و ناخالصی‌های فسفر و سیلیس موجود در چدن مذاب در واکنش با اکسیژن موجود در هوا اکسید شده و سپس به صورت سرباره خارج می‌شوند. سرعت عمل این روش زیاد است به همین دلیل کنترل مقدار اکسیژن مورد نیاز برای کاهش دلخواه ناخالصی‌های چدن غیرممکن است و در نتیجه فولاد با کیفیت مطلوب را نمی‌توان با این روش بدست آورد.

ب - روش کوره باز (مارتین)

در این روش برای جدا کردن ناخالصی‌های موجود در چدن، از اکسیژن موجود در اکسید آهن به جای اکسیژن استفاده می‌شود. دیوار داخلی کوره از MgO و CaO تشکیل شده است و محیط کوره بازی است. حرارت لازم برای گرم کردن کوره از گازهای خروجی کوره و یا مواد نفتی تأمین می‌شود. برای تکمیل عمل اکسیداسیون، هوای گرم نیز به چدن مذاب دمیده می‌شود. زمان عملکرد این کوره طولانی‌تر از روش بسمر است. از این نظر می‌توان با دقت بیشتری عمل حذف ناخالصی‌ها را کنترل کرد و در نتیجه محصول مرغوب‌تری بدست آورد. البته این روش تولید فولاد قدیمی تلقی می‌شود و به تدریج در حال منسوخ شدن است.

ج - روش کوره‌های قوس الکتریکی

برای تهیه فولادهای خاص که برای مصارف صنعتی بسیار دقیق استفاده می‌شوند، این روش بکار گرفته می‌شود. ذوب در این کوره توسط قوس الکتریکی ایجاد شده بین الکترودهای

گرافیت و بار کوره صورت می‌گیرد. در این روش نیازی به ماده سوختنی و تزریق اکسیژن نیست و دما را می‌توان نسبت به دو روش قبلی بالاتر برد. همچنین محیط کوره بازی است. از این فرآیند برای تصفیه مجدد فولادی که از روش بسمر و یا روش کوره باز بدست آمده است و تبدیل آن به فولاد مرغوب‌تر نیز استفاده می‌شود.

۲-۷-۱- روش‌های حذف ناخالصی‌ها در فولاد

در تولید فولاد بایستی ناخالصی‌های همراه حذف شوند. همچنین مقادیر معینی از مواد آلیاژ به مذاب افزوده می‌شوند تا فولاد مناسب تولید گردد. این عملیات به روش‌های زیر انجام می‌گردد.

الف) روش حذف ناخالصی‌های اسیدی

در کوره‌های اسیدی، سرباره شامل اکسیدهای SiO_2 ، CaO ، MnO و FeO می‌باشند که به روش اکسیداسیون و گاززدایی عملیات کاهش آنها انجام می‌گیرد. البته در این روش اکسیداسیون ضعیف و امکان حذف مناسب فسفر و گوگرد وجود ندارد. همچنین گاززدایی بصورت کامل انجام نمی‌گیرد.

ب) روش حذف ناخالصی‌های بازی

در روش حذف ناخالصی‌های بازی عملیات تک سرباره و یا دو سرباره انجام می‌گیرد.

❖ روش تک سرباره

سرباره‌های اکسیدی در یک مرحله تخلیه می‌شوند.

❖ روش دو سرباره

ابتدا یک سرباره اکسیدی برای حذف فسفر، سیلیسیم، هیدروژن و نیتروژن انجام و تخلیه می‌شوند. سپس سرباره دیگری برای حذف گوگرد و اکسیژن ایجاد می‌گردد. غلیان مذاب و مخلوط شدن با سرباره که بدلیل کم بودن وزن مخصوص سرباره نسبت به فولاد به سطح هدایت شده و موجب تمیزتر شدن مذاب می‌شود.

- منگنز، فسفر و سیلیسیم توسط هوا یا اکسیژن به اکسید تبدیل می‌شوند و به صورت سرباره خارج می‌شوند.
- گوگرد به صورت سولفید وارد سرباره می‌شود.
- کربن می‌سوزد و به صورت مونوکسید کربن (CO) یا دی‌اکسید کربن (CO₂) از مذاب خارج می‌شود.
- با ایجاد خلاء، گازها نیز تخلیه می‌شوند.

ج) متالورژی ثانویه

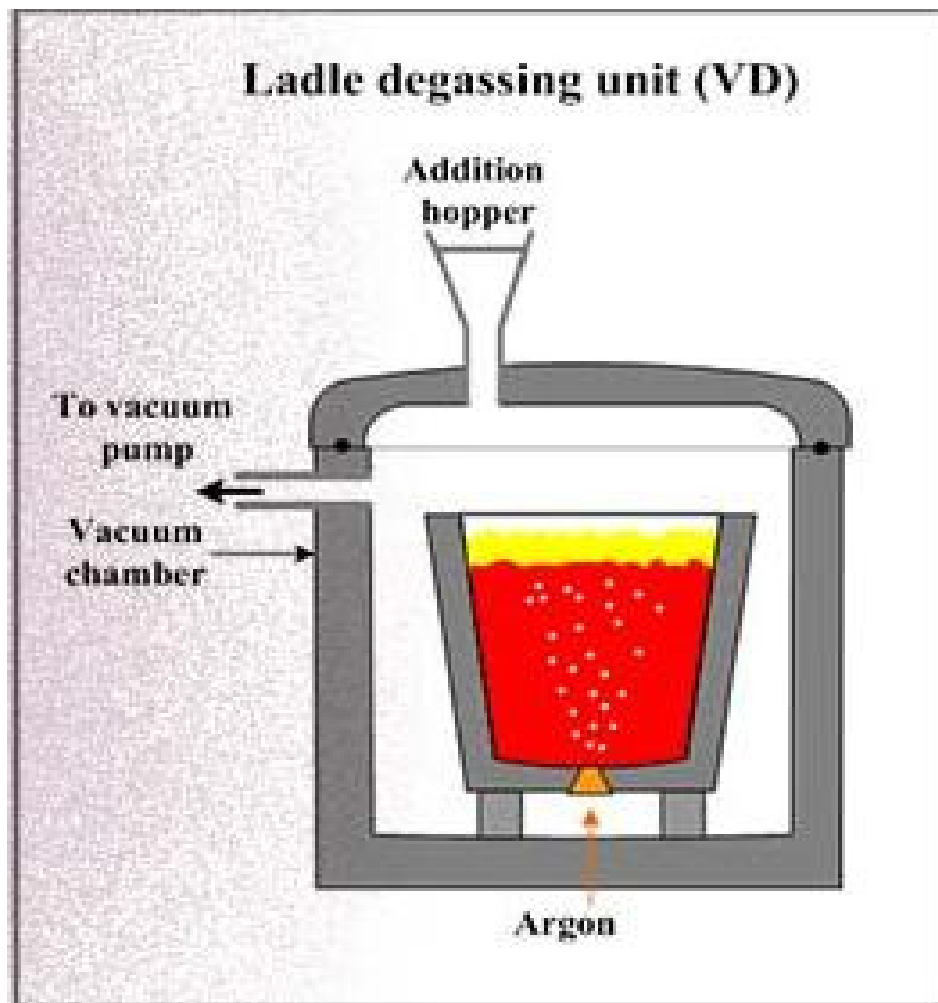
پس از ذوب فولاد در کوره‌های فولادسازی، مذاب به پاتیل منتقل می‌شود تا ناخالصی‌های باقیمانده حذف شوند. در این مرحله که به متالورژی ثانویه نیز معروف است علاوه بر حذف ناخالصی‌ها، با اضافه کردن فروآلیاژها عملیات آلیاژسازی نیز انجام می‌شود. اکسیژن با استفاده از سیلیسیم و آلومینیوم که به ترتیب SiO₂ و Al₂O₃ را تشکیل می‌دهند حذف می‌شود. با اضافه کردن آلومینیوم به فولاد مذاب، با خروج گازها به همراه آلومینیوم، مذاب از غلیان می‌افتاد و فولاد کاملاً کشته* تولید می‌شود. گوگرد هم با اضافه کردن منگنز و با تشکیل MnS بصورت سرباره حذف می‌شود.

د) گاززدایی در خلاء*

یکی از مهمترین مراحل در تولید فولاد که موجب حذف تمامی گازهای محلول و تولید یک محصول کیفی می‌شود عملیات گاززدایی در خلاء است. مقدار حلالیت فولاد برای گازها با کاهش دما کم می‌شود و این امر موجب می‌شود تا مقداری گاز به صورت حباب در فولاد بوجود آید، از طرفی به علت کاهش دما امکان خروج این گازها از سطح وجود ندارد که حاصل آن تخلخل در فولاد است. این عملیات موجب می‌شود تا از تشکیل تخلخل و در نهایت تورق در فولاد تا حد زیادی جلوگیری شود. گاززدایی در خلاء به دو روش مختلف زیر انجام می‌شود.

۱- مکش گاز (VD)

در این روش، پاتیل مذاب را در یک محفظه قرار می‌دهند و پس از قرار گرفتن درپوش بر روی آن یک خلاء نسبی ایجاد می‌شود و سپس برای ایجاد تلاطم گاز خنثی آرگون از کف مخزن دمیده می‌شود.



شکل ۱۰-۱ مکش گاز

۲- تخلیه گاز بوسیله تلاطم (RH)

در این روش مذاب توسط یک نازل مکیده می‌شود و وارد یک محفظه خلاء می‌گردد و سپس از یک نازل دیگر دوباره به پاتیل بر می‌گردد. در این روش تلاطم مورد نیاز با این مکانیزم تأمین می‌گردد و گازهای موجود در مذاب خارج می‌شوند.

همچنین در پایان عملیات فولادسازی و پس از گاززدایی با اضافه کردن کلسیم، مذاب را فرآوری می‌کنند و شکل گازهای باقیمانده به صورت کروی در می‌آیند تا خطر ایجاد ترک را به حداقل برسانند.

هـ) ریخته‌گری

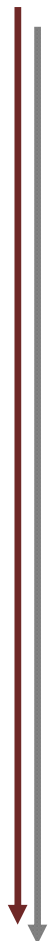
پس از آماده‌سازی فولاد مذاب به واحد ریخته‌گری منتقل می‌شود تا تبدیل به اسلب یا شمش شود. این عملیات با دقت انجام شود تا از تماس اکسیژن با مذاب جلوگیری شود که بدین منظور مذاب پس از خروج از پاتیل توسط ظروف خاصی بنام تاندیش و به صورت کاملاً ایزوله به قالب ریخته‌گری هدایت می‌شود. جنس این قالبها از مس می‌باشد و توسط چرخش آب خنک می‌شوند، دمش گاز خنثی مانند آرگون در این مرحله نیز به جلوگیری از اکسیداسیون مذاب کمک می‌کند. دمای مذاب در این مرحله در حدود ۱۵۵۰ درجه سانتیگراد است.

بخش سوم

◇ نورد

◇ تولید ورق های تخت

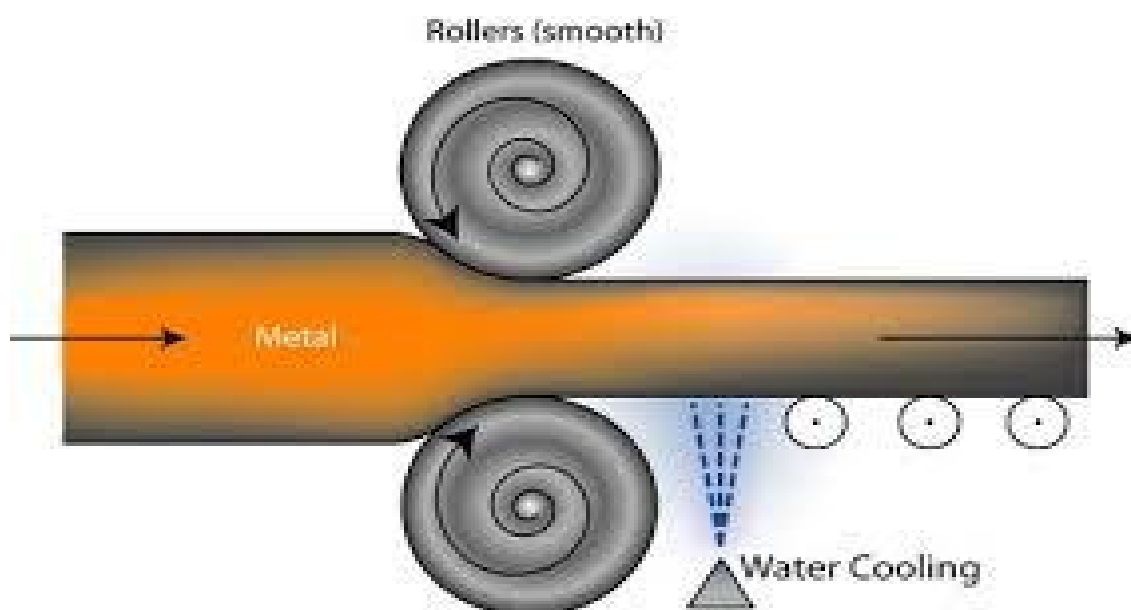
◇ تولید ورق های کلاف



۸-۱- نورد*

یکی از کاربردی‌ترین روش‌های شکل دادن فلزات و تولید ورق‌های فولادی، نورد است که از تغییر شکل دادن فلزات، از طریق عبور شمش یا اسلب از بین یک یا دو غلتک انجام می‌شود. برای تولید ورق‌های فولادی با ابعاد مختلف، نورد در چند مرحله متوالی انجام شود که بستگی به نوع نورد، جنس شمش و میزان کاهش سطح مقطع متفاوت است. انواع نورد براساس دمای کاری به دو دسته نورد سرد* و نورد گرم* تقسیم می‌شود. چنانچه دمای کاری بالاتر از دمای تبلور مجدد* باشد نورد را گرم و چنانچه از دمای تبلور مجدد پایین‌تر باشد آن را نورد سرد می‌گویند.

تولید ورق فولادی بعنوان مواد اولیه تولید لوله‌های فولادی بصورت ورق‌های تخت و کلاف از طریق نورد گرم انجام می‌گیرد.

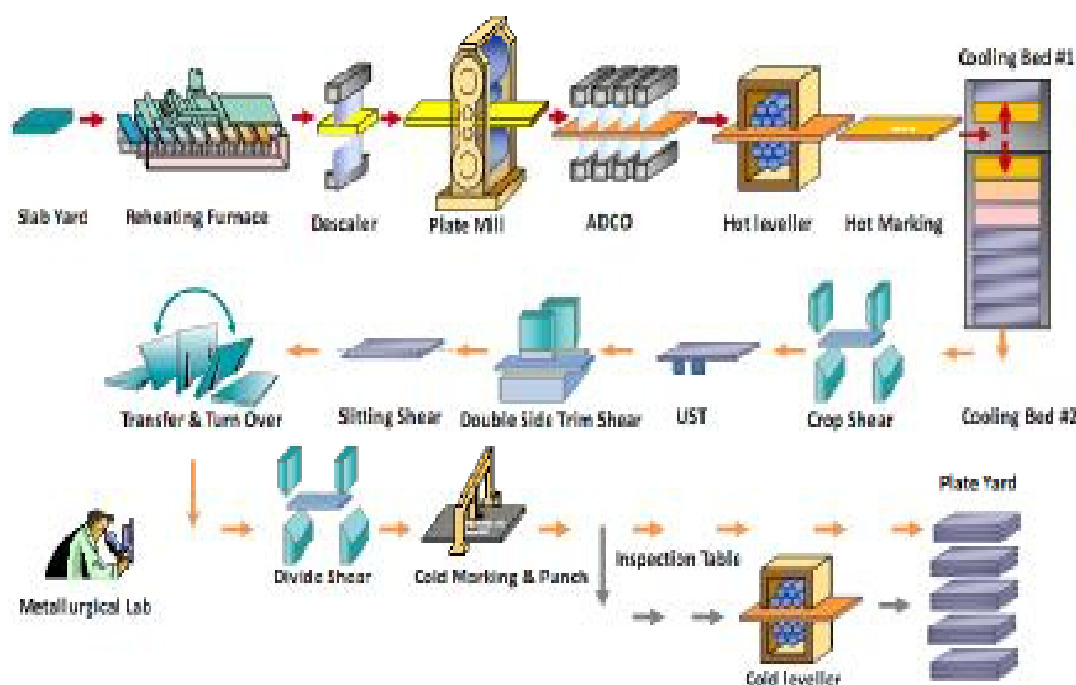


شکل ۱۱-۱ نورد

۱-۸-۱- تولید ورق‌های عریض فولادی تخت*

ورق‌های عریض که در ساخت لوله کاربرد دارند با استفاده از فرآیند نورد گرم کنترل شده و سیستم سرد کردن تسریع شده (کوئنچ) تولید می‌شوند. فولادهای مورد استفاده در ساخت لوله جزو فولادهای کم کربن استحکام بالا* طبقه‌بندی می‌شوند و به دلیل مقدار کربن پایین از جوش‌پذیری بالایی نیز برخوردار هستند. همچنین استحکام بالای آن که به دلیل فرآیند خاص تولید و وجود عناصر میکروآلیاژی است این امکان را فراهم می‌کند که برای فشار معینی ضخامت کمتری را در نظر گرفت که نتیجه آن کاهش وزن لوله است.

مراحل تولید کارخانه نورد ورق عریض به شرح زیر است:



شکل ۱-۱۲ شماتیک کارخانه نورد ورق تخت

اولین مرحله برای تولید ورق دریافت اسلب و کنترل ابعادی و ظاهری آن است که با استفاده از لیزر و چشم‌های الکترونیکی مخصوص* انجام می‌شود. کوره پیش گرم که توانایی تولید دما تا ۱۲۵۰ درجه سانتی‌گراد را دارد، اسلب‌ها را پیش گرم می‌کند. اسلب‌ها بایستی به صورت کاملاً یکنواخت گرم شوند که نتیجه آن کیفیت همگن و یکنواخت تولید ورق است. پس از پیش گرم و پوسته‌زدایی اولیه با فشار بالای آب*، اسلب وارد مرحله نورد می‌شود. ورق را

در دو جهت نورد می‌کنند. این روش نورد موجب می‌شود تا جهت رشد دانه‌ها در یک جهت نباشد که نتیجه آن افزایش انعطاف‌پذیری و مقاومت به ضربه است. در حین این عملیات پوسته‌زدایی* با فشار آب نیز انجام می‌شود که باعث افزایش کیفیت سطحی ورق می‌گردد. عملیات نورد شامل کاهش ضخامت و افزایش طول و عرض طی چندین مرحله رفت و برگشت است. این نوع عملیات کنترل شده را نورد ترمومکانیکال گفته می‌شود که در آن به دلیل اعمال نیروهای بسیار زیاد در حین نورد، دانه‌های آستنیت به دانه‌های کوچکتر شکسته می‌شوند که موجب ریزدانه شدن فولاد و در نهایت افزایش استحکام آن می‌شود. کنترل دما و نیروی غلتک‌ها در حین نورد و در عملیات ترمومکانیکال بسیار مهم و حیاتی است که داشتن این دانش از مزیت‌های نسبی کارخانه‌های تولید ورق محسوب می‌شود. یکی دیگر از نکات بسیار مهم و اساسی کنترل شرایط خنک کردن ورق پس از عملیات نورد است.

برای خنک کردن تسریع شده* از تعدادی افشانکهای* آب و هوا با کنترل مکانیزه استفاده می‌شود که در آن ورق با توجه به ضخامت و گرید، با مقدارهای متفاوت به صورت یکنواخت تمام سطح را سرد می‌کند و در نهایت باعث همگن شدن خواص ورق می‌گردد.

در عملیات نورد، مقداری تنش پس ماند و اعوجاج در ورق باقی می‌ماند که برای حذف آن ورق‌ها را در حالت گرم موج‌گیری می‌کنند. در پایان این مرحله ورق‌ها وارد هوای آزاد* می‌شوند تا دمای ورق‌ها به آرامی کاهش یابد. پس از سرد شدن ورق یک مرحله بازرسی چشمی انجام می‌شود و سپس تمام ورق‌ها توسط دستگاه امواج صوتی بازرسی می‌شوند تا از کیفیت آنها اطمینان حاصل شود.

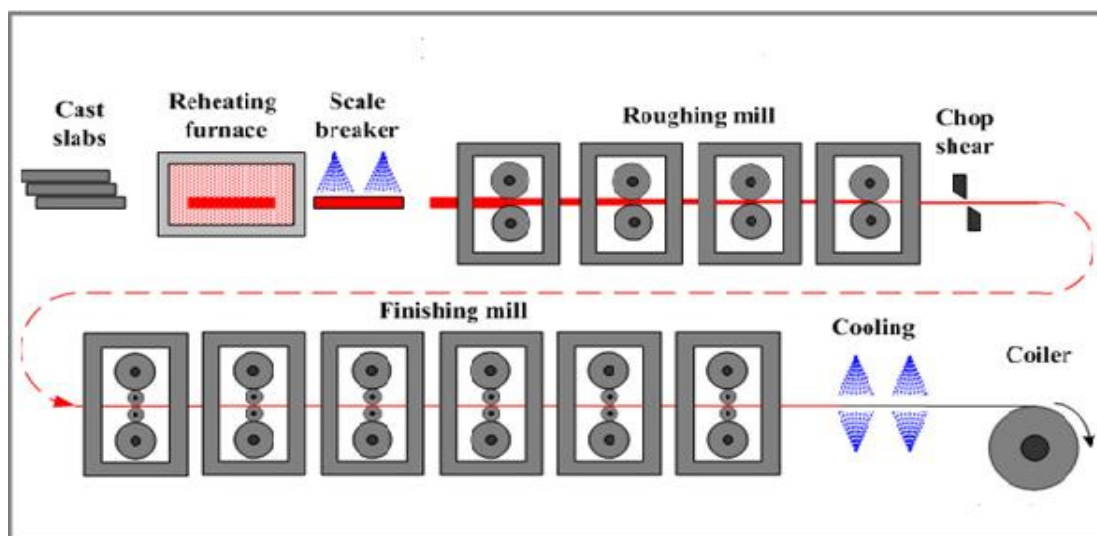
در مرحله بعد کنترل ابعادی، توزین و علامت‌گذاری ورق‌ها انجام می‌شود و سپس تمامی ورق‌ها از دو طرف بازرسی چشمی می‌شوند. در نهایت از ورق تولید شده برای انجام آزمایشات؛ آنالیز شیمیایی و مقاومت مکانیکی نمونه‌برداری می‌شود.

۲-۸-۱- تولید ورقهای فولادی کلاف*

تولید کلاف به دو روش نورد گرم و نورد سرد به شرح زیر انجام می‌شود:

الف) نورد گرم:

در این روش نیز ابتدا اسلب پس از کنترل‌های اولیه وارد کوره پیش گرم می‌شود تا دمای آن افزایش یابد، سپس پوسته‌زدایی شده و وارد مرحله نورد اولیه می‌شود که در آن ضخامت اسلب تقریباً به ۳۰ تا ۴۰ میلی‌متر کاهش می‌یابد. قبل از نورد نهایی ورق به صورت کلاف جمع می‌شود تا دمای آن دوباره در طول ورق یکنواخت گردد. سپس کلاف باز شده و نورد نهایی انجام می‌شود تا ضخامت آن به مقدار مورد نظر تقلیل یابد. سپس مرحله خنک کردن تسریع شده با استفاده از دوش آب از بالا و پایین انجام می‌شود.



شکل ۱۳-۱ شماتیک کارخانه نورد ورق فولادی کلاف

ب) نورد سرد:

روش دیگر برای تولید کلاف نورد سرد است. در این فرآیند بدون اعمال گرما عملیات نورد و تغییر ابعاد صورت می‌گیرد. محدوده ضخامت در این روش بین ۰/۲ تا ۳/۲ میلی‌متر است. این ورق‌ها شامل تولید ورق‌های گالوانیزه، ورق‌های رنگی، ورق‌های مورد استفاده در صنایع اتومبیل، ساختمانی و تولید لوازم خانگی است. کلاف‌های تولید شده با نورد سرد بستگی به کاربرد بعدی آنها ممکن است، نیاز به عملیات حرارتی داشته باشند.

*** جدول ۱-۲ واژگان فصل اول ***

نام واژه	تعریف واژه
Jet Water	افشانگ تزریق آب با فشار بالا
Scale Flush	پوسته نازک زنگ زدگی فولاد در حالت گرم
Per & Post Heat	پیش و پس گرمی
Recrystallization	تبلور مجدد
Vacuum Degassing	تخلیه گاز با مکش
Brittleness	تردی، شکننده
Iron Making	تولید آهن
Direct Reduced Iron (DRI)	تولید آهن، احیای مستقیم
Midrex	تولید آهن، احیای مستقیم با گاز
Steel Making	تولید فولاد
Plate Production	تولید ورق تخت فولادی
Weld Ability	جوش پذیری
Photo cell	چشم الکتریکی
Pitting	حفره سطحی
Porosity	حفره گازی
Accelerated Cooling Control	خنک کردن کنترل شده سریع
Tolerance	رواداری
Pearlite	ساختار فولاد لایه‌ای با سطح مقطع مروارید
Hardness	سختی
Toughness	سفتی (چقرمگی)
Iron Stone	سنگ آهن
Face Center Cubic (F.C.C)	شبکه کریستالی مکعبی با اتم در مرکز وجوه
Body Center Cubic (B.C.C)	شبکه کریستالی مکعبی با اتم مرکزی

نام واژه	تعریف واژه
Ductility	شکل پذیری
Steel	فولاد
Fully Killed Steel	فولاد کشته کامل
Full Killed	کشته کامل
Coil	کلاف ورق فولادی
Electric ARC Furnace	کوره قوس الکتریکی
Basicity	محیط شیمیایی بازی، قلیایی
Cooling Area	منطقه خنک کننده
HAZ	ناحیه متأثر از گرما
Ruhrstahl & Heraeus	نام افرادی که تخلیه گاز از طریق تلاطم ابداع کردند
Jindal	نام فردی که تولید آهن با ذغال سنگ ابداع کرد
Rolling	نورد
Cold rolling	نورد سرد
Hot Rolling	نورد گرم



فصل دوم

طبقه‌بندی لوله‌های فولادی



طبقه‌بندی لوله‌های فولادی انتقال نفت و گاز:

لوله‌های فولادی انتقال نفت و گاز به روش‌های زیر طبقه‌بندی می‌شوند:

۱-۲- طبقه‌بندی از نظر نام‌گذاری:

الف) لوله*

لوله یک استوانه توخالی است که برای انتقال مواد قابل جریان مانند مایعات، گازها و سایر سیالات بکار گرفته می‌شود. در مسیرهای کوتاه با شرایط خاص برای انتقال جامدات نیز استفاده می‌شوند و از جنس‌های متفاوتی مانند: فولاد، چدن، بتن، فایبرگلاس، پلی‌اتیلن و ... ساخته می‌شوند.

ب) تیوب*

- تیوب تعریف کلی آن مانند لوله است ولی دارای تفاوت‌های زیر است:
- کاربرد تیوب‌ها برای انتقال بخار در فشار و دمای بالا است و در بویلرها، کوره‌ها، مبدل‌های حرارتی و ... استفاده می‌شوند.
- تیوب‌ها بدون درز بوده و معمولاً تا قطر ۱۲ اینچ ساخته می‌شوند.
- تیوب‌ها دارای طول مشخصی نمی‌باشند.
- ضخامت تیوب‌ها در سرتاسر طول تیوب یکسان می‌باشد.
- قطر اسمی خارجی تیوب‌ها با قطر واقعی آنها یکسان است ولی در لوله‌ها تا قطر ۱۴ اینچ قطر واقعی با قطر اسمی آنها متفاوت است.
- مثال: تیوب ۶ اینچ؛ دارای قطر خارجی ۶ اینچ است ولی لوله ۶ اینچ دارای قطر واقعی ۶/۶۲۵ اینچ است.

۲-۲- طبقه‌بندی بر مبنای سطح تولید:

استاندارد API 5L لوله‌های انتقال نفت و گاز را به دو گروه زیر تقسیم کرده است:

الف) تولید لوله‌های سطح یک ((PSL 1))*

لوله‌های سطح یک همانطوری که در جدول ۱-۲ درج شده است به آزمایشات زیادی نیاز ندارند و در جاهایی که فشار و حساسیت کار کم باشد از آنها استفاده می‌کنند.

ب) تولید لوله‌های سطح دو ((PSL 2))

لوله‌های سطح دو با دقت و کنترل بیشتری تولید می‌شوند. از این لوله‌ها برای فشارهای بالا و انتقال فرآورده‌های حساس و خطوط اصلی انتقال نفت و گاز استفاده می‌شود. اختلاف این دو سطح تولید بصورت خلاصه در جدول شماره ۱-۲ درج گردیده است. همانطوری که در جدول قابل ملاحظه می‌باشد اختلافات عمده شامل موارد زیر است:

محدوده رتبه و قطر، نوع جوشکاری درز طولی، برای جوشهای مقاومت الکتریکی مقدار فرکانس و لزوم عملیات حرارتی، حداکثر عناصر کربن، فسفر، سلفور، درصد معادله کربنی، محدود کردن تنش کششی و تسلیمی و لزوم آزمایش مقاومت به ضربه، آزمایشات عیب‌یابی غیرمخرب، صدور گواهی‌نامه تولید و روش ردیابی همچنین ممنوعیت تعمیر با عملیات جوشکاری در بدنه و درز طولی جوشهای مقاومت الکتریکی و تائید روش تولید

جدول ۲-۱ خلاصه اختلاف لوله‌های سطح یک (PSL 1) و سطح دو (PSL 2)

	Parameter		PLS1	PLS2
1	Grade range		A 25 through X 70	B through X 80
2	Size range		0.405 through 80	4.5 through 80
3	Type of pipe end		Plain, threaded belled : special coupling	Plain end
4	Seam welding		All methods: C.W limited to grade A 25	All methods except C.W and L.W
5	5-1	E W: Frequency welder	NO Min...	70 KHz Min...
	5-2	Heat treatment	Required for grade >X42	Required for all grade
6	6-1	Chemistry: Max C for SMLS pipe	0.28% for grade $\geq$ B	0.24%
	6-2	Max C for welded pipe	0.26% for grade $\geq$ B	0.22%
	6-3	Max P	0.030% for grade $\geq$ A	0.025%
	6-4	Max S	0.030%	0.015%
	6-5	Carbon equivalent	When purchaser specified	Max required for each grade
7	7-1	Mechanical : Yield strength, Max	None required	Required for each grade
	7-2	UTS, Max	None required	Required for all grade
	7-3	Fracture toughness	None required	Required for all grade
8	8-1	Repair: by welding of pipe body	Permitted	Prohibited
	8-2	Repair by welding of weld seams without filler metal	Permitted by agreement	Prohibited
9	NDT		When purchaser specified	Mandatory
10	Certification		When is specified	Mandatory
11	Procedure qualification		None required	If ordered

۳-۲- طبقه‌بندی بر مبنای استحکام مکانیکی (کششی):

این طبقه‌بندی بر مبنای حداقل استحکام تسلیمی ((رتبه لوله))^{*} انجام شده است. همانطوری که در جدول ۲-۲ درج گردید، برای لوله‌های سطح دو حداقل و حداکثر تنش تسلیمی و گسیختگی مشخص شده است. این داده‌ها در محاسبات طراحی فشار خطوط لوله، انتخاب صحیح الکترودهای جوشکاری و پارامترهای دیگر تأثیر دارند.

برای لوله‌های سطح یک به حداقل تنش تسلیمی و گسیختگی اکتفا شده است. برای درک بهتر مطالب فوق مثال زیر موضوع طبقه‌بندی لوله‌ها را روشنتر می‌کند. فرض کنیم در یک فرم سفارش مشخصات لوله به شرح زیر نوشته شده است:

API 5L PSL 2 SAWL 56-0.812-X70

این مشخصات بشرح زیر تفسیر می‌شود:

- ۱- استاندارد تولید لوله، انستیتو نفت امریکا (API 5L)
- ۲- سطح ۲ تولید
- ۳- جوش زیرپودری درز مستقیم
- ۴- قطر لوله ۵۶ و ضخامت آن ۰/۸۱۲ اینچ
- ۵- رتبه آن ایکس ۷۰ می‌باشد.
- ۶- با توجه به مشخصات فوق و مراجعه به جدول شماره ۲-۲ تنش تسلیمی بین ۴۸۵ تا ۶۳۵، تنش گسیختگی ۵۷۰ تا ۷۶۰ مگاپاسکال و درصد افزایش طول ۲۲٪ و حداکثر عناصر شیمیایی آن نیز در استاندارد مربوطه درج گردیده است.

جدول ۲-۲ طبقه‌بندی لوله‌ها بر مبنای استحکام مکانیکی (کششی)

رتبه	مقاومت کششی سطح تولید ۱ PSI		مقاومت کششی سطح تولید ۲ PSI			
	حداقل تسلیمی	حداقل گسیختگی	حداقل تسلیمی	حداکثر تسلیمی	حداقل گسیختگی	حداکثر گسیختگی
A25	25400	45000	-----	-----	-----	-----
A	30500	48600	-----	-----	-----	-----
B	35500	60200	35500	65300	60200	95000
X42	42100	60200	42100	71800	60200	95000
X46	46400	63100	46400	76100	63100	95000
X52	52200	66700	52200	76900	66700	110200
X56	56600	71100	56600	79000	71100	110200
X60	60200	75400	60200	81900	75400	110200
X65	65300	77600	65300	87000	77600	110200
X70	70300	82700	70300	92100	82700	110200
X80	-----	-----	80500	102300	90600	119700
X90	-----	-----	90600	112400	100800	132700
X100	-----	-----	100100	121800	110200	143600
X120	-----	-----	120400	152300	132700	166100
رتبه‌های میانی*: اگر در محاسبات طراحی به رتبه بین رتبه‌های فوق برسند و حجم سفارش زیاد باشد، کارفرما اختیار انتخاب لوله با رتبه غیر از رتبه‌های مندرج در جدول را دارد.						

۴-۲- تقسیم‌بندی بر مبنای روش تولید

لوله‌ها از نظر ساخت به دو دسته زیر تقسیم می‌شوند:

الف- لوله‌های بدون درز*

این لوله‌ها با استفاده از شمش با مقطع دایره یا مربع مستطیل و با حرارت و کشش و عبور از غلتک‌ها بدون جوش تولید می‌شوند. جهت رسیدن به ابعاد لازم و یکنواخت عملیات شکل‌دهی ممکن است در دو مرحله انجام گیرد؛ مرحله اول پس از گرم کردن شمشها در کوره دوار توسط قالب و پرس عمودی و شلیک سمبه ماتریس از غلتک‌های مخصوص عبور می‌دهند و پس از رسیدن به شکل اولیه (تبدیل شمش به لوله مادر) دوباره لوله‌های مادر در کوره گرم می‌شوند و بستگی به قطر و ضخامت مورد درخواست از غلتک‌های مخصوص تحت نورد و کشش عبور داده می‌شوند تا به اندازه مورد نظر برسند.

لوله‌های بدون درز از استحکام بیشتری نسبت به لوله‌های جوشی برخوردار می‌باشند. این لوله‌ها را نیز به نام دانشمندی آلمانی ((آقای مانیسمن)) که اولین بار در قرن ۱۹ این لوله‌ها را ساخت، مانیسمن می‌نامند.

ب- لوله‌های جوشی

لوله‌هایی که یک یا دو جوش طولی داشته باشند لوله‌های جوشی گفته می‌شوند. جهت ساخت این لوله‌ها از ورق فولادی تخت* یا کلاف* بعنوان مواد اولیه استفاده می‌شود. بعد از شکل‌دهی و تبدیل ورق به (O) کامل، درز طولی آنها معمولاً به یکی از روشهای جوش و یا تلفیقی از دو روش جوشکاری می‌شوند.

لوله‌های جوشی از نظر درز طولی به دو گروه زیر تقسیم می‌شوند:

۱- لوله‌های درز مستقیم*

۲- لوله‌های درز مارپیچی*

۵-۲- تقسیم‌بندی لوله‌ها از نظر تحمل فشاری

الف- روش وزنی:

در چاپ قدیمی استانداردهای ASME و ASTM برای هر لوله با قطر اسمی مشخص، بصورت استاندارد (STD) وزن مشخصی را تعریف کردند و برای فشارهای معینی در نظر می‌گیرند.

لوله‌هایی را که یک برابر تقویت می‌شوند، ضخامت آنها افزایش می‌یابد و با نام (XS) و لوله‌هایی که دو برابر تقویت می‌شوند، ضخامت آنها را نیز افزایش می‌دهند و (XXS) می‌نامند.

محاسبه وزن لوله‌ها:

بطور کلی محاسبه وزن مواد جامد که شکل هندسی معینی دارند، از حاصل ضرب حجم در وزن مخصوص آن ماده به دست می‌آید. در رابطه با محاسبه وزن لوله‌ها نیز معیار کلی قابل پذیرش است. ولی بعضی از استانداردها جهت سهولت محاسبه فرمولهای یا جداولی مانند جدول شماره ۳-۴ با خطای ۰/۰۱ بکار می‌گیرند.

رابطه‌های زیر توسط انیستیتو نفت امریکا برای محاسبه وزن لوله ارائه شده است:

برای محاسبه یک فوت طول لوله به پوند، که در آن D قطر لوله و T ضخامت لوله به اینچ است، طبق رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$W = 10.69(D - T)T$$

برای محاسبه یک متر لوله به کیلوگرم، که در آن D قطر لوله و T ضخامت لوله به میلیمتر است، طبق رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$W = 0.02466(D - T)T$$

ضخامت‌های میانی*: اگر در محاسبات طراحی به ضخامت خارج از جدول استاندارد برسند و حجم سفارش زیاد باشد، کارفرما اختیار انتخاب ضخامت میانی را دارد.

۶-۲- تقسیم‌بندی بر مبنای مشخصات ابعادی لوله‌ها

۱-۶-۲- از قطر ۱۲ اینچ و پائین‌تر، قطر اسمی (NPS) و قطر خارجی (OD) لوله‌ها یکسان نمی‌باشند و قطر واقعی بیشتر از قطر اسمی است. به عنوان مثال لوله‌ای با قطر

اسمی ۱۲ اینچ، قطر واقعی آن ۱۲.۷۵۰ اینچ می‌باشد.

۲-۶-۲- از قطر ۱۴ اینچ به بالا قطر خارجی لوله با قطر اسمی آنها برابر است.

در این طبقه‌بندی استفاده از اصطلاحات مشروحه زیر ضروری است:

قطر اسمی لوله به اینچ Nominal Pipe Size (NPS)

قطر اسمی لوله به میلیمتر Nominal Diameter (DN)

قطر داخلی لوله Inside Diameter (ID)

قطر خارجی لوله Outside Diameter (OD)

ضخامت Wall Thickness (WT)

طول Length (L)

پخ یا آرایش دو سر لوله End Preparation (Bevel)

ب - روش کلاسه‌بندی ضخامت* (اسکچول)

کلاسه‌بندی ضخامت لوله‌ها (شماره اسکچول)؛ این روش به منظور سهولت در کار بازرگانی استفاده می‌شود و فرمول محاسبه آن به شرح زیر است.

$$A = \frac{1000 P}{S}$$

در این فرمول: عدد (۱۰۰۰) ثابت، (P) فشار بهره‌برداری، (S) استحکام تسلیمی لوله و (A) Schedule Number است که با مراجعه به جدول شماره یک استاندارد ASME 36.10M مشخصات کامل لوله مورد نظر استخراج می‌گردد.

در صورت عدم مطابقت عدد حاصل از رابطه فوق بایستی به عدد بالاتر گرد شود. مانند مثال

زیر:

لوله‌ای به قطر اسمی ۶ اینچ با رتبه X42 برای فشار طراحی ۱۵۲۰ psi مورد نیاز است. اسکچول و ضخامت آن طبق فرمول فوق و جدول شماره ۴-۲ به شرح زیر محاسبه می‌شود:

$$A = \frac{1000 P}{S} \Rightarrow A = \frac{1000 \times 1520}{42000} = 36 \approx 40$$

نظر به اینکه عدد حاصل در محاسبات فوق؛ اسکچول ۳۶ در جدول موجود نیست، عدد بالاتر آن ۴۰ انتخاب می‌گردد و ضخامت آن 0.280 اینچ منظور می‌شود.

جدول شماره ۴-۲ نیز توسط سایت (Tioga) در مورد اسکچول و وزن لوله‌ها ارائه شده است.

جدول شماره ۴-۲ اسکچول و وزن لوله

NOMINAL PIPE SIZE	OD	SCHEDULE DESIGNATIONS				WALL THICKNESS		WEIGHT		ID	
		ASME				INCH	MM	LB/FOOT	KG/METER	INCH	MM
1/8 6	0.405 10.3	10 STD XS	40 80	105 405 805	0.049 0.068 0.095	1.24 1.73 2.41	0.19 0.24 0.31	0.28 0.37 0.47	0.269 0.269 0.215	7.82 6.84 5.84	
1/4 8	0.540 13.7	10 STD XS	40 80	105 405 805	0.065 0.088 0.119	1.65 2.24 3.02	0.33 0.43 0.54	0.49 0.63 0.80	0.410 0.364 0.302	10.40 9.22 7.66	
3/8 10	0.675 17.1	10 STD XS	40 80	105 405 805	0.065 0.091 0.126	1.65 2.31 3.20	0.42 0.57 0.74	0.63 0.84 1.10	0.545 0.493 0.423	13.80 12.48 10.70	
1/2 15	0.840 21.3	5 10 STD XS 160 XX		55 105 405 805	0.065 0.083 0.109 0.147 0.188 0.294	1.65 2.11 2.77 3.73 4.78 7.47	0.54 0.67 0.85 1.09 1.31 1.72	0.80 1.00 1.27 1.62 1.95 2.35	0.710 0.674 0.622 0.546 0.464 0.252	18.00 17.08 15.76 13.84 11.74 6.36	
3/4 20	1.050 26.7	5 10 STD XS 160 XX		55 105 405 805	0.065 0.083 0.113 0.154 0.219 0.308	1.65 2.11 2.87 3.91 5.56 7.82	0.69 0.86 1.13 1.48 1.95 2.44	1.03 1.28 1.69 2.20 2.90 3.64	0.920 0.884 0.824 0.742 0.612 0.434	23.40 22.45 20.96 18.88 15.58 11.06	
1 25	1.315 33.4	5 10 STD XS 160 XX		55 105 405 805	0.065 0.109 0.133 0.179 0.250 0.358	1.65 2.77 3.38 4.35 6.35 9.09	0.87 1.41 1.68 2.17 2.85 3.66	1.29 2.09 2.50 3.24 4.24 5.45	1.185 1.097 1.049 0.957 0.815 0.599	30.10 27.86 26.64 24.30 20.70 15.22	
1-1/4 32	1.660 42.2	5 10 STD XS 160 XX		55 105 405 805	0.065 0.109 0.140 0.191 0.250 0.382	1.65 2.77 3.56 4.85 6.35 9.30	1.11 1.81 2.27 3.00 3.77 5.22	1.65 2.69 3.29 4.47 5.61 7.77	1.530 1.442 1.380 1.278 1.160 0.896	38.90 36.66 35.08 32.50 29.50 22.80	
1-1/2 40	1.900 48.3	5 10 STD XS 160 XX		55 105 405 805	0.065 0.109 0.145 0.200 0.281 0.400	1.65 2.77 3.68 5.08 7.14 10.15	1.28 2.09 2.72 3.63 4.86 6.41	1.90 3.11 4.05 5.41 7.25 9.55	1.770 1.682 1.610 1.500 1.338 1.100	45.00 42.76 40.94 38.14 34.02 28.00	
2 50	2.375 60.3	5 10 STD XS 160 XX		55 105 405 805	0.065 0.109 0.154 0.218 0.344 0.436	1.65 2.77 3.91 5.94 8.74 11.07	1.61 2.64 3.66 5.03 7.47 9.04	2.39 3.93 5.44 7.48 11.11 13.44	2.245 2.157 2.067 1.939 1.687 1.503	57.00 54.76 52.48 49.22 42.82 38.16	
2-1/2 65	2.875 73.0	5 10 STD XS 160 XX		55 105 405 805	0.083 0.120 0.203 0.276 0.375 0.552	2.11 3.05 5.36 7.01 9.53 14.02	2.48 3.53 5.80 7.67 10.02 13.71	3.69 5.26 8.63 11.41 14.92 20.39	2.709 2.635 2.469 2.323 2.125 1.771	68.78 66.90 62.68 58.98 53.94 44.96	
3 80	3.500 88.9	5 10 STD XS 160 XX		55 105 405 805	0.083 0.120 0.216 0.300 0.438 0.600	2.11 3.05 5.49 7.62 11.13 15.24	3.03 4.34 7.58 10.26 14.34 18.60	4.52 6.66 11.29 15.27 21.35 27.68	3.334 3.260 3.068 2.900 2.624 2.300	84.68 82.80 77.92 73.66 66.64 58.42	
3-1/2 90	4.000 101.6	5 10 STD XS 160 XX		55 105 405 805	0.083 0.120 0.226 0.318 0.636	2.11 3.05 5.74 8.08 16.15	3.48 4.98 9.12 12.52 22.87	5.18 7.41 13.57 18.64 34.03	3.834 3.760 3.548 3.364 2.728	97.38 95.50 90.12 85.44 69.30	
4 100	4.500 114.3	5 10 STD XS 120 160 XX		55 105 405 805	0.083 0.120 0.156 0.188 0.237 0.337 0.438 0.531 0.674	2.11 3.05 3.96 4.78 6.02 8.56 11.13 13.49 17.12	3.92 5.62 7.24 8.67 10.80 15.00 19.02 22.53 27.57	5.84 8.37 10.78 12.91 16.08 22.32 28.32 33.54 41.03	4.334 4.260 4.188 4.124 4.026 3.826 3.624 3.438 3.152	110.08 108.20 106.38 104.74 102.36 97.18 92.04 87.32 80.06	
4-1/2 115	5.000 127.0	STD XS XX	40 80	405 805	0.247 0.355 0.710	6.27 9.02 18.03	12.55 17.63 32.56	18.67 26.24 48.65	4.506 4.290 3.580	114.46 108.96 90.94	

NOMINAL PIPE SIZE	OD	SCHEDULE DESIGNATIONS			WALL THICKNESS		WEIGHT		D	
INCH MM	INCH MM	ASME			INCH	MM	LBS/ FOOT	KG/ METER	INCH	MM
5 125	5.563 141.3	S		5S	0.109	2.77	6.36	9.46	5.345	136.76
		10		10S	0.134	3.40	7.78	11.56	5.295	134.50
		STD	40	40S	0.258	6.55	14.63	21.77	5.047	128.20
		XS	80	80S	0.375	9.53	20.80	30.97	4.813	122.24
		120			0.500	12.70	27.06	40.28	4.563	115.90
		160			0.625	15.88	32.99	49.12	4.313	109.54
		XX			0.750	19.05	38.59	57.43	4.063	103.20
6 150	6.625 168.3	S		5S	0.109	2.77	7.59	11.31	6.407	162.76
		10		10S	0.134	3.40	9.30	13.63	6.357	161.50
					0.188	4.78	12.94	19.28	6.249	158.74
		STD	40	40S	0.280	7.11	18.99	28.26	6.065	154.08
		XS	80	80S	0.432	10.97	28.60	42.56	5.761	146.36
		120			0.562	14.27	36.43	54.21	5.501	139.76
		160			0.719	18.26	45.39	67.57	5.187	131.78
		XX			0.864	21.95	53.21	79.22	4.897	124.40
7 175	7.625 193.7	STD	40	40S	0.301	7.65	23.57	35.10	7.023	178.40
		XS	80	80S	0.500	12.70	38.08	56.69	6.625	168.30
		XX			0.875	22.23	63.14	94.00	5.875	149.24
8 200	8.625 219.1			5S	0.109	2.77	9.92	14.78	8.407	213.56
				10S	0.148	3.76	13.41	19.97	8.329	211.58
		20			0.250	6.35	22.38	33.32	8.125	206.40
		30			0.277	7.04	24.72	36.82	8.071	205.02
		STD	40	40S	0.322	8.18	28.58	42.95	7.981	202.74
		60			0.406	10.31	35.67	53.09	7.813	198.48
		XS	80	80S	0.500	12.70	43.43	64.64	7.625	193.70
		100			0.594	15.09	51.00	75.92	7.437	188.92
		120			0.719	18.26	60.77	90.44	7.187	182.58
		140			0.812	20.62	67.82	100.93	7.001	177.86
		XX			0.875	22.23	72.49	107.93	6.875	174.64
		160			0.906	23.01	74.76	111.27	6.813	173.08
9 225	9.625 244.5	STD	40	40S	0.342	8.69	33.94	50.54	8.941	227.12
		XS	80	80S	0.500	12.70	48.77	72.60	8.625	219.10
		XX			0.875	22.23	81.85	121.85	7.875	200.04
10 250	10.750 273.0			5S	0.134	3.40	15.21	22.61	10.482	266.20
				10S	0.165	4.19	18.67	27.78	10.420	264.62
					0.188	4.78	21.23	31.62	10.374	263.44
		20			0.250	6.35	28.06	41.76	10.250	260.30
		30			0.307	7.80	34.27	51.01	10.136	257.40
		STD	40	40S	0.365	9.27	40.52	60.29	10.020	254.46
		XS	60	80S	0.500	12.70	54.79	81.53	9.750	247.60
		80			0.594	15.09	64.49	95.98	9.562	242.82
		100			0.719	18.26	77.10	114.71	9.312	236.48
		120			0.844	21.44	89.38	133.01	9.062	230.12
		140	XX		1.000	25.40	104.23	155.10	8.750	222.20
		160			1.125	28.58	115.75	172.27	8.500	215.84
11 275	11.750 298.5	STD	40	40S	0.375	9.53	45.60	67.91	11.000	279.44
		XS	80	80S	0.500	12.70	60.13	89.51	10.750	273.10
		XX			0.875	22.23	101.72	151.46	10.000	254.04
12 300	12.750 323.8			5S	0.156	3.96	21.00	31.34	12.438	315.88
				10S	0.180	4.57	24.19	35.98	12.390	314.66
					0.188	4.78	25.25	37.61	12.374	314.24
		20			0.250	6.35	33.41	49.71	12.250	311.10
		30			0.330	8.38	43.81	65.19	12.090	307.04
		STD		40S	0.375	9.53	49.61	73.86	12.000	304.74
		40			0.406	10.31	53.57	79.71	11.938	303.18
		XS		80S	0.500	12.70	65.48	97.44	11.750	298.40
		60			0.562	14.27	73.22	108.93	11.626	295.26
		80			0.688	17.48	88.71	132.05	11.374	288.84
		100			0.844	21.44	107.42	159.87	11.062	280.92
		120	XX		1.000	25.40	125.61	186.92	10.750	273.00
		140			1.125	28.58	139.81	208.08	10.500	266.64
		160			1.312	33.32	160.42	238.69	10.126	257.16
14 350	14.000 355.6			10S	0.188	4.78	27.76	41.36	13.624	346.04
		10			0.250	6.35	36.75	54.69	13.500	342.90
		20			0.312	7.92	45.65	67.91	13.376	339.76
		STD	30	40S	0.375	9.53	54.62	81.33	13.250	336.54
		40			0.438	11.13	63.50	94.55	13.124	333.34
		XS		80S	0.500	12.70	72.16	107.40	13.000	330.20
		60			0.594	15.09	85.13	126.72	12.812	325.42
		80			0.750	19.05	106.23	158.11	12.500	317.50
		100			0.938	23.83	130.98	194.98	12.124	307.94
		120			1.094	27.79	150.93	224.66	11.812	300.02
		140			1.250	31.75	170.37	253.58	11.500	292.10
		160			1.406	35.71	189.29	281.72	11.188	284.18

NOMINAL PIPE SIZE	OD	SCHEDULE DESIGNATIONS	WALL THICKNESS		WEIGHT		ID	
INCH MM	INCH MM	ASME	INCH	MM	LBS/ FOOT	KG/ METER	INCH	MM
16 400	16.000 406.4	10S	0.188	4.78	31.78	47.34	15.624	396.84
		10	0.250	6.35	42.09	62.65	15.500	393.70
		20	0.312	7.92	52.32	77.83	15.376	390.56
		STD 30 40S	0.375	9.53	62.64	93.27	15.250	387.34
		XS 40 80S	0.500	12.70	82.85	123.31	15.000	381.00
		60	0.656	16.66	107.60	160.13	14.688	373.08
		80	0.844	21.44	136.74	203.54	14.312	363.52
		100	1.031	26.19	164.98	245.57	13.938	354.02
		120	1.219	30.96	192.61	286.66	13.562	344.48
		140	1.438	36.53	223.85	333.21	13.124	333.34
		160	1.594	40.49	245.48	363.38	12.812	325.42
18 450	18.000 457	10S	0.188	4.78	35.80	53.31	17.624	447.44
		10	0.250	6.35	47.44	70.57	17.500	444.30
		20	0.312	7.92	58.99	87.71	17.376	441.16
		STD 40S	0.375	9.53	70.65	105.17	17.250	437.94
		30	0.438	11.13	82.23	122.38	17.124	434.74
		XS 80S	0.500	12.70	93.54	139.16	17.000	431.60
		40	0.562	14.27	104.76	155.81	16.876	428.46
		60	0.750	19.05	138.30	205.75	16.500	418.90
		80	0.938	23.83	171.08	254.57	16.124	409.34
		100	1.156	29.36	208.15	309.64	15.688	398.28
		120	1.375	34.93	244.37	363.55	15.250	387.14
		140	1.562	39.67	274.48	408.28	14.876	377.66
20 500	20.000 508	10S	0.218	5.54	46.10	68.61	19.564	496.92
		10	0.250	6.35	52.78	78.56	19.500	495.30
		STD 20 40S	0.375	9.53	78.67	117.15	19.250	488.94
		XS 30 80S	0.500	12.70	104.23	155.13	19.000	482.60
		40	0.594	15.09	123.23	183.43	18.812	477.82
		60	0.812	20.62	166.56	247.84	18.376	468.76
		80	1.031	26.19	209.06	311.19	17.938	455.82
		100	1.281	32.54	256.34	381.55	17.438	442.92
		120	1.500	38.10	296.65	441.52	17.000	431.80
		140	1.750	44.45	341.41	508.15	16.500	419.10
		160	1.969	50.01	379.53	564.85	16.062	407.98
22 550	22.000 559	10S	0.218	5.54	50.76	75.55	21.564	547.92
		10	0.250	6.35	58.13	86.55	21.500	546.30
		STD 20 40S	0.375	9.53	86.69	129.14	21.250	539.94
		XS 30 80S	0.500	12.70	114.92	171.10	21.000	533.60
		60	0.875	22.25	197.60	294.27	20.250	514.54
		80	1.125	28.58	251.05	373.85	19.750	501.84
		100	1.375	34.93	303.16	451.45	19.250	489.14
		120	1.625	41.28	353.94	527.05	18.750	476.44
		140	1.875	47.63	403.38	600.67	18.250	463.74
		160	2.125	53.98	451.49	672.30	17.750	451.04

NOMINAL PIPE SIZE	OD	SCHEDULE DESIGNATIONS		WALL THICKNESS		WEIGHT		D	
INCH MM	INCH MM	ASME		INCH	MM	LBS/ FOOT	KG/ METER	INCH	MM
24 600	24.000 610	10	10S	0.250	6.35	63.47	94.53	23.500	597.30
		STD	20	40S	0.375	9.53	94.71	23.250	590.94
		XS		80S	0.500	12.70	125.61	23.000	584.60
		30			0.562	14.27	140.81	22.876	581.46
		40			0.688	17.48	171.45	22.624	575.04
		60			0.969	24.61	238.57	22.062	560.78
		80			1.219	30.96	296.86	21.562	548.08
		100			1.531	38.89	367.74	20.938	532.22
		120			1.812	46.02	429.79	20.376	517.96
		140			2.062	52.37	483.57	19.876	505.26
		160			2.344	59.54	542.64	19.312	490.92
26 650	26.000 660	10		0.312	7.92	85.68	127.36	25.376	644.16
		STD	40S	0.375	9.53	102.72	152.88	25.250	640.94
		XS	80S	0.500	12.70	136.30	202.74	25.000	634.60
28 700	28.000 711	10		0.312	7.92	92.35	137.32	27.376	695.16
		STD	40S	0.375	9.53	110.74	164.86	27.250	691.94
		XS	20	80S	0.500	12.70	146.99	27.000	685.60
		30			0.625	15.88	182.90	26.750	679.24
30 750	30.000 762	10		0.312	7.92	99.02	147.29	29.376	746.16
		STD	40S	0.375	9.53	118.76	176.86	29.250	742.94
		XS	20	80S	0.500	12.70	157.68	29.000	736.60
		30			0.625	15.88	196.26	28.750	730.24
32 800	32.000 813	10		0.312	7.92	106.69	157.25	31.376	797.16
		STD		0.375	9.53	126.78	188.83	31.250	793.94
		XS	20		0.500	12.70	168.37	31.000	787.60
		30			0.625	15.88	209.62	30.750	781.24
		40			0.688	17.48	230.29	30.624	778.04
34 850	34.000 864	10		0.312	7.92	112.36	167.21	33.376	848.16
		STD		0.375	9.53	134.79	200.82	33.250	844.94
		XS	20		0.500	12.70	179.06	33.000	838.60
		30			0.625	15.88	222.99	32.750	832.24
		40			0.688	17.48	245.00	32.624	829.04
36 900	36.000 914	10		0.312	7.92	119.03	176.97	35.376	898.16
		STD		0.375	9.53	142.81	212.57	35.250	894.94
		XS		0.500	12.70	189.75	282.29	35.000	888.60
42 1050	42.000 1067	STD		0.375	9.53	166.86	248.53	41.250	1047.94
		XS		0.500	12.70	221.82	330.21	41.000	1041.60
				0.625	15.88	276.44	411.64	40.750	1035.24
				0.750	19.05	330.72	492.33	40.500	1028.90
48 1200	48.000 1219	STD		0.375	9.53	190.92	284.25	47.250	1199.94
		XS		0.500	12.70	253.89	377.81	47.000	1193.60

*جدول ۵-۲ واژگان فصل دوم *

نام واژه	تعریف واژه
Tube	تیوب
Submerged Arc Welding (SAW)	جوش زیر پودری
Straight Seam Pipe	جوش طولی مستقیم
Grade	درجه، رتبه
Intermediate Grades	رتبه‌های میانی
Schedule Number	شماره رده
Intermediate Wall Thickness	ضخامت‌های میانی
Pipe	لوله
Spiral Seam Pipe	لوله با درز جوش حلزونی
Seamless Pipe	لوله بدون درز
Welded Pipe	لوله‌های جوشی
Product specification levels	مشخصات فنی سطح تولید

فصل سوم

روش های تولید لوله های فولادی



بخش اول

❖ روش های تولید لوله های بدون درز



روش‌های تولیدلوله‌های فولادی

بطور کلی روش‌های تولید لوله‌های فولادی به دو گروه اصلی لوله‌های بدون درز* و لوله‌های جوشی* تقسیم می‌شوند. در این بخش مراحل تولید لوله‌های بدون درز شرح داده می‌شود.

۱-۳- لوله‌های بدون درز

تعریف لوله‌های بدون درز:

لوله‌های بدون درز، لوله‌هایی هستند که بدون استفاده از جوش و از تبدیل اسلب یا شمش به لوله طی عملیات گرم، سوراخکاری، کشش گرم یا سرد و نورد تولید می‌شوند. مواد اولیه، بیلت یا شمش بصورت استوانه یا مکعب توپر به طول‌های بین ۶ تا ۱۲ متر است. تمامی غلتک‌های مورد استفاده در این فرآیندها حرکت چرخشی خود را توسط الکتروموتورها و اعمال فشار آنها توسط نیروی هیدرولیک تأمین می‌گردد.

لوله‌های بدون درز به روش‌های زیر تولید می‌شوند:

۱- لوله‌های نورد سرد

این لوله‌ها در صنایع نفت و گاز کاربرد ندارند.

۲- لوله‌های نورد گرم

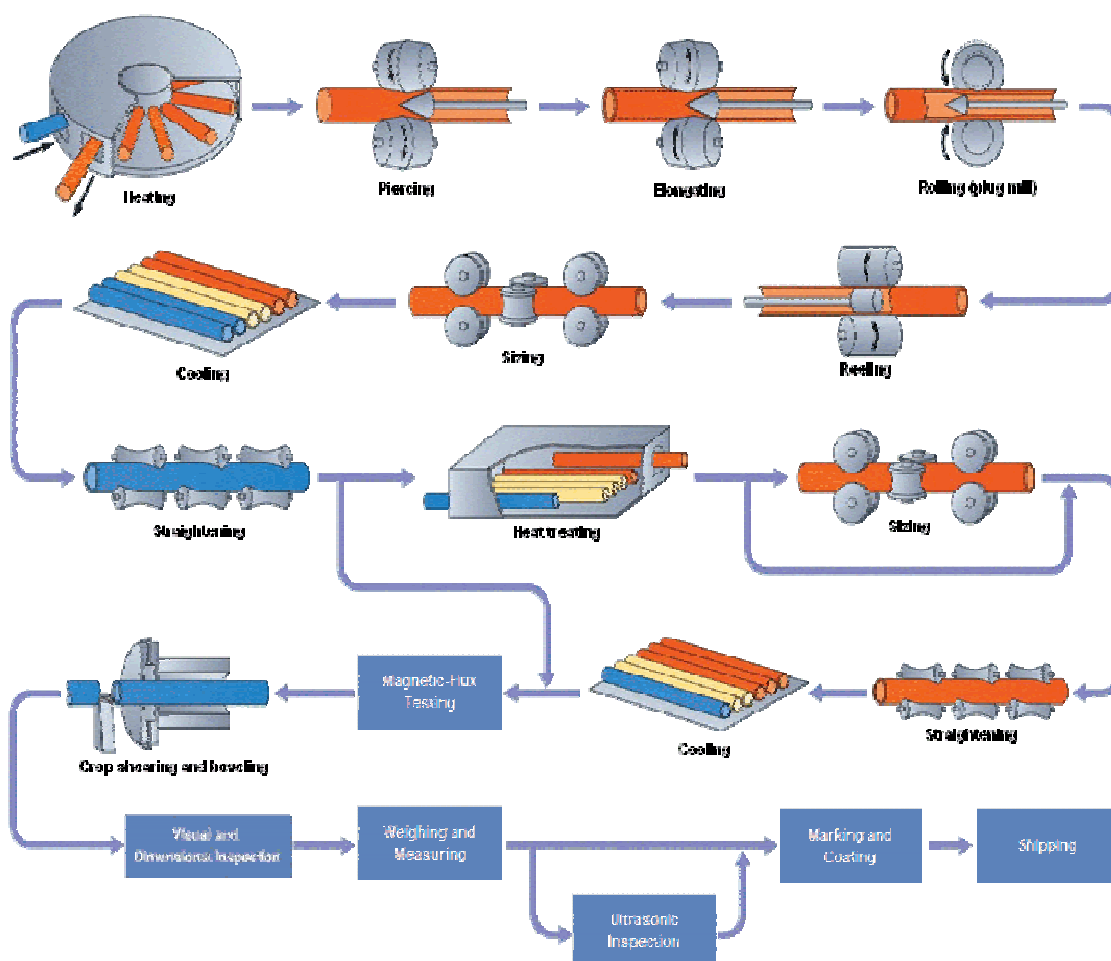
لوله‌های نورد گرم به روش‌های مختلفی تولید می‌شوند که متداولترین آنها، شامل روش‌های زیر است:

الف- روش نورد پیوسته با سنبه*

ب- روش تلفیقی توپی و سنبه متحرک*

ج- روش نورد متقاطع*

روش‌های فوق در نحوه نورد اختلاف دارند ولی بقیه مراحل تولید آنها مانند شکل ۳-۱ مشابه همدیگر است.



شکل ۳-۱ شماتیک مراحل تولید لوله‌های بدون درز

مراحل تولید لوله‌های فولادی بدون درز با روش نورد گرم به شرح زیر است:

۱- ثبت مشخصات* بیلت (شمش)

به منظور ردیابی در مراحل بعدی بخصوص نمونه‌گیری نمونه‌های آزمایشات مکانیکی و آنالیز شیمیایی از هر ذوب یا مجموعه و همچنین صدور گواهینامه کنترل کیفیت تولید و رعایت الزامات استاندارد، لازم است شماره هر اسلب و ذوب مربوطه در فرم خاصی درج و گزارش شود.

۲- دستگاه برش بیلت (قیچی)

با توجه به ابعاد اسلب و همچنین قطر و طول نهایی لوله‌های مورد درخواست، طول قطعات توسط قیچی بریده می‌شوند.

۳- کوره شماره یک دوار

این کوره حول مرکز خود ۳۶۰ درجه می‌چرخد و معمولاً با گاز و تا دمای نورد (تقریباً ۱۲۰۰ درجه سانتیگراد) قطعات را گرم می‌کند. این کوره دارای یک درب برای ورود و یک درب برای خروج قطعات گرم شده می‌باشد. درون کوره قالب‌های برای استقرار قطعات تعبیه شده است و سرعت و دمای آن طوری تنظیم می‌شود که فاصله چرخشی بین درب ورود تا درب خروج قطعات به دمای مطلوب می‌رساند.

۴- پاک کردن اکسید گرم

فولاد در حالت گرم میل ترکیبی شدیدتری با اکسیژن موجود در هوای محیط دارد. در هنگام خروج از کوره لایه اکسید نازکی روی آن تشکیل می‌شود برای برداشتن آن از آب تحت فشار* استفاده می‌شود.

۵- پرس سوراخ‌کننده اولیه

این دستگاه با فشار هیدرولیک در حالی که قطعه بیلت گرم شده در محفظه‌ای مهار شده سنبه‌ای را به آن وارد می‌کند و سوراخ اولیه را در آن تعبیه می‌کند. در این حالت اگر چه قطعه بیلت شکل اولیه لوله به خود می‌گیرد ولی کف سوراخ بسته و ضخامت دیواره زیاد و طول آن کم است.

۶- دستگاه گردکننده اولیه

این دستگاه لوله اولیه را با سرعت دوران می‌دهد و باعث افزایش طول و گرد شدن آن می‌شود. این مرحله از تولید در صورتیکه از بیلت‌های با سطح مقطع مربعی شکل استفاده می‌شود اهمیت زیادیتری پیدا می‌کند.

۷- شلیک سمبه

سمبه یک لوله توپر با آلیاژ خاص، مقاوم در برابر حرارت و دارای سختی بالا می‌باشد. سمبه با فشار هوا شلیک می‌شود و لوله اولیه که دمای آن بین ۷۵۰ تا ۹۰۰ درجه سانتیگراد است را با خود از درون غلتک‌های متعدد کاهش‌دهنده قطر و ضخامت عبور می‌دهد. حاصل این مرحله تبدیل لوله اولیه به لوله مادر است که طول آن نسبت به طول لوله اولیه افزایش یافته و قطر و ضخامت آن نیز کمتر شده است.

۸- غلتک‌های آزادکننده سمبه

در این مرحله با حرکت غلتک‌های فشاردهنده عکس حرکت لوله و با توجه به انعطاف‌پذیری لوله و سختی سمبه، سمبه در جهت مخالف از لوله خارج می‌شود.

۹- دستگاه برش قسمت توپر

قسمتی از لوله مادر که فاقد قطر داخلی و توپر باقی مانده است، توسط اره بریده می‌شود و از خط تولید کنار گذاشته می‌شود.

۱۰- میزخک کننده شماره ۱

در این مرحله عملیات تولید لوله مادر به اتمام می‌رسد و لوله‌ها در فضای آزاد سرد می‌شوند. در صورتیکه لوله‌ها از نظر ابعادی و کیفیتی مطابق درخواست باشند به ایستگاه‌های تکمیل لوله و آزمایشات کنترل کیفی هدایت می‌شوند. در غیر اینصورت عملیات تکمیلی زیر روی آنها انجام می‌گیرد.

۱۱- کوره شماره دو حرارت مجدد

لوله‌های مادر که نیاز به عملیات حرارتی یا تغییر قطر و ضخامت دارند، دوباره تا دمای بین ۸۰۰ تا ۹۰۰ درجه سانتیگراد در این کوره گرم می‌شوند تا عملیات بعدی تسهیل شوند.

۱۲- غلتکهای شکل‌دهنده

مجموعه‌ای از غلتکها هستند که از چهار طرف به لوله گرم شده فشار اعمال می‌کنند و شکل نهایی لوله تکمیل می‌گردد. در این عملیات قطر و ضخامت کاهش و طول آنها افزایش می‌یابد و به گردی و قطر مورد نظر می‌رسند.

۱۳- میزخنک کننده شماره ۲

در این مرحله عملیات تولید به اتمام می‌رسد و لوله‌ها در فضای آزاد سرد می‌شوند.

۱۴- عملیات تکمیلی تولید لوله

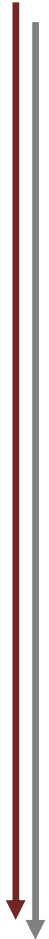
عملیات تکمیلی تولید لوله شامل مراحل زیر است:

برش به طول‌های مورد درخواست، آزمایش با فشار آب* بازرسی عینی و عیب‌سنجی غیرمخرب*، برش نمونه جهت انجام آزمایشات مکانیکی و آنالیز شیمیایی، پخ‌زنی، علامت‌گذاری* و بسته‌بندی که با توجه به نوع سفارش انجام می‌گیرد.



بخش دوم

❖ تولید لوله های جوشه



۳-۲- لوله‌های فولادی جوشی

تعریف لوله‌های جوشی:

لوله‌هایی هستند که بعد از فرم‌دهی ورق درز طولی آنها به یکی از روش‌های زیر و یا تلفیقی از دو روش جوش، جوشکاری و تبدیل به لوله می‌شوند. مواد اولیه این لوله‌ها از ورق‌های تخت یا کلاف است.

در این بخش روش‌های جوشکاری که در ساخت لوله‌های فولادی کاربرد دارند شرح داده می‌شود. همچنین مراحل تولید لوله‌هایی که در صنعت نفت و گاز مصارف بیشتری دارند توضیح داده می‌شود.

۳-۲-۱- جوشکاری پیوسته * C.W

در این روش با تغذیه پیوسته ورق فولادی به کوره، ورق گداخته می‌شود و لبه‌های طولی آن با فشار مکانیکی در همدیگر ادغام می‌گردند. ورق‌های فولادی بکار رفته در این فرآیند بصورت کلاف است.

۳-۲-۲- جوش ترکیبی * C.O.W

این روش توسط ترکیبی از دو فرایند جوشکاری، جوشکاری با محافظت گاز خنثی بعنوان ریشه و جوشکاری زیرپودری بعنوان پرکننده و تاج جوش انجام می‌گیرد. با این روش لوله‌های با یک یا دو درز جوش طولی* مستقیم یا یک جوش حلزونی* تولید می‌شوند.

۳-۲-۳- جوش لیزری * L.W

با استفاده از روش جوشکاری پرتوهای اشعه لیزر لبه‌های طولی کلاف جوشکاری می‌شوند. این فرآیند با عملیات حرارتی قبل و بعد از جوش یا بدون عملیات حرارتی انجام می‌شود. حوضچه مذاب توسط گاز خنثی و یا مخلوطی از گازها محافظت می‌شود.

۳-۲-۴- جوش قوس الکتریکی با گاز محافظ * G.M.A.W

از قوس الکتریکی بوجود آمده بین الکترود پرکننده با بار الکتریکی مثبت و بدنه لوله با بار الکتریکی منفی حرارت زیادی تولید می‌شود. این حرارت باعث ذوب شدن الکترود و قسمتی از طرح محل اتصال می‌گردد. جوش حاصل از این فرآیند دو لبه طولی را به هم جوش می‌دهد. جریان گاز خنثی از قوس الکتریکی و حوضچه مذاب محافظت می‌کند.

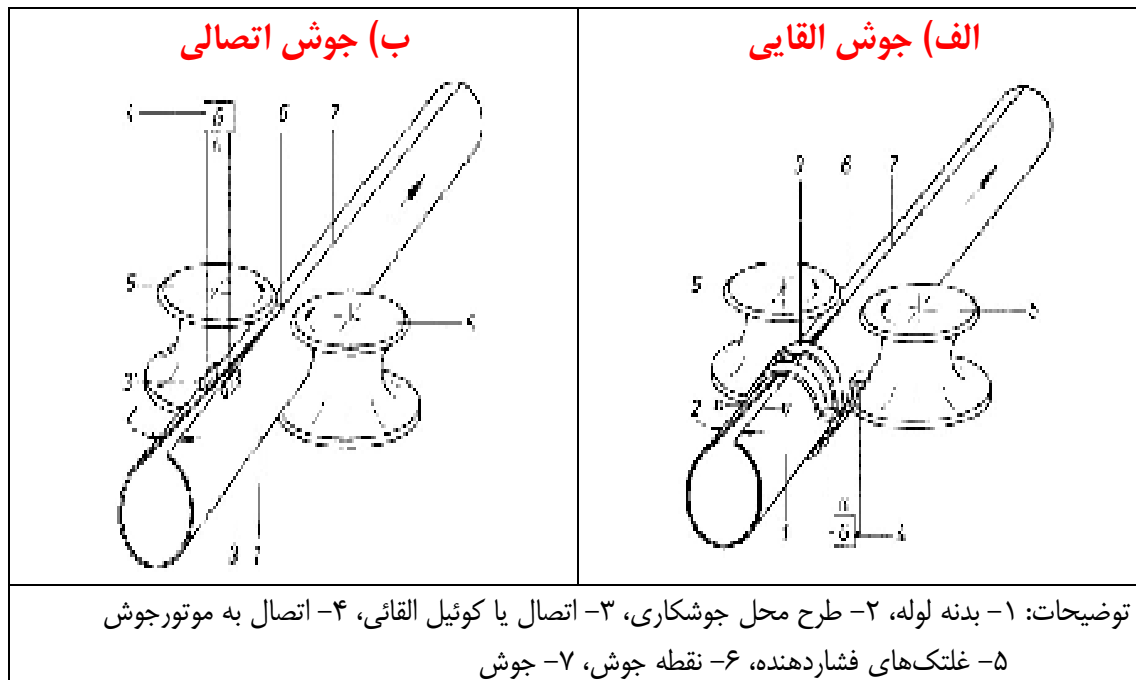
۵-۲-۳- جوش مقاومت الکتریکی * E.R.W

جوش مقاومت الکتریکی با هدایت جریان الکتریکی متناوب (AC) با فرکانس تعریف شده به بدنه لوله جریان الکتریسته متراکم می‌شود و لبه‌های طرح محل اتصال به حالت خمیری درمی‌آیند، در این حالت با فشار مکانیکی از دو طرف توسط غلتک‌ها لبه‌های ورق در همدیگر ادغام می‌شوند. زائده‌های جوش بیرونی و در قطره‌های متوسط و بالا جوش داخلی، توسط تیغه‌های مخصوص برداشته می‌شود. مواد اولیه ورق فولادی بصورت کلاف است.

این فرآیند بستگی به ضخامت لوله و درجه سطح تولید لوله‌ها با فرکانس بالا* (پیش از 70 KHZ) یا فرکانس پایین* (کمتر از 70 KHZ) انجام می‌گیرد.

فرکانس الکتریکی به روش القایی* یا تماسی* همانطوریکه در شکل شماره ۲-۳ نشان داده می‌شود به بدنه لوله انتقال می‌یابد.

اگرچه جوش القایی مصرف برق زیادی دارد ولی کیفیت آن بدلیل فاصله سیستم القاکننده با بدنه لوله و عدم تأثیر لرزش غلتک‌ها انتقال‌دهنده و فشاردهنده نسبت به جوش اتصالی بهتر است.



شکل ۲-۳ جوش مقاومت الکتریکی

۳-۳- لوله‌های کششی:

در بعضی از کارخانه‌ها لوله‌های با ابعاد بزرگتر به روش جوش مقاومت الکتریکی تولید می‌کنند که به آنها لوله‌های مادر گفته می‌شود. برای رساندن این لوله‌ها به قطر و ضخامت لازم در شرایط گرم یا سرد کشیده می‌شوند. لوله‌های کشش سرد در صنعت نفت و گاز کاربرد ندارند.

لوله‌های کشش گرم از کیفیت بهتری برخوردارند و بدلیل گرمای مجدد در حد دمای نورد سختی جوش و بدنه آنها یکسان می‌شود و درجه انعطاف‌پذیری آنها نیز بهتر می‌شود.

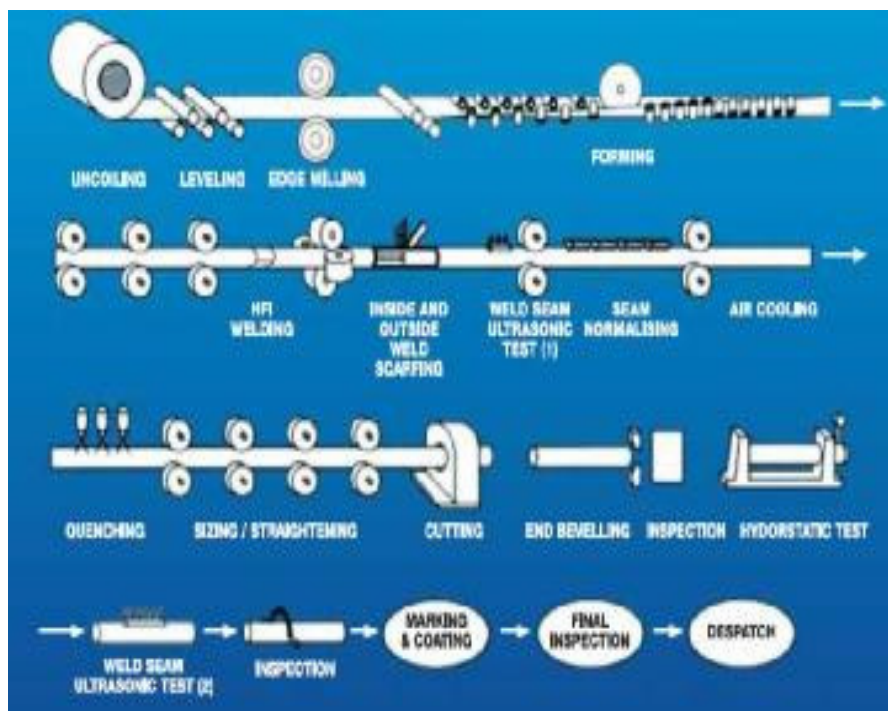
۴-۳- مراحل تولید لوله با جوش مقاومت الکتریکی:

مراحل تولید لوله با جوش مقاومت الکتریکی از کلاف فولادی مانند شکل ۳-۳ به شرح زیر

است:

قبل از عملیات تولید مشخصات نوشته شده روی کلاف، در فرمهای استاندارد ثبت و جهت

ردیابی گزارش می‌شوند.



شکل ۳-۳ شماتیک مراحل تولید لوله با جوش مقاومت الکتریکی

۱- بازکننده کلاف*

کلاف‌ها در کارخانه‌های نورد به حالت گرم جمع می‌شوند. در کارخانه‌های لوله‌سازی برای بازکردن آن نیاز به دستگاه خاصی است تا با اعمال نیرو آن را باز و به سمت خط تولید هدایت کند. چرخش کلاف توسط الکتروموتور و جک‌های فشاردهنده توسط نیروی هیدرولیک عمل می‌کنند.

۲- موج‌گیر*

عملیات موجگیر با اعمال نیروی هیدرولیک روی وزنه‌ای که عمود بر جهت حرکت نصب شده است، انجام می‌گیرد.

۳- برش لبه‌های طولی* و ایجاد طرح محل اتصال

ایجاد طرح محل اتصال از متغیرهای مهم جوشکاری است و نقش مهمی در کیفیت و کنترل محل حرارت دیده دارد. ایجاد طرح محل اتصال توسط برش لبه‌های طولی کلاف با قیچی یا براده‌برداری توسط فرز ماشین انجام می‌گیرد که کیفیت و صافی سطح این پخ و زاویه دقیق آن با استفاده از روش براده‌برداری بهتر و هدایت اضافات جوش به بیرون منطقه جوشکاری به راحتی انجام می‌گیرد.

۴- آزمایش لبه‌ها و بدنه لوله با امواج صوتی*

در کارخانه‌های نورد، کلاف‌ها در حالت گرم تولید و پیچیده می‌شوند. در این شرایط امکان آزمایش عیب‌یابی غیرمخرب به سادگی و دقت لازم امکان‌پذیر نیست. اگرچه مسئولیت کیفیت کلاف‌ها بعهد سازنده آن است ولی آزمایش کنترل کیفی آن توسط لوله‌ساز انجام می‌گیرد. باتوجه به اینکه اغلب عیوب درونی ورق‌های فولادی از نوع دو پوستگی است، این آزمایشات معمولاً به روش امواج صوتی و با پراپ ۹۰ درجه انجام می‌شود.

((اختیار ثانویه: در بعضی از خطوط تولید نصب دستگاه آزمایشگر قبل از شکل‌دهی ورق‌های فولادی امکان‌پذیر نیست و بدنه لوله تولید شده بعد از جوشکاری به همراه جوش طولی آزمایش می‌شود.

آزمایش در این مرحله به سازنده لوله و مصرف‌کننده آن، اطمینان خاطر می‌دهد که در عملیات تولید لوله آسیبی به بدنه وارد نشده است و یا عیوب قبلی گسترش پیدا نکردند ولی اثبات عیوب کشف شده به سازنده کلاف در صورتیکه مربوط به تولید کلاف باشند تا حدودی سخت می‌شود.))

۵- شکل‌دهی*

در این قسمت تعدادی غلتک از بیرون به تدریج ورق فولادی را از دو طرف جمع می‌کنند و تعدادی غلتک از داخل ورق را تحت فشار قرار می‌دهند. با تلفیق عملکرد این غلتکها ورق در هنگام حرکت شکل لوله به خود می‌گیرد.

۶- ایستگاه جوش مقاومت الکتریکی*

جوش مقاومت الکتریکی، با هدایت جریان الکتریکی به لوله لبه‌های آن به حالت بحرانی (بین ذوب و انجماد) درمی‌آیند، با فشار مکانیکی از دو طرف توسط غلتک‌ها لبه‌ها در همدیگر ادغام می‌شوند و درنهایت جوش طولی انجام می‌گیرد. زائده‌های جوش*، توسط تیغه‌های مخصوص برداشته می‌شود.

۷- عملیات حرارتی پس گرمی و تنش‌زدایی

نظر به اینکه حرارت زیادی ناشی از جوش درز طولی به روش مقاومت الکتریکی در مقطع باریکی از لوله اتفاق می‌افتد، در بعضی از فولادها فاز مارتنزیت تشکیل می‌شود. این شرایط، جوش را سخت و مستعد ترک می‌سازد. همچنین بین جوش و بدنه اختلاف سختی بوجود می‌آید. برای به حداقل رساندن این شرایط عملیات تنش‌زدایی با اعمال حرارتی بین ۷۵۰ تا ۹۰۰ درجه سانتیگراد انجام می‌گیرد.

این عملیات توسط گرمکن‌های الکتریکی بصورت موضعی روی جوش و اطراف آن انجام می‌گیرد.

در بعضی از کارخانه‌ها تمام لوله‌ها وارد کوره حرارتی می‌شوند و تنش‌زدایی کامل صورت می‌گیرد و سختی جوش و بدنه یکسان می‌شود و درجه انعطاف‌پذیری آنها نیز بهتر می‌شود.

۸- آزمایش کنترل کیفیت اولیه

این آزمایش توسط دوربین‌های مداربسته یا امواج صوتی یا روش‌های مناسب دیگری انجام می‌گیرد و وضعیت جوش را به واحد تولید گزارش می‌دهد تا قبل از تولید انبوه اشکالات احتمالی را برطرف کنند.

۹- برش طولی

برش لوله‌ها به طول‌های خواسته شده توسط اهر دوار در حین حرکت انجام می‌شود زیرا تولید لوله‌ها از یک کلاف و یا از کلاف‌هایی که قبل از شکل‌دهی بهم جوش می‌شوند بصورت پیوسته انجام می‌گیرد.

۱۰- بازرسی عینی اولیه و کنترل ابعاد

در این ایستگاه با نصب نورافکن‌های مناسب از نظر قدرت و محل استقرار، جوش طولی را از داخل و بیرون، بازرسی چشمی می‌کنند. همچنین ابعاد لوله‌ها بخصوص گردی دو سر لوله توسط ابزار مخصوص کنترل و در فرم‌های مربوطه گزارش می‌شوند. این گزارشات در کارخانه‌های استاندارد شده بعنوان اسناد بازرسی قابل ردیابی و دارای کد پیگیری می‌باشند. برش نمونه جهت آزمایشات مکانیکی و آنالیز شیمیایی* در این ایستگاه انجام می‌گیرد.

۱۱- آزمایش سطح کردن*

این آزمایش برای کنترل شکل‌پذیری و استحکام جوش، مقاومت الکتریکی در خط تولید انجام می‌گیرد. دو نمونه از لوله‌های اول و آخر و دو نمونه از لوله‌های وسط و دو نمونه از محل‌هایی که عملیات جوشکاری متوقف شده است، از هر کلاف بریده و جوش در حالت ۹۰ و صفر درجه نسبت به صفحات دستگاه تحت فشار قرار می‌گیرند.

۱۲- پخ زنی ابتدا و انتهای لوله‌ها

معمولاً دو سر لوله‌ها برای عملیات جوش محیطی بایستی آماده‌سازی شوند. قسمت ریشه جوش گونیا و عمود یا ۹۰ درجه و بقیه ضخامت با زاویه بین ۳۰ تا ۳۵ درجه پخ زده می‌شود. برای این کار ماشینهای پخ‌زن طوری طراحی شده‌اند که با حرکت چرخشی برش قسمت ریشه با یک تیغه و برش بقیه آن تحت زاویه با یک تیغه دیگر انجام گیرد.

۱۳- عملیات تکمیلی تولید لوله

عملیات تکمیلی تولید لوله شامل مراحل زیر است:
آزمایش با فشار آب، آزمایش عیب‌یابی غیرمخرب جوش، بازرسی عینی، کنترل ابعاد، توزین، متراژ، شماره‌گذاری و تحویل به انبار محصولات

۳-۵- جوش زیر پودری درز مستقیم* S.A.W.L

در این روش از تشکیل قوس الکتریکی در زیر پودر مخصوص جوشکاری بین الکترود و فلز پایه حرارت زیادی بوجود می‌آید، این حرارت باعث ذوب شدن الکترود، قسمتی از پودر جوشکاری و طرح محل اتصال می‌شود و نهایتاً یک جوش با برجستگی حدود سه میلیمتر و با استحکام بالا حاصل می‌شود. با این روش لوله‌هایی با یک یا دو درز جوش طولی مستقیم* یا یک جوش حلزونی تولید می‌شوند. درز طولی توسط جوش داخلی و بیرونی و بستگی به ضخامت لوله طی دو یا چند مرحله متوالی انجام می‌گیرد.

مرحل اول به منظور نفوذ بیشتر با برق مستقیم مثبت و بقیه مراحل با برق متناوب جوشکاری می‌شوند.

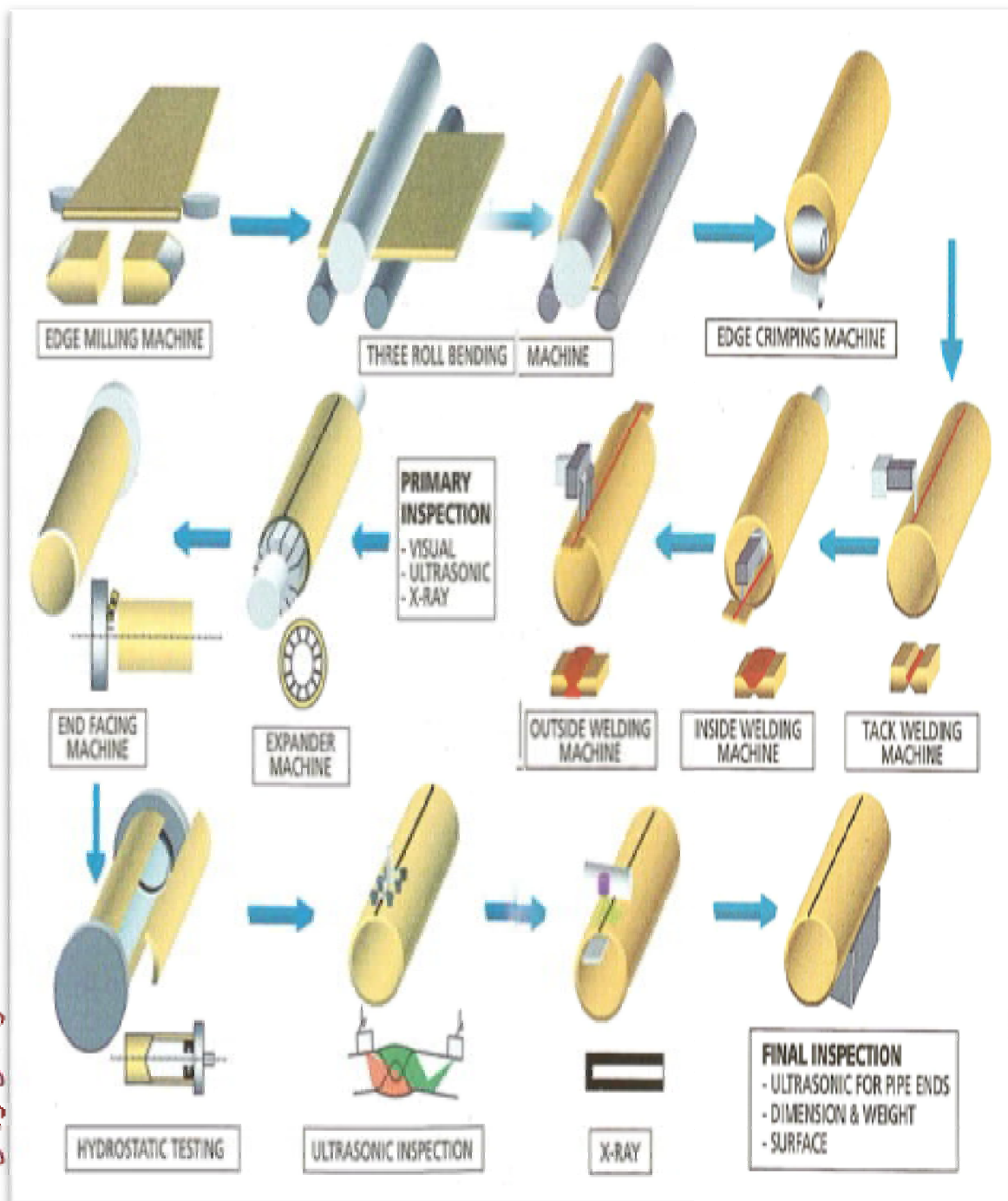


شکل ۳-۴ جوش زیر پودری، داخلی و بیرونی لوله

۳-۶- مراحل تولید لوله با جوش زیر پودری درز مستقیم:

مراحل تولید لوله با جوش زیر پودری درز مستقیم از ورق فولادی تخت، همانطوری که در

شکل ۳-۵ آمده به شرح زیر است:



شکل ۳-۵ شماتیک مراحل تولید لوله با جوش زیر پودری درز مستقیم

۱- ورودی ورق

انتقال ورق از انبارهای جانبی کارخانه به خط تولید توسط چرثقیل‌های سقفی مخصوص بدون استفاده از قلاب انجام می‌شود. این چرثقیل‌ها توسط موتورهای مکنده یا مغناطیسی که به سطح ورق نیرو اعمال می‌کنند ورق‌ها را جابجا می‌کنند.

۲- ثبت مشخصات پلیت

مشخصات نوشته شده توسط سازنده روی ورق، بایستی در فرم‌های استاندارد جهت ردیابی و بعنوان اسناد بازرسی، گزارش شوند.

۳- آماده‌سازی لبه‌ها (طرح محل اتصال جوش طولی)

ایجاد طرح محل اتصال برای جوش داخلی و خارجی از پارامترهای مهم جوشکاری است و در کیفیت جوش و کنترل منطقه حرارت دیده نقش بسزایی دارد. ایجاد طرح محل اتصال توسط برش لبه‌های طولی ورق با قیچی یا براده‌برداری توسط فرز ماشین انجام می‌گیرد که کیفیت و صافی سطح این پخ و زاویه دقیق آن با استفاده از روش براده‌برداری بهتر است.

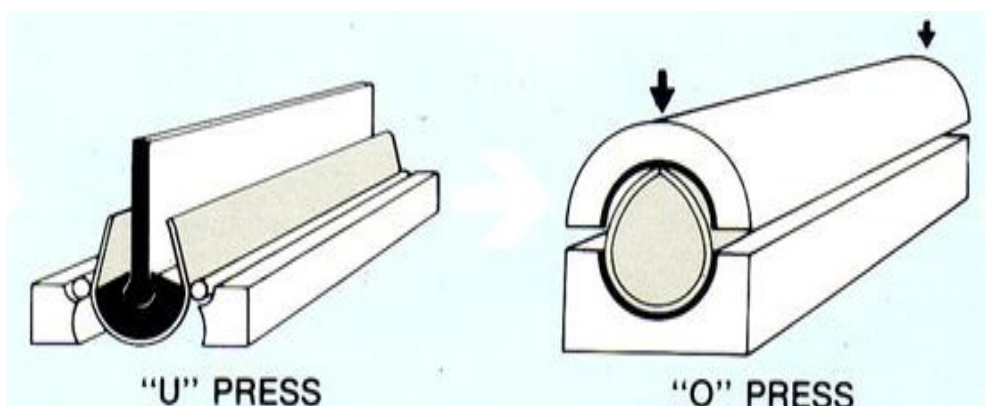
۴- شکل‌دهی ورق فولادی

شکل‌دهی به روش زیر انجام می‌گیرد:

الف - شکل‌دهی ورق فولادی به روش (U.O)

در این روش عملیات شکل‌دهی ورق تخت همانطوری که در شکل ۳-۶ مشاهده می‌شود، در دو مرحله انجام می‌گیرد. مرحله اول بعد از استقرار ورق در قالب با فشار جک‌های هیدرولیک عمود بر مرکز ورق، ورق را به شکل U در می‌آورد. در مرحله دوم پس از استقرار ورق در قالب نیم‌دایره پائین با فشار جک‌های هیدرولیک نیم‌دایره بالا ورق را فشرده و به شکل دایره کامل تبدیل می‌کند.

در این روش بدلیل اعمال فشار فراتر از استحکام تسلیمی در دو مرحله فوق و ثابت بودن ورق استحکام تسلیمی کاهش می‌یابد که در عملیات انبساط سرد جبران می‌گردد.



شکل ۶-۳ شکل‌دهی لوله به روش U.O

ب - روش شکل‌دهی ورق فولادی 3.R.B

عملیات شکل‌دهی ورق تخت به روش سه غلتک، همانطوری که در شکل ۷-۳ مشاهده می‌شود، غلتک وسطی در حین چرخش حول محور خود به داخل ورق فشار اعمال می‌کند، دو غلتک کناری نیز با حرکت چرخشی از بیرون به ورق فشار وارد می‌کنند و بتدریج ورق به شکل لوله تبدیل می‌گردد.

در این روش اگرچه فشار وارده شده به ورق فراتر از استحکام تسلیمی است، ولی نیروی اعمال شده به ورق در حالت ایستایی انجام نمی‌گیرد و سه غلتک فوق‌الذکر در حین چرخش حول محورهای خود عملیات شکل‌دهی را انجام می‌دهند، ورق نیز حرکت جابجایی دارد. به دلیل اعمال نیرو در حالت دینامیک کاهش استحکام تسلیمی ممکن است انجام نگیرد و یا به مقدار کمی نسبت به روش (U.O) اتفاق افتد.

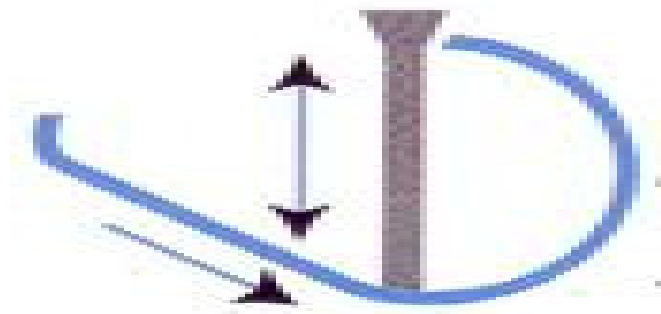


شکل ۷-۳ روش فرم‌دهی ورق فولادی 3.R.B

ج- شکل‌دهی ورق فولادی به روش G.C.O

در این روش عملیات شکل‌دهی ورق تخت همانطوری که در شکل ۸-۳ مشاهده می‌شود، در چند مرحله پرس انجام می‌گیرد. مرحله اول بعد از استقرار ورق در قالب خاص با فشار جک‌های هیدرولیک عمود بر ورق، ورق به شکل G و در مرحله دوم به شکل C و در مرحله آخر به شکل O کامل تبدیل می‌شود.

در این روش اعمال فشار فراتر از استحکام تسلیمی است ولی ورق حرکت جابجایی دارد و کاهش استحکام تسلیمی کمتری نسبت به روش (U.O) اتفاق می‌افتد.



شکل ۸-۳ روش فرم‌دهی ورق فولادی G.C.O

۵- تک‌بندی درز طولی

جوش نگهدارنده دو لبه طولی لوله با جوش قوس الکتریکی محافظت شده با گاز خنثی انجام می‌گیرد. این جوش در مراحل بعدی در جوش‌های اصلی ادغام می‌شود. این جوش بصورت پیوسته* یا منقطع* انجام می‌گیرد که نوع پیوسته آن از نظر کیفی بهتر است.

۶- جوشکاری زائده‌ها

جهت تنظیم شروع و خاتمه جوش به ابتدا و انتها درز طولی لوله از هر طرف یک تکه ورق که طرح محل اتصال آن مشابه لوله است جوشکاری می‌شود. بعد از خاتمه عملیات جوشکاری این تکه‌ها از لوله جداسازی می‌شوند. در بعضی کارخانه‌ها جوشکاری زائده‌ها در چهارگوشه ورق فولادی قبل از شکل‌دهی انجام می‌گیرد.

۷- بازرسی چشمی مقدماتی

به منظور اطمینان از کیفیت عملیات انجام شده تمام لوله‌ها از داخل و بیرون بازرسی چشمی می‌شوند.

۸- جوشکاری درز داخلی لوله با جوش زیر پودری

مطابق روش جوشکاری تعریف شده، درز طولی لوله از داخل با جوش قوس الکتریکی زیرپودری جوشکاری می‌شود. این عملیات در حالتی که لوله ثابت و دو سر آن مهار شده است، توسط یک مجموعه متحرک انجام می‌شود. این مجموعه شامل الکترودها و پودر جوشکاری و مکنده پودر اضافی می‌باشد.

بستگی به ضخامت لوله و مقدار نفوذ جوش بیرونی به داخلی و ارتفاع تاج جوش، جوشکاری با دو الکتروده یا بیشتر انجام می‌گیرد. جهت نفوذ بهتر، جریان برق اولین الکتروده مستقیم و مثبت است و بقیه الکترودها که حالت پرکننده دارند با جریان متناوب کار می‌کنند.

۹- جوشکاری درز خارجی لوله با جوش زیرپودری

مطابق روش جوشکاری تعریف شده، درز طولی بیرونی لوله با جوش قوس الکتریکی زیرپودری مانند جوشکاری درز داخلی انجام می‌شود. تفاوت آن با جوش داخلی، لوله حرکت انتقالی به جلو دارد و مجموعه تجهیزات جوشکاری ثابت است.

۱۰- بازرسی چشمی شماره یک

به منظور اطمینان از کیفیت ظاهری و ابعاد جوش و سایر عیوب قابل رؤیت با چشم، تمام لوله‌ها از داخل و بیرون بازرسی چشمی می‌شوند.

۱۱- پرتونگاری با اشعه ایکس شماره یک

جوش‌های تعمیر شده و محل‌هایی که توسط آزمایش امواج صوتی شماره یک علامت‌گذاری شده‌اند، در این ایستگاه مورد آزمایش پرتونگاری صنعتی قرار می‌گیرند و کارهایی از قبیل اندازه‌گیری ابعاد و نوع عیوب و اطمینان از تعمیرات جوش توسط مفسرین

مجبرب پرتونگاری گزارش می‌شوند. در تفسیر این فیلم‌ها مقایسه فیلم قبل و بعد از تعمیر ضروری است.

۱۲- تعمیرات جوش

تعمیرات جوش، مطابق روش جوشکاری تعریف شده توسط جوشکاران ماهر و کد بندی شده انجام می‌گیرد. بستگی به طول جوشی که نیاز به تعمیر دارد ممکن است عملیات جوشکاری توسط جوش زیرپودری انجام شود. شناسایی محل عیب و پاک کردن کامل آن بایستی با دقت انجام گیرد. برای این کار از آزمایشات ذرات مغناطیسی استفاده می‌شود. جوش‌های تعمیر شده نیز توسط آزمایش پرتونگاری کنترل می‌شوند. اکثر استانداردها تعمیر بعد از انبساط، در دو سر لوله، تعمیر دو بار روی یک منطقه و تعمیر با طول پیش از ۵٪ طول جوش لوله را قبول ندارند.

۱۳- بازرسی با امواج صوتی شماره یک:

بازرسی با امواج صوتی شماره یک، توسط مجموعه‌ای از پرابها با زوایای مختلف، به منظور کشف عیوب جوش قبل از عملیات انبساط سرد و آزمایش با فشار آب انجام می‌گیرد. شرح کامل بازرسی با امواج صوتی در بخش آزمایشات غیرمخرب درج گردیده است.

۱۴- انبساط سرد

جهت رسیدن به ابعاد لازم و گردی مناسب و جبران کاهش استحکام تسلیمی ناشی از عملیات شکل‌دهی، عملیات انبساط سرد انجام می‌گیرد. عملیات انبساط سرد مکمل روش شکل‌دهی U&O تلقی می‌گردد و آن را بنام U.O.E می‌شناسند. نیروی لازم برای انبساط سرد توسط فشار هیدرولیک تأمین می‌گردد. فشار وارده به درون لوله فراتر از تنش تسلیمی است و باعث تغییرات پایدار و افزایش قطر می‌گردد.

در روشهای (J.C.O) و (3.R.B) استحکام تسلیمی لوله تغییرات قابل توجهی نمی‌کند و عملیات انبساط سرد جهت رسیدن به ابعاد هندسی مناسب لوله انجام می‌گیرد. به همین منظور در استانداردهای ساخت لوله این عملیات را انبساط سرد و تنظیم ابعادی* می‌نامند.



شکل ۹ - ۳ انبساط سرد لوله

۱۵- اثرات بوشنگر در لوله‌های فولادی*

شکل‌دهی ورق فولادی و تبدیل آن به لوله، بطور کلی کار سرد همراه با فشار متمرکز روی فولاد تلقی می‌گردد و بستگی به جنس، ضخامت، قطرلوله، نوع قالب و روش ساخت، استحکام کششی تسلیم لوله کاهش می‌یابد. این تغییرات توسط یک دانشمند آلمانی بنام بوشنگر بررسی و به این نتیجه رسید که بعد از عملیات شکل‌دهی جهت جبران این کاهش و رساندن تنش تسلیمی به حد مطلوب عملیات انبساط سرد انجام می‌گیرد. در عملیات انبساط سرد شکست سرد کریستال در فولاد اتفاق می‌افتد و در نهایت تنش‌زدایی و دانه‌بندی ریز در آن حاصل می‌شود.

۱۶- عملیات تکمیلی تولید لوله

عملیات تکمیلی تولید لوله شامل مراحل زیر است:

آزمایش با فشار آب، بازرسی با امواج صوتی شماره دو، بازرسی چشمی شماره دو، برش نمونه‌های آزمایشگاهی، پخ‌زنی یا آماده‌سازی ابتدا و انتهای لوله‌ها برای جوش محیطی، بازرسی چشمی قبل نهایی، بازرسی با ذرات مغناطیسی، پرتونگاری ابتدا و انتهای لوله‌ها با اشعه ایکس، بازرسی نهایی و کنترل ابعاد و علائم، توزین و ثبت مشخصات در داخل لوله

۷-۳- جوش زیرپودری لوله‌های درز حلزونی / S.A.W.H

عملیات جوشکاری زیرپودری لوله‌های درز حلزونی مانند جوشکاری درز مستقیم است ولی درز آنها به صورت حلزونی با گامهای مساوی پیرامون لوله قرار دارند. تولید لوله به این روش اگر چه طول جوش بیشتری نسبت به جوش مستقیم دارد که نقطه ضعف تلقی می‌شود ولی دارای مزایای زیر است:

۱- مواد اولیه ورق فولادی بصورت کلاف است. کلافها در کارخانه‌های تولید ورق در حالت گرم جمع و بسته‌بندی می‌شوند و سرعت سرد شدن آنها نسبت به ورق تخت کندتر صورت می‌گیرد. در نتیجه دانه‌بندی و مقاومت به ضربه آنها کیفیت بهتری دارد.

۲- حمل و انبارداری کلاف‌ها نسبت به ورق تخت آسانتر است.

۳- با یک عرض با تغییر زاویه ورود ورق به دستگاه شکل‌دهنده، می‌توان تا حدودی لوله‌هایی با قطرهای پائین‌تر یا بالاتر تولید کرد.

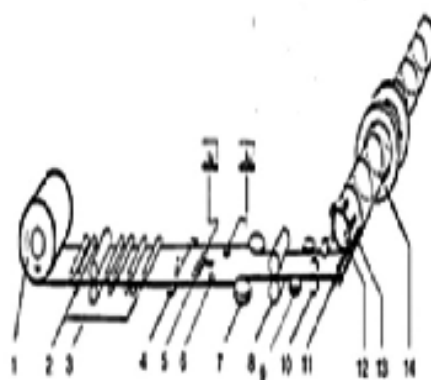
۴- عملیات جوشکاری درز داخلی و بیرونی لوله بصورت متوالی و به فاصله زمانی کم انجام می‌گیرد. این کار باعث بهبود کیفیت نهایی جوش بخصوص افزایش خاصیت شکل‌پذیری و مقاومت به ضربه می‌شود، زیرا جوش داخلی توسط جوش بیرونی پس‌گرم* و جوش بیرونی توسط جوش داخلی پیش‌گرم* می‌شوند.

۵- لوله‌های قطور به این روش تولید می‌شوند.

۶- از صرفه اقتصادی بهتری برخوردار هستند.

توضیحات:

۱- بازکننده کلاف ۲- موج‌گیر ۳- غلتکهای کششی
۴- جوشکاری انتهای کلاف به ابتدای کلاف جدید
(جوش عرضی) ۵ و ۶- آزمایش با امواج صوتی لبه‌ها
و بدنه لوله ۷ و ۹- برش لبه‌های طول و ایجاد طرح
محل اتصال ۸- غلتکهای کششی ۱۰- شکل‌دهی
لبه‌های طولی ۱۱- شکل‌دهی بدنه ۱۲- تک‌بندی با
جوش قوس الکتریکی محافظت شده با گاز خنثی
۱۳- نورد پرس ۱۴- برش لوله



شکل ۱۰-۳ شماتیک مراحل تولید لوله با درز جوش حلزونی

۸-۳- مراحل تولید لوله با جوش زیرپودری درز حلزونی S.A.W.H

مراحل تولید لوله با جوش زیرپودری حلزونی S.A.W.H به شرح زیر است:
قبل از عملیات تولید مشخصات نوشته شده روی کلاف، در فرم‌های استاندارد ثبت و جهت ردیابی گزارش می‌شوند.

۱- بازکننده کلاف

کلاف‌ها در کارخانه‌های نورد به حالت گرم جمع می‌شوند. در کارخانه‌های لوله‌سازی برای بازکردن آنها با اعمال نیرو در جهت عکس جمع کردن کلاف آن را باز و به سمت خط تولید هدایت کند.
چرخش کلاف توسط الکتروموتور و جک‌های فشاردهنده توسط نیروی هیدرولیک عمل می‌کنند.

۲- ثبت مشخصات کلاف‌ها

مشخصات نوشته شده و شماره تولید هر کلاف و شماره ذوب در فرم‌های استاندارد ثبت و جهت ردیابی بعنوان اسناد بازرسی گزارش می‌شوند.

۳- موج‌گیری

در هنگام حرکت ورق فولاد به سمت خط تولید با اعمال نیروی هیدرولیک روی وزنه‌هایی که عمود بر جهت حرکت ورق نصب شده‌اند عملیات موج‌گیری انجام می‌گیرد.

۴- آزمایش لبه و بدنه لوله با امواج صوتی

نظر به اینکه کلاف‌ها در حالت گرم جمع و بسته‌بندی می‌شوند امکان آزمایش عیب‌یابی غیرمخرب به سادگی و دقت لازم امکان‌پذیر نیست. اگرچه مسئولیت کیفیت کلاف‌ها بعهد سازنده آن است ولی آزمایش کنترل کیفی آن توسط لوله‌ساز انجام می‌گیرد.

اغلب عیوب درونی ورق‌های فولادی دو پوستگی است. این آزمایشات معمولاً به روش امواج صوتی و با پراپ ۹۰ درجه انجام می‌شود.

((اختیار ثانویه: در بعضی از خطوط تولید، نصب دستگاه آزمایشگر قبل از شکل‌دهی ورق‌های فولادی امکان‌پذیر نیست در این شرایط بدنه لوله تولید شده بعد از جوشکاری به همراه جوش طولی آزمایش می‌شود.

آزمایش در این مرحله به سازنده لوله و مصرف‌کننده آن اطمینان خاطر می‌دهد که در عملیات تولید لوله، آسیبی به بدنه آن وارد نشده است و یا عیوب قبلی گسترش پیدا نکردند ولی اثبات عیوب کشف شده به سازنده کلاف در صورتیکه مربوط به تولید کلاف باشند تا حدودی سخت می‌شود.))

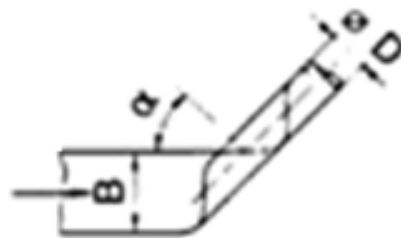
۵- برش لبه‌های طولی و ایجاد طرح محل اتصال

ایجاد طرح محل اتصال از متغیرهای مهم جوشکاری است و نقش مهمی در کیفیت و کنترل ناحیه حرارت‌دیده کنار جوش دارد. ایجاد طرح محل اتصال توسط برش لبه‌های طولی کلاف با قیچی یا براده‌برداری توسط فرز ماشین انجام می‌گیرد که کیفیت و صافی سطح این پخ و زاویه دقیق آن با استفاده از روش براده‌برداری بهتر است.

۶- شکل‌دهی

ورود ورق به ایستگاه شکل‌دهی تابع شکل ۱۱-۳ و فرمول زیر است. همچنین عرض ورق بایستی طوری انتخاب شود که طول جوش به حداقل برسد و جوش حداکثر در طولی معادل قطر لوله پیش از سه بار تکرار نشود.

$$\sin \alpha = \frac{B}{\pi \cdot D}$$



شکل ۱۱-۳ ورود ورق به ایستگاه شکل‌دهی

۷- تک‌بندی با جوش

دو لبه طولی ورق‌های فولادی با جوش قوس الکتریکی محافظت شده با گاز خنثی بعد از فرم‌دهی انجام می‌شود. از این جوش بعنوان مهارکننده لبه‌های طولی تا مراحل جوشکاری اصلی استفاده می‌شود. در بعضی از کارخانه‌ها این جوش بصورت پیوسته یا منقطع انجام می‌گیرد که نوع پیوسته آن از نظر کیفی بهتر است.

۸- برش لوله

برش لوله‌ها در حین حرکت انجام می‌شود زیرا تولید لوله‌ها از یک کلاف و یا از کلاف‌هایی که قبل از شکل‌دهی بهم جوش می‌شوند به صورت پیوسته انجام می‌گیرد. برش لوله به طول‌های استاندارد و رعایت حداکثر، حداقل و میانگین طول درخواست شده توسط متقاضی انجام می‌گیرد.

۹- جوش زیر پودری درز داخلی و بیرونی

عملیات جوشکاری داخلی و بیرونی درز لوله توسط جوش زیرپودری مطابق روش جوشکاری تأیید شده انجام می‌گیرد. حالت جوش ثابت و لوله حرکت چرخشی مارپیچ رو به جلو دارد.



شکل ۱۲-۳ عملیات جوشکاری داخلی و بیرونی درز لوله

۱۰- عملیات تکمیلی تولید لوله

عملیات تکمیلی تولید لوله شامل مراحل زیر است:

آزمایش با فشار آب، بازرسی با امواج صوتی، بازرسی چشمی، برش نمونه‌های آزمایشگاهی، پخ‌زنی ابتدا و انتهای لوله‌ها و آماده‌سازی جهت جوش محیطی، بازرسی چشمی نهایی، بازرسی با ذرات مغناطیسی، پرتونگاری ابتدا و انتهای لوله‌ها با اشعه ایکس، بازرسی نهایی و کنترل ابعاد و علائم، توزین و ثبت مشخصات در داخل لوله و تحویل به انبار محصولات.

*** جدول ۱-۳ واژگان فصل سوم ***

تعریف واژه	نام واژه
اثرات بوشینگر در لوله‌های فولادی	Bauschinger Effect in Steel Pipes
انبساط سرد و یکنواختی قطر	Cold sizing & Cold Expansion
آزمایش با امواج صوتی لبه‌ها و بدنه	U.T Edge & Body
آزمایش با فشار آب	Hydrostatic Test
آزمایش مسطح کردن	Flat Test
بازکننده کلاف	Uncoil
برش نمونه برای آزمایشات	Cutting Sample for Testing
پیوسته	Conduction
تزریق آب با فشار بالا	Jit water
ثبت گزارشات	Recording
جوش با فرکانس بالا	(H.F.W)High Frequency Welding
جوش با فرکانس پائین	Low Frequency Welding (L.F. W)
جوش پیوسته	Continuous Welding
جوش زیرپودری	Submerged Arc Welding
لوله‌های جوشی درز حلزونی	Helical Welded Pipe
جوش طولی	Seam Weld
جوش قوس الکتریکی با گاز خنثی	Gas Metal Arc Welding
جوش لیزر	Laser Welded
جوش مقاومت الکتریکی	Electric Resistant Weld (E.R.W)
جوش مقطع	Combination Welded
خط تولید لوله بدون درز	Mill (MSPM)
خط تولید لوله بدون درز	Multi Stand Plug
زائده جوش	Flash

Forming	شکل دهی
Edge Milling	شکل دهی لبه ها
Marking	علامت گذاری
Induction	القایی
S.A.W.H Pipe	لوله با جوش زیرپودری درز حلزونی
S.A.W.L Pipe	لوله با جوش زیرپودری درز مستقیم
Seamless	لوله بدون درز
Welded Pipe	لوله های جوشی
Intermittent	متناوب
Continuos Mandrel Rolling (CMR)	نورد پیوسته با سمبه
Cross Roll Precing & Pilger Rolling (CRP & PR)	نورد تلفقی متقاطع توپی و سنبه متحرک



فصل چهارم

عیوب ورق و لوله های فولادی



بخش اول

❖ عيوب ورق های فولادی و بدنه لوله



اهمیت شناخت به موقع عیوب

عیوب در لوله‌های فولادی، انتقال نفت و گاز به سه دسته اصلی زیر طبقه‌بندی می‌شوند:

الف - عیوب قابل قبول:

عیوبی هستند که محل، موقعیت، نوع و ابعاد آنها در حد رواداری* مورد قبول استاندارد مربوطه می‌باشند.

این عیوب اگر به سطح راه دارند با سنگ زدن جزئی پرداخت می‌شوند و عیوب زیر سطحی بدون تعمیر قابل قبول تلقی می‌شوند.

ب - عیوب قابل تعمیر:

این عیوب محل، موقعیت، نوع و ابعادی فراتر از حد رواداری استاندارد دارند. این عیوب طبق روش‌های تأیید شده قابل تعمیر و بازرسی مجدد می‌باشند.

ج- عیوب غیر قابل تعمیر:

این عیوب بدلیل موقعیت و خطرات بعدی که دارند، استاندارد تعمیر آنها را مجاز نمی‌داند و بایستی محل‌های معیوب بریده شده یا تمام طول لوله مردود گردد.

بدیهی است بعلت عدم دقت، ابزار کار غیراستاندارد، روشهای بازرسی نامناسب و بکارگیری بازرسان آموزش ندیده و بدون تجربه ممکن است به موقع عیوب را شناسایی نکنند که عواقب آن خطرات جانی و مالی جبران‌ناپذیری خواهد داشت. همچنین توقف‌های ناخواسته در روند انتقال نفت یا گاز و هزینه‌های نگهداری و تعمیرات، افزایش و عمر مفید خطوط لوله را کاهش می‌دهد.

عیوب و نواقص لوله‌های فولادی به دو گروه تقسیم می‌شوند که تعریف مختصر و شکل هر کدام از آنها به شرح زیر است:

الف) عیوب بدنه

ب) عیوب جوش طولی

۱-۴- تعاریف عیوب ورق‌های فولادی و بدنه لوله‌ها

۱- ترک

ترک یا شکستگی عیبی است که باعث جدایش در فلز می‌شود. ترک‌ها با افزایش تنش، گستردگی یا پیشروی یا شکستگی کامل در فلز ایجاد می‌کنند. ترک‌ها از خطرناک‌ترین عیوب در فولاد تلقی می‌شوند زیرا با حداقل تنش گسترده می‌شوند. اکثر استانداردها ترک در بدنه لوله‌ها با هر طولی را بعنوان عیب جدی و غیرقابل قبول می‌دانند. ترک‌ها با توجه به جهت آنها؛ طولی یا عرضی، همچنین با توجه به زمان وقوع آنها ترک‌های گرم یا سرد گفته می‌شوند.



شکل ۱-۴ ترک در بدنه

۲- ناخالصی‌ها*

مواد فلزی غیر فولادی یا غیر فلزی پراکنده یا متصل به هم که در هنگام انجماد در درون فولاد حبس شده باشند. این مواد به دلیل اختلاف در وزن مخصوص، نقطه ذوب، نقطه انجماد، میزان واکنش به انقباض و انبساط و تنش‌های لرزشی با فولاد پایه هماهنگ عمل نمی‌کنند و در نهایت موجب ضعف و بروز ترک می‌شوند.



شکل ۲-۴ ناخالصی‌ها

۳- دو پوستگی بدون ناخالصی

یک جدایش داخلی بصورت لایه‌ای موازی با سطح لوله است که به دلیل محبوس شدن گازها در زمان ریخته‌گری بوجود می‌آیند و در عملیات نورد گسترده‌تری پیدا می‌کند. معمولاً در درون این جدایش هوا باقی می‌ماند.



شکل ۳-۴ دو پوستگی بر اثر محبوس شدن هوا

۴- دو پوستگی همراه با ناخالصی*

بعضی از ناخالصی‌ها در هنگام ریخته‌گری قبل از انجماد کامل فولاد منجمد می‌شوند و بصورت تجمعی از ناخالصی باقی می‌مانند. در هنگام نورد در مرکز ضخامت ورق گسترده می‌شوند و منجر به جدایش بین لایه‌های فولاد می‌شود. اصطلاحاً به آن Segregation می‌گویند.



شکل ۴-۴ دو پوستگی بر اثر تجمع ذرات ناخالصی

۵- دو پوستگی سطحی*

دو لایه نازک و بلند است که تحت زاویه از درون به سطح متصل شده است. این عیب در فلز نورد شده از یک طرف به فلز پایه چسبیده و طرف دیگر آن حالت جدایش دارد و به صورت مورب و تحت زاویه با فلز اصلی اتصال دارند، به عبارتی دوپوستگی‌هایی که با سطح فلز موازی نیستند.



شکل ۵-۴ دو پوستگی سطحی

۶- محل‌های برجسته*

بر اثر انبساط گاز در حفره‌های درونی دیواره لوله ایجاد می‌شوند. این محلها نسبت به سطح لوله دارای برجستگی هستند.



شکل ۶-۴ برجستگی روی بدنه

۷- کندگی*

شیارهای طولی که به دلیل برخورد اشیا نوک تیز با بدنه لوله کندگی ایجاد می‌کنند و باعث کنده شدن قسمتی از فلز پایه می‌شوند. به این عیب خراشیدگی* نیز گفته می‌شود.



شکل ۷-۴ کندی

۸- حفره*

در هنگام نورد مواد خارجی غیر فلزی به سطح فولاد وارد می‌شوند. با جدا شدن آنها حفره ایجاد می‌شود. بر اثر تماس لوله با مواد خورنده* نیز در سطوح داخلی یا خارجی لوله حفره بوجود می‌آید.



شکل ۸-۴ حفره

۹- چروک شدن*

چروک یا جمع شدن لایه‌های بیرونی ورق‌های فولادی، غیر یکنواختی در سطحی است که بدلیل نورد غیر مناسب بوجود می‌آید.



شکل ۹-۴ چروک خوردن بدنه لوله

۱۰- تاشدگی*

لایه‌ای چروک شده از فلز که برخلاف جهت نورد یا کارهای دیگر چین خورده و در مجاورت سطح اصلی فلز قرار گرفته ولی ادغام صحیح با سطح اصلی ندارد.



شکل ۱۰-۴ تاشدگی

۱۱- اثرات نورد

به عیوب سطحی اطلاق می‌شود که در اثر اصطکاک یا آسیب‌های سطحی غلتک‌های نورد یا قرار گرفتن قطعات فلزی بین غلتک و بدنه لوله بوجود می‌آیند. این عیوب حالت فرورفتگی به صورت فشردگی ایجاد می‌کنند و ممکن است پیوسته یا منقطع باشند.

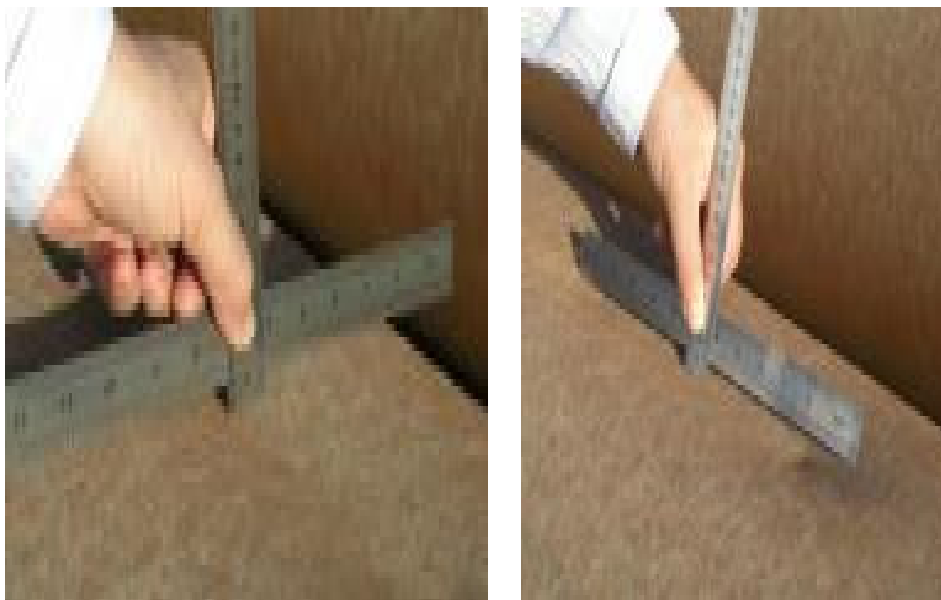


شکل ۱۱-۴ اثرات نورد

۱۲- فرورفتگی*

فرورفتگی یا تغییر موضعی قوسی شکل در یکنواختی سطح بیرونی لوله است که بوسیله ضربه یا فشار مکانیکی ایجاد می‌شود ولی باعث کندگی یا کم شدن ضخامت پایه نمی‌شود. در سطح بیرونی لوله به صورت فرورفتگی و در سطح داخل به صورت برجستگی در جهت طول یا محیط لوله ایجاد می‌شود.

نحوه محاسبه آن همانطور که در شکل ۱۲-۴ قابل ملاحظه است توسط دو خط‌کش فلزی عمود بر هم عمیق‌ترین محل اندازه‌گیری می‌شود. بستگی به سطح فرورفتگی مقدار پذیرش آن متغیر است. اگر تیز باشد حد رواداری کمتری دارد ولی اگر انحنای داشته باشد، حد رواداری آن بیشتر است. مثلاً در استاندارد API 5L برای فرورفتگی تیز حداکثر عمق ۳.۲ میلیمتر و برای قوسی شکل دو برابر این مقدار درج شده است.



شکل ۱۲-۴ اندازه‌گیری فرورفتگی

۱۳- نقاط سخت*

منطقه‌ای با میزان سختی سطحی بالاتر از نواحی اطراف خود می‌باشد که معمولاً بر اثر کارهای سرد یا لهیدگی بوجود می‌آید. شکل آن نسبت به ناحیه مجاور تیره‌تر است. بررسی آن با آزمایش سختی‌سنجی منطقه سخت شده و مقایسه آن با مناطق سالم انجام می‌شود.



شکل ۱۳ - ۴ نقاط سخت شده

۱۴- سوختگی‌های قوس الکتریکی*

نقاط ذوب شده سطحی که بوسیله قوس الکتریکی بین الکترود یا اتصال زمین و سطح لوله ایجاد می‌شود. در محل‌هایی که سوختگی بوجود آید باعث متلاشی شدن بدنه لوله شده و نقاط ضعف محسوب می‌شوند. برای بررسی عمق نفوذ آن از مالش اسید رقیق با رعایت اصول ایمنی به محل‌های مذکور استفاده می‌شود. محل‌های سوخته نسبت به اطراف خود تیره‌تر ظاهر می‌شوند.



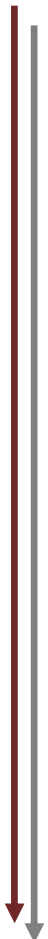
شکل ۱۴ - ۴ سوختگی‌های قوس الکتریکی

بخش دوم

❖ عیوب جوش لوله های فولادی

❖ عیوب جوش زیرپودری

❖ عیوب جوش مقاومت الکتریکه



۲-۴- عیوب جوش زیرپودری*

۱- ارتفاع زیاد جوش*

برجستگی جوش نسبت به سطح اصلی لوله را تاج یا ارتفاع جوش می‌گویند. این برجستگی اگر چه در عملیات پوشش لوله‌ها برای حفاظت از زنگ مشکلاتی ایجاد می‌کند ولی تا ارتفاع معینی بعنوان تقویت‌کننده ضعف جوش و جبران پایین بودن مقاومت کششی الکتروود نسبت به بدنه ضروری است. ولی بیشتر از مقدار استاندارد، عیب تلقی می‌شود که بایستی با عملیات سنگ‌زنی از ارتفاع آن کاسته شود.

اندازه‌گیری تاج جوش توسط ابزاری بنام سنجش ابعاد و زوایای جوش انجام می‌شود.



شکل ۱۵-۴ اندازه‌گیری ارتفاع جوش

۲- ذوب ناقص*

عدم ذوب و ادغام کامل قسمت‌هایی از فلز پایه به جوش و یا عدم ذوب لایه‌های جوش با همدیگر ذوب ناقص گفته می‌شود.

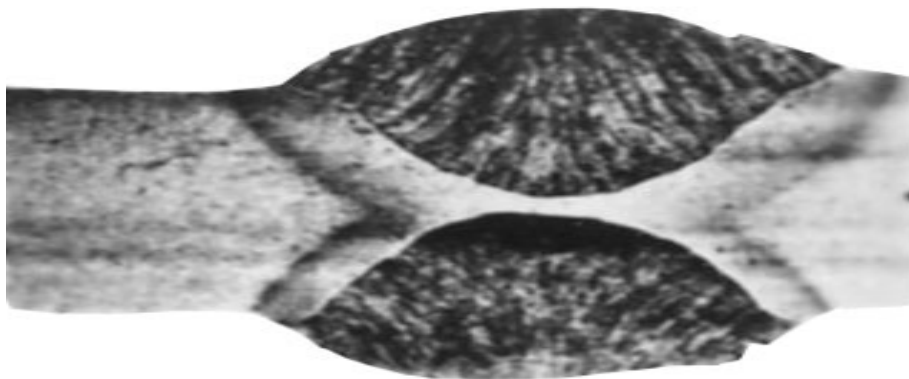
استانداردهای ساخت لوله حد رواداری برای این عیب تعریف نکردند.



شکل ۱۶-۴ ذوب ناقص بین فلز پایه و جوش

۳- نفوذ ناقص*

اگر جوش در تمام ضخامت محل اتصال نفوذ نکند و قسمتی از ریشه یا محل تلاقی جوش داخلی و بیرونی، خالی از جوش بماند، به این عیب عدم نفوذ کامل جوش در ریشه گفته می‌شود.



شکل ۱۷ - ۴ نفوذ ناقص بین جوش بیرونی و داخلی

۴- میزان نبودن لبه‌های پلیت*

عدم تراز یا نامیزانی و در یک خط نبودن لبه‌های پلیت در محل جوش، میزان نبودن لبه‌ها گفته می‌شود. اندازه‌گیری این عیب با شابلون‌های مخصوص و فیلیر انجام می‌گیرد.



شکل ۱۸ - ۴ عدم تراز لبه‌های جوش

۵- بریدگی کنار جوش*

بریدگی کنار جوش، فرورفتگی‌های قوسی شکل در ناحیه متأثر از گرما* یا در محل اتصال جوش به بدنه که با جوش پر نشده باشند. بریدگی کنار جوش بستگی به ضخامت و استاندارد مربوطه از نظر طول و عمق به شرح زیر طبقه‌بندی می‌شود.

الف) کم‌عمق؛ که معمولاً با سنگ‌زنی و پرداختکاری برطرف می‌شوند.

ب) عمق متوسط؛ بعد از سنگ‌زنی نیاز به تعمیر با روش جوشکاری تایید شده دارند.

ج) عیوب با عمق زیاد؛ با رعایت رواداری طول باقی مانده لوله از محل عیب بریده می‌شود، در غیر این صورت لوله بطور کلی مردود می‌گردد.



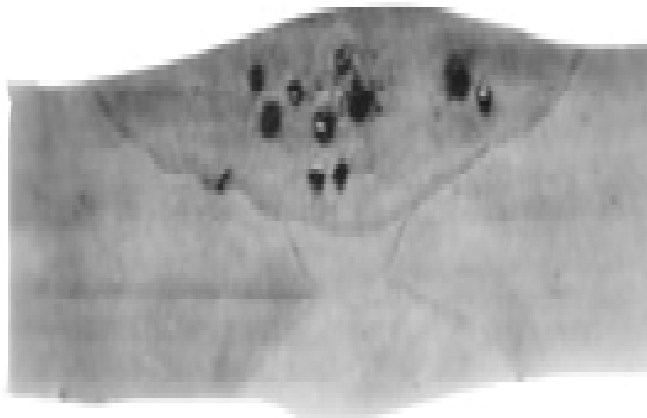
شکل ۱۹-۴ بریدگی کنار جوش

۶- حفره‌های گازی یا خلل و فرج*

باقی ماندن هوای محیط یا گازهای همراه عملیات جوشکاری در محل‌های خالی از فلز جوش که معمولاً بر اثر انقباض در هنگام انجماد جوش در زیر لایه جوش حبس می‌شوند. این گازها ممکن است به سطح بیرونی جوش راه یابند و به صورت حفره در سطح جوش دیده شوند.

این عیوب به شکل کروی یا استوانه‌ای بصورت تکی یا تجمعی از حفره‌های گاز ظاهر می‌شوند. بستگی به قطر، عمق، تعداد و فاصله آنها از همدیگر و استاندارد مربوطه قابل قبول یا

با روش جوشکاری تایید شده تعمیر می‌شوند و سپس با روش بازرسی مناسب مورد ارزیابی قرار می‌گیرند.



شکل ۲۰-۴ حفره گازی در جوش

۷- ناخالصی‌های حبس شده*

مواد جامد غیر فلزی و فلزی غیر فولادی که در جوش یا بین جوش و فلز پایه حبس شده باشند، ناخالصی در جوش گفته می‌شوند. این ناخالصی‌ها از عدم دقت در تمیزکاری بین پاسها و محل اتصال، رطوب در پودر جوشکاری یا ناخالصی‌های فولاد پایه بوجود می‌آیند. اغلب ناخالصی‌ها در صورت داشتن ابعاد فراتر از استاندارد با شکافتن جوش و محو آنها با عملیات سنگ‌زنی، با جوش مجدد تعمیر می‌شوند.



شکل ۲۱-۴ ناخالصی در جوش

۸- ترک در ناحیه جوش*

ترک یا شکستگی که در منطقه جوش و یا در ناحیه متأثر از گرما ایجاد می‌شود. ترک‌ها خطرات بیشتری نسبت به عیوب دیگر دارند زیرا با افزایش کمی تنش، موجب گسترده‌گی یا پیشروی یا شکستگی کامل در جوش می‌شوند.

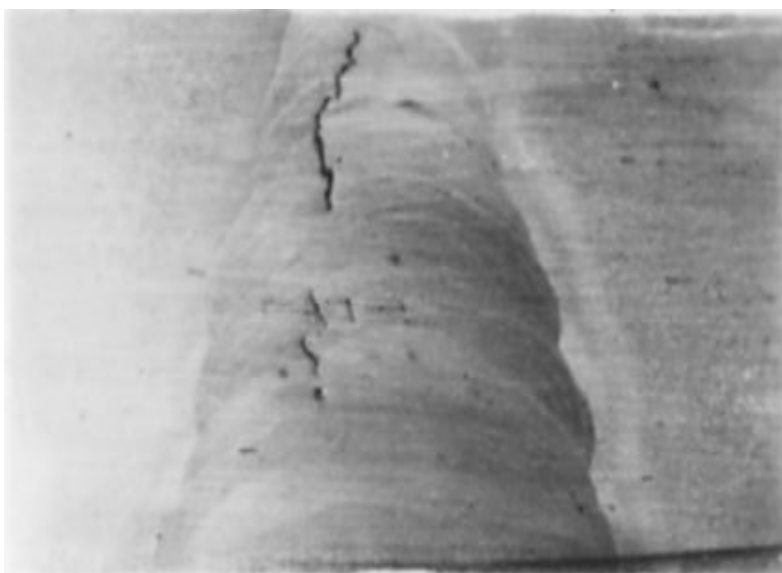
ترک‌ها با توجه به جهت نوک ترک و زمان شکستگی با نام‌های زیر گفته می‌شوند:

الف) ترک‌های طولی به ترک‌هایی گفته می‌شود که جهت آنها در امتداد جوش باشد.

ب) ترک‌های عرضی به ترک‌هایی گفته می‌شود که جهت آنها در جهت عرض جوش باشد.

ج) ترک‌های گرم به ترک‌هایی گفته می‌شود که قبل از پائین آمدن دمای جوش بوجود می‌آیند.

د) ترک‌های سرد به ترک‌هایی گفته می‌شود که بعد از پائین آمدن دمای جوش بوجود می‌آیند.

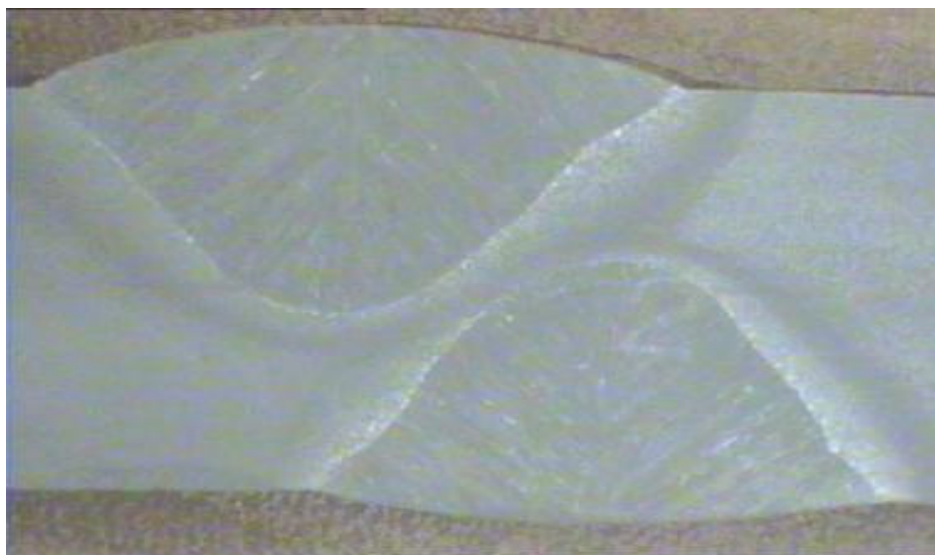


شکل ۲۲ - ۴ ترک در جوش

۹- انحراف خط جوش*

حالتی که خط مرکزی جوش داخلی و خارجی در یک راستا نیستند و ریشه آنها که بایستی در هم نفوذ کنند از همدیگر منحرف می‌شوند. این حالت ممکن است موجب نفوذ ناقص نیز شود. این عیب در صورتی که انحراف زیادی نداشته باشد و جوش داخلی با جوش بیرونی در همدیگر نفوذ کرده باشند بدون تعمیر قابل قبول می‌گردد.

نحوه بررسی آن اگر در ابتدا یا انتهای لوله باشد؛ با رعایت ایمنی، مقداری اسید رقیق جهت نمایان شدن این عیب به محل تلاقی جوش داخلی به بیرونی مالش داده می‌شود، سپس مقدار انحراف اندازه‌گیری می‌شود. در غیر این صورت با اندازه‌گیری فاصله مراکز جوش داخلی و بیرونی روی فیلم پرتونگاری مقدار انحراف محاسبه می‌شود.



شکل ۲۳ - ۴ انحراف جوش

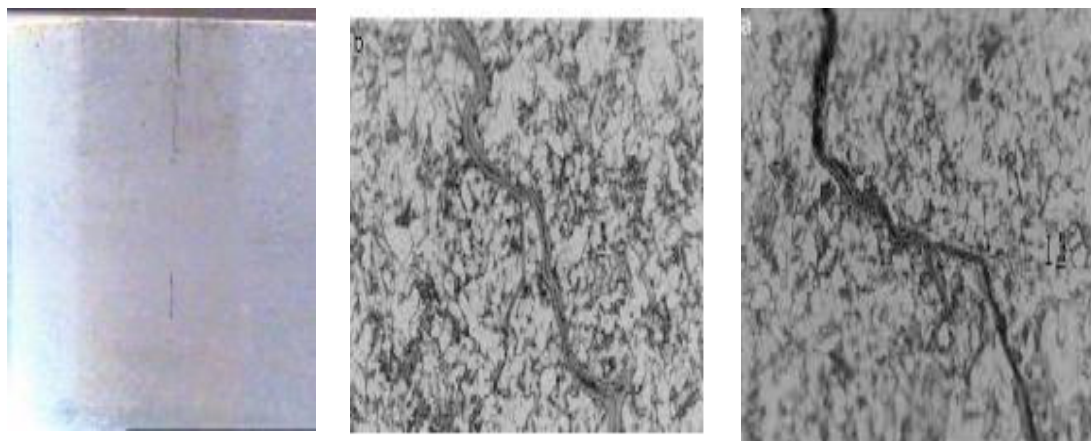
۳-۴- عیوب جوش مقاومت الکتریکی

۱- ترک در ناحیه جوش

ترک یا شکستگی در جوش مقاومت الکتریکی؛ اگر تنش‌های موضعی از مقاومت تسلیم بیشتر شوند، ترک در جوش یا منطقه حرارت دیده بوجود می‌آید. همچنین تنش‌های باقیمانده و هیدروژن که در جوش نفوذ کرده باشند از عوامل ایجاد ترک به حساب می‌آیند. انواع ترک‌ها شامل: طولی؛ که جهت آنها در امتداد جوش، عرضی؛ که جهت آنها در عرض جوش، گرم و سرد می‌باشند.

ترک گرم در هنگام انجماد، شکل می‌گیرد. ترک سرد بعد از آنکه انجماد شروع می‌شود. ترک‌های سرد که ترک‌های تأخیری نیز گفته می‌شوند با باقی ماندن هیدروژن در جوش ارتباط مستقیم دارند. ترک‌های گرم در مرزدانه‌ها ولی ترک‌های سرد در میان‌دانه‌ها یا مرزدانه‌ها اتفاق می‌افتند.

ترک‌ها یا شکستگی‌ها از خطرناک‌ترین عیوب در جوش تلقی می‌شوند زیرا با حداقل تنش گسترده می‌شوند.



شکل ۲۴- ۴ ترک در جوش مقاومت الکتریکی

۲- ترک‌های قلبی شکل *

ترک‌های قلبی شکل؛ در درون جوش دارای انحنا و شبیه قلاب ماهیگیری هستند. این ترک‌ها بعلت عیوب طرح محل اتصال و یا نفوذ ناخالصی‌های کلاف به جوش بوجود می‌آیند.

همچنین تجمع گوگرد در مرکز ضخامت ورق‌های فولادی و راهیابی آن به منطقه جوش یا بصورت سولفید آهن از عوامل بوجود آوردن این عیب می‌باشند.

ترک‌های قلابی از عیوب خطرناک و جدی در جوش مقاومت الکتریکی تلقی می‌شوند.



شکل ۲۹ - ۴ ترک‌های قلابی شکل

۳- جوش سرد*

جوش سرد، شبیه ذوب ناقص در جوش‌های ذوبی است و در اثر ناکافی بودن حرارت و یا فشار غلتک‌های جانبی، دو لبه ورق در هم ادغام نمی‌شوند. اگر چه دو لبه ورق به همدیگر می‌رسند و فضای خالی در میان آنها باقی نمی‌ماند ولی جوش از استحکام کافی برخوردار نمی‌باشد. این عیب همانطور که در شکل ۲۴-۴ قابل ملاحظه است، ممکن است باعث جدایش دو لبه از مرکز جوش شود.

وجود ناخالصی یا نوسانات برق و نامیزانی غلتک‌ها و لبه‌های ورق، همچنین وجود پلیسه که خود باعث ایجاد جرقه خارج از محل جوش و قبل از موعد* می‌گردد، از عوامل بوجود آورنده این عیب می‌باشند.

این عیب در صورتیکه جدایش کامل ایجاد نکند دلیل نبود فضای خالی بین دو لبه شناسایی آن با دستگاه‌های عیب‌یاب غیرمخرب امکان‌پذیر نیست و فقط با آزمایش فشار آب با دقت کافی مشخص می‌شود.



شکل ۲۴-۴ جوش سرد

۴- شیار عمیق*

در جوش مقاومت الکتریکی بعد از عملیات جوشکاری، فشار غلتک‌های جانبی اضافات جوش را به سطح بیرونی و داخلی جوش هدایت می‌کنند. این اضافات توسط تیغه‌های مخصوص از جوش اصلی برداشته می‌شوند. اگر این تیغه‌ها تنظیم نباشند، برش بیش از حد از جوش اصلی، ایجاد شیار می‌کند. به طوریکه ضخامت آن منطقه از ضخامت واقعی لوله کمتر می‌شود. اگر انتهای این عیب حالت تیز باشد ممکن است تبدیل به ترک شود و خطرات جدی ایجاد کند.

روش محاسبه عمق شیار؛ با اندازه‌گیری اختلاف عمیق‌ترین منطقه شیار با ضخامت بدنه اطراف آن و مراجعه به جدول حدود رواداری استاندارد صورت می‌گیرد.



شکل ۲۵-۴ شیار در مرکز جوش

۵- برداشت ناقص زائده‌های جوش*

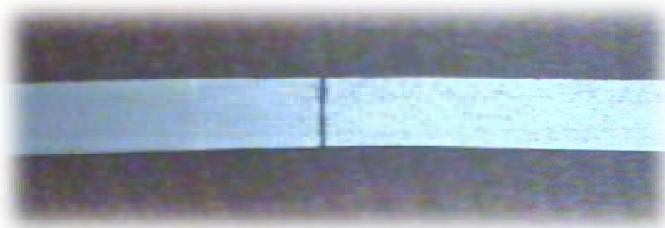
اگر اضافات جوش توسط تیغه‌های مخصوص از جوش اصلی برداشته نشوند و ارتفاع جوش از حد معین شده در استاندارد مربوطه فراتر باشد، برداشت ناقص زائده جوش اتفاق می‌افتاد و در عملیات بعدی خطوط لوله، زائده‌های جوش بیرونی در عایقکاری و زائده‌های جوش داخلی در پیگیرانی مشکلاتی ایجاد می‌کنند. در لوله‌های قطر پائین که امکان برداشت زائده جوش داخلی وجود ندارد با طراحی صحیح محل اتصال قسمت عمده زائده‌ها به سطح بیرونی جوش هدایت و برداشته می‌شوند و مقدار کمی که در سطح داخلی جوش باقی می‌ماند بایستی صاف و یکنواخت باشد و از آن بعنوان تقویت کننده جوش استفاده می‌شود.



شکل ۲۶-۴ برداشت ناقص زائده جوش

۶- سوراخ ریز

در مرکز جوش دو لبه در هم ادغام نشده و سوراخ راه بدر تمام ضخامت را در بر می‌گیرد به طوریکه موجب نشتی می‌گردد.



شکل ۲۷-۴ سوراخ

۷- پیچیدگی انقباضی*

تغییرات متناوب و منظم در خواص جوش است که به دلیل نوسانات در حرارت القایی رخ می‌دهد. این تغییرات در مقطع شکست جوش به حالت تیره و روشن دیده می‌شوند.



شکل ۲۸-۴ پیچیدگی انقباضی

۸- اثرات اتصال

در روش جوشکاری مقاومت الکتریکی که فرکانس الکتریکی به روش تماسی به بدنه لوله منتقل می‌شود، در اثر تماس بین الکترود حامل الکتریسته جوشکاری و سطح لوله ممکن است اثرات متناوبی مجاور خط جوش ایجاد شوند. این عیوب در پروسه جوشکاری که انتقال الکتریسته به روش القایی انجام می‌شود، بوجود نمی‌آیند.

۴-۴- عیوب ابعادی

اضافه بر عیوب بدنه و جوش، عیوب ابعادی در مراحل تولید، انبارداری، بارگیری، حمل و نقل و تخلیه نیز در لوله‌های فولادی بوجود می‌آیند. این عیوب گاهی باعث عدم استفاده از لوله و یا برش قسمتی از آن و تأخیر در اجرای عملیات خطوط لوله می‌شوند.

عیوب ابعادی شامل: اضافه یا کم بودن قطر، ضخامت، طول، عدم گردی، عدم راستایی و گونیا نبودن دو سر لوله‌ها است که بایستی مطابق استانداردهای مربوط و با ابزار مناسب کنترل شوند.



شکل ۳۰-۴ کنترل گردی

جدول ۱-۴ واژگان فصل چهارم

نام واژه	تعریف واژه
Roll Mark	اثرات نورد
Excessive Reinforcement	ارتفاع زیاد تقویت کننده
Segregation	تجمع ناخالصی در مرکز ورق های فولادی
Crack	ترک
Hook Cracks	ترک های قلابی شکل
Cold weld	جوش سرد
Upset Wrinkles	چروک خورده در جهت عکس
Pit	حفره
Scratch	خراشیدگی
Corrosion	خوردگی
Out of Line Weld Bead	در یک راستا نبودن ریشه های جوش داخلی و بیرونی
Offset of Plate Edges	در یک راستا نبودن لبه های ورق فولادی
Blister	دو پوستگی سطحی
Sliver	دوپوستگی مورب که به سطح راه دارد
Tolerance	رواداری
Lap	روی هم افتادگی
Arc Burns	سوختگی قوس الکتریکی
Pinhole	سوراخ
Gouge	شکاف
Excessive Trim	شیار عمیق ناشی از برداشت زائده جوش
Inadequate Flash Trim	عدم برش کافی زائده جوش
Imperfections and Defects	عدم پیوستگی و عیوب
Incomplete Penetration	عدم نفوذ کامل
Contact Marks	علائم اتصال
Under Cut	عیب بریدگی کنار جوش

نام واژه	تعریف واژه
Dent	فرورفتگی
Pre Arcing	قوس الکتریکی قبل از موعد
Porosity	گاز محبس شده در جوش یا فولاد
Weld Area Crack	منطقه ترک در جوش
Inclusion	ناخالصی
Slag Inclusion	ناخالصی در جوش یا ورق‌های فولادی
Hard Spot	نقاط سخت شده

فصل پنجم

بازرسه فنه، آزمایشات غیرمخرب

لوله‌های فولادی

آزمایشات غیرمخرب

آزمایشات غیرمخرب بدون تخریب قطعات صنعتی انجام می‌شوند و ساختار و عیوب درونی را نشان می‌دهند. مبنای اساسی آزمایش‌ها استفاده از خواص فیزیکی خاص بعضی از عناصر و تلفیق آنها با خواص دیگر است.

امروزه این آزمایش‌ها در مقیاس وسیعی مورد استفاده قرار می‌گیرند و باعث افزایش ایمنی و بکارگیری حداکثر ظرفیت‌ها می‌شوند. بدیهی است بکارگیری این آزمایشات مستلزم دانش و تبحر ویژه و آموزش کافی می‌باشد.

تاریخچه این آزمایش‌ها به زمان‌های قبل از میلاد برمی‌گردد، مخترعین این آزمایش‌ها دانشمندانی چون ارشمیدس، کوری، رتنگن، دکتر فوستر، فران هافر و... هستند که با زحمات و نبوغ خود خدمات شایانی به بشریت نمودند.

این آزمایش‌ها تنوع و روشهای متعددی دارند که هر کدام آنها مستلزم نوشتن دستورالعمل* و مشخص نمودن استاندارد مربوطه و حدود رواداری هر کدام از عیوب است. در این کتاب آزمایش‌هایی که با صنعت لوله‌سازی ارتباط دارند به صورت مختصر شرح داده می‌شود.

۱-۵- روش‌های اجرایی بازرسی فنی

الف- اصطلاحات روش‌های اجرایی بازرسی فنی و میزان حضور بازرسان در ایستگاه‌های

مختلف خط تولید لوله به شرح ذیل است:

- ۱- Hold Point ((H)): در این روش کلیه آزمایشات بایستی در حضور بازرس انجام گیرد.
- ۲- Witness Point ((W)): در این روش محل و زمان آزمایشات را به اطلاع بازرس جهت نظارت می‌رسانند، در صورت عدم حضور ایشان آزمایشات صورت می‌گیرد.
- ۳- Monitoring ((M)): در این روش کلیه آزمایشات بدون حضور بازرس انجام می‌گیرد ولی حق نظارت در هر زمان برای ایشان محفوظ است.
- ۴- Review Document ((R.D)): به منظور اطمینان از صحت کارها تمامی اسناد و گزارشات مورد بررسی قرار می‌گیرد.
- ۵- بعضی از شرکت‌ها برای اصطلاحات فوق تعاریف خاصی ارائه می‌دهند و یا موارد دیگری به آنها اضافه می‌کنند.

ب- طرح کنترل کیفیت*:

روش‌هایی به نام طرح کنترل کیفیت از سوی کارخانه‌های تولید لوله به کارفرما ارائه می‌گردد. این روش‌ها جهت اطمینان از رعایت استانداردهای مربوطه، توافقات، دستورالعمل‌ها و میزان حضور بازرسان خریدار و بازرسان کارخانه تدوین می‌شوند و قبل از تولید به تأیید کارفرما می‌رسند. نمونه‌ای از طرح کنترل کیفیت پیشنهادی شرکت مهندسی و توسعه گاز ایران پیوست این فصل گردیده است.

ج- کنترل کیفیت روز اول تولید:

به منظور تأیید دستورالعمل‌های کارخانه در روز اول تولید، بازرسان خریدار یا نمایندگان آنها در تمام مراحل تولید و آزمایشات حضور دارند و از میان لوله‌های تولیدی همان روز تعدادی از لوله‌ها را بعنوان نمونه انتخاب و مطابق مشخصات فنی توافق شده آزمایشات لازم روی آنها انجام می‌گیرد. در صورت رسیدن به نتایج مطلوب، تولید انبوه شروع می‌گردد.

۲-۵- بازرسی عینی و کنترل ابعاد*

الف - بازرسی عینی:

بازرسی عینی یا چشمی مهمترین روش بازرسی غیرمخرب است. در واقع کمک گرفتن از روش‌های دیگر بازرسی و ارزیابی قطعات صنعتی به دلیل محدودیت دید و حایل شدن اشیاء کدر بین دید و عیوب است. در صورت مهیا شدن شرایط، بازرسی چشمی و تلفیق آن با روش‌های دیگر می‌تواند کمک شایانی در تصمیم‌گیری نهایی بکند. این بازرسی بستگی به نحوه تولید یا مونتاژ کردن قطعات صنعتی در سه مرحله زیر انجام می‌شود:

قبل از ساخت، در زمان ساخت و بعد از ساخت

برای مثال در بازرسی جوش قبل از عملیات جوشکاری، هنگام عملیات جوشکاری و بعد از خاتمه جوشکاری مراحل زیر کنترل و در فرم‌های مربوطه گزارش می‌شوند.

(۱) قبل از جوشکاری: روش جوشکاری، ابعاد محل اتصال، تمیز کردن محل اتصال و اطراف آن، عملیات حرارتی، جریان برق، گواهینامه جوشکاران، الکترودها و نحوه نگهداری آنها کنترل می‌شوند.

(۲) هنگام جوشکاری: سرعت جوشکاری، شدت و مقدار جریان برق، تمیزکاری بین پاس‌ها و رعایت زمان بین پاس‌ها کنترل و ثبت می‌شوند.

(۳) بعد از جوشکاری: شکل ظاهری جوش، سرعت سرد شدن، عملیات حرارتی، درج علائم و شماره‌گذاری کنترل و ثبت می‌شوند.

ب- کنترل ابعاد :

کنترل ابعاد و رعایت حدود رواداری عیوب از اهمیت خاصی برخوردار است. بدیهی است اگر ابعاد قطعات در حد خواسته شده و قابل اصلاح نباشند و یا استاندارد مربوطه اجازه تعمیر ندهد، قطعه مذکور بعنوان قطعه معیوب کنار گذاشته می‌شود. برای کنترل ابعاد در اختیار داشتن ابزار کار مناسب و کنترل شده توسط مراجع معتبر الزامی است. همچنین تسلط بازرس به تبدیل یکاها ضروری است.

ج- روش‌های بازرسی:

استانداردهای مختلف برای بازرسی چشمی و کنترل ابعاد روش‌های گوناگونی ارائه می‌کنند که بستگی به نوع کار و شرایط آن روش یا قسمت‌هایی از یک روش و یا تلفیقی از چند روش اعمال می‌شود ولی به طور کلی تمام روش‌ها حداقل شامل موارد زیر می‌باشند که هر کدام شامل اجزاء مختلف دیگری نیز می‌باشند.

- (۱) تجربه و مدارک فنی و علمی بازرس و توانمندی او
- (۲) محل و شرایط کاری
- (۳) ابزار کار و دستگاه‌های اندازه‌گیری، نوع و اعتبار لوازم کالیبراسیون و نحوه کار با آنها
- (۴) استاندارد مرجع و حدود رواداری
- (۵) شرح عملیات بازرسی
- (۶) گزارش و تنظیم فرم‌های مربوطه
- (۷) علامت‌گذاری قطعات بازرسی شده (این علائم بایستی قابل ردیابی باشند).

۳-۵- آزمایش جوش طولی با امواج ماوراء صوت*

این آزمایش در کارخانه‌های تولید لوله از اهمیت خاصی برخوردار است زیرا بدنه و جوش لوله‌ها به این روش آزمایش می‌شوند. روش‌های دیگر مانند پرتونگاری صنعتی، ذرات مغناطیسی، جریان گردابی و ... بعنوان مکمل این آزمایش و یا بدلیل محدودیت‌های فنی در بکارگیری آزمایشات ماوراء صوتی از آنها استفاده می‌شوند. در این آزمایشات، از اصطلاحات زیر استفاده می‌شود که توضیحات مختصری در مورد هر کدام ارائه می‌شود.

الف- آزمایش با امواج صوتی:

اگر به یک کریستال پیزوالکتریک یا ذره یا مولکولی شوک الکتریکی وارد شود، ارتعاش حاصل می‌شود. انرژی ارتعاشی از ذره به ذره مجاور به صورت موج صوتی انتشار می‌یابد. به مجموعه عملیات؛ نفوذ امواج صوتی در مواد و برگشت آنها، تبدیل ارتعاشات صوتی به پالس‌های الکتریکی و بررسی فنی پالس‌ها، آزمایش با امواج صوتی گفته می‌شود. کارشناسان این حرفه با این آزمایش به ساختار درونی، ضخامت، عدم پیوستگی، عیوب و سختی قطعات پی می‌برند.

ب- فرکانس :

تعداد حرکات سینوسی امواج در واحد زمان را فرکانس می‌گویند. واحد آن بنام فیزیکدان آلمانی قرن نوزدهم هنریش رادولف هرتز، هرتز (Hz) نامگذاری شده است. یک هرتز برابر است با یک چرخه در هر ثانیه. سرعت امواج ماوراء صوت تابع فرمول زیر است:

$$F = \frac{1}{T} \lambda = \frac{C}{F}$$

λ = طول موج (mm)

C = سرعت km/sec

F = فرکانس MHZ

I = پریود

T = زمان به ثانیه

حدود فرکانس قابل شنوایی گوش انسان بین ۱۶ HT تا ۲۰ KHT است. بالاتر از آن ماوراءصوت و کمتر از آن مادون صوت* تعریف می‌شود.

ج- پالس*:

مجموعه‌ای از امواج کوتاه که تحت اثر انرژی الکتریکی متناوب در واحد زمان به شکل یک دسته موج صوتی تکرار می‌گردند پالس گفته می‌شود. فاصله بین نقطه شروع و نقطه مشابه را عرض پالس گویند.

د- مواد پیزوالکتریک یا کریستال‌ها:

مواد پیزوالکتریک، موادی هستند که بر اثر شوک الکتریکی به لرزه درمی‌آیند و انرژی الکتریکی را به انرژی مکانیکی تبدیل می‌کنند و بر اثر لرزش‌ها یا انرژی مکانیکی شارژ می‌شوند و انرژی الکتریکی تولید می‌کنند. از این خاصیت برای تولید امواج و دریافت امواج برگشتی و تبدیل آنها به پالس‌های الکتریکی در آزمایش با امواج صوتی استفاده می‌شود. کریستال‌های پیزوالکتریک به حالت طبیعی یافت می‌شوند و بصورت مصنوعی نیز تولید می‌شوند. انواع کریستال‌ها شامل موارد زیر است:

۱- کوارتز: $3(\text{SiO}_2)$ به صورت طبیعی

۲- تیتانات باریم: BaTiO_2 به صورت مصنوعی

۳- تیتانات زیر کونیت سرب: $\text{Pb}(\text{TiZr})\text{O}_3$ به صورت مصنوعی

۴- متانوبیت سرب: $\text{Pb Nb}_2 \text{O}_6$ به صورت مصنوعی

ه- پروب:

محفظه‌ای مخصوص نگهداری از کریستال تحت موقعیت و زاویه معین و رابط‌ها را پروب می‌گویند.

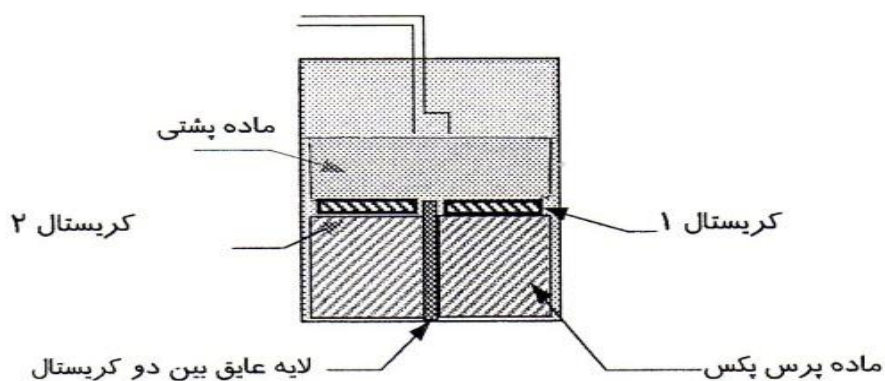
انواع پروبها از نظر زاویه به شرح زیر است:

۱- پروب ۹۰ درجه تک کریستاله*



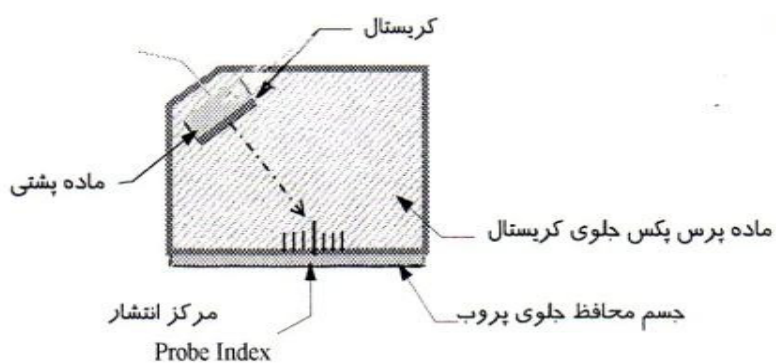
شکل ۱-۵ پروب ۹۰ درجه تک کریستال

۲- پروب ۹۰ درجه دو کریستاله*



شکل ۲-۵ پروب ۹۰ درجه دو کریستال

۳- پروبهای زاویه‌ای* شامل زاویه‌های ۳۰، ۴۵، ۶۰ و ۷۰ درجه است.



شکل ۳-۵ پروب زاویه‌دار

و- مشخصات نوشته شده روی پروب‌ها:

مشخصات نوشته شده روی پروب‌ها از نظر فنی معنی خاصی به شرح زیر دارند:
مثال: پروب زوایه‌ای دو کریستاله کوچک، ۴۵ درجه ۲ مگاهرتز از جنس تیتانات باریم.

SE M W B 45 N 2

SE = دو کریستال

M = کوچک

W = زاویه‌دار

B = جنس کریستال تیتانیت باریم

45 = زاویه پراب

N = شماره سری ساخت

عدد 2 = فرکانس آن به (MHz)

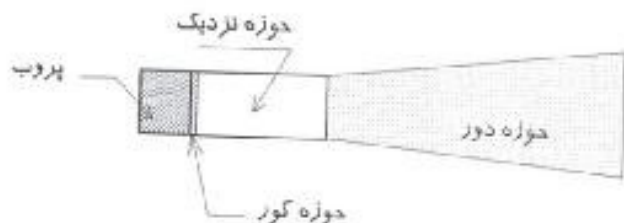
س- حوزه‌های صوتی :

امواج ماوراء صوت در انتشار از پروب سه حوزه به ترتیب زیر دارند:

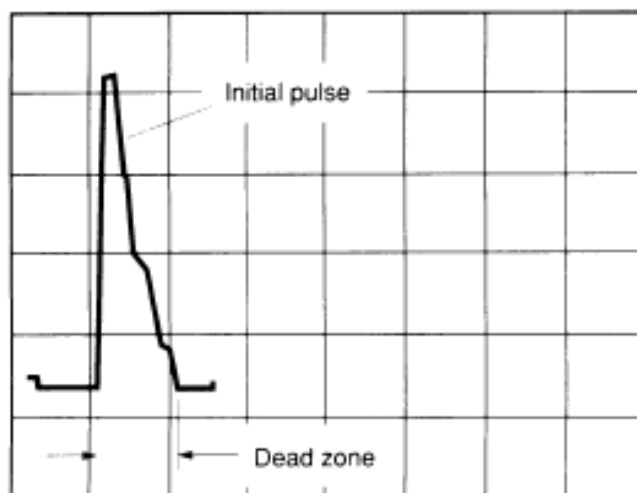
ناحیه مرده یا کور*: این حوزه شامل حوزه کوچکی است و در ابتدای انتشار امواج قرار دارد. این حوزه در آزمایش با امواج صوتی کاربرد ندارد و بعنوان نقطه ضعف این آزمایش تلقی می‌شود.

ناحیه نزدیک*: در این ناحیه از شدت تراکم امواج کاسته می‌شود و به حالت آرام حرکت می‌کنند. این امواج به صورت موازی انتشار می‌یابند. از این ناحیه برای ضخامت‌سنجی قطعات فلزی و کشف عیوب دوپوستگی در ورق‌های فولادی استفاده می‌شود.

ناحیه دور*: امواج پس از عبور از ناحیه نزدیک آرامتر شده و از فشارهای صوتی منظم کاسته می‌شود و سیر صعودی و نزولی به علت باز شدن در فضای طیف روی می‌هد. از این ناحیه برای تشخیص عیوب استفاده می‌شود. (شکل شماره ۴-۵ و ۵-۵)



شکل ۴-۵ حوزه‌های صوتی پروپ

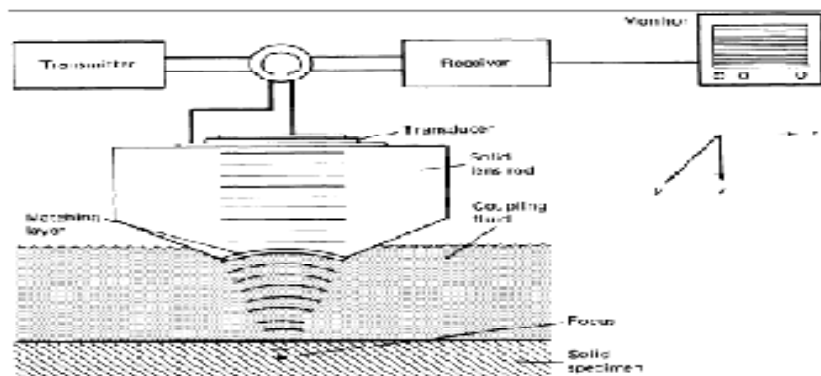


شکل ۵-۵ پالس حوزه‌های صوتی

ح- عوامل و فاکتورهای اساسی

آزمایش با امواج صوتی متکی به تولید ارتعاش ذرات و انتقال انرژی جنبشی از ذره‌ای به ذره دیگر و برگشت آنها است. این انتشار و برگشت آن به عواملی نظیر مقاومت ظاهری قطعات مورد آزمایش، شدت صوت، فرکانس، اتلاف انرژی صوتی، شکل هندسی عیوب و فاکتورهای مربوط به انتشار، انتقال، انعکاس، انکسار و واکنش‌های امواج و برگشت آنها ارتباط دارد.

۱- **مقاومت ظاهری***: امواج ماوراء صوت (امواج مکانیکی) با طول موج معینی در مواد با خواص الاستیکی انتشار می‌یابند. سرعت انتشار به فاکتورهایی نظیر وزن مخصوص، حالت فیزیک ماده (جامد- مایع- گاز) و خواص الاستیکی ماده بستگی دارد. عوامل فوق را مقاومت ظاهری گویند.



شکل ۵-۶ شماتیک ارتعاش

۲- **نفوذ و انعکاس امواج**: انتقال امواج ماوراء صوت از یک ماده به ماده دیگر به دو حالت زیر تقسیم می‌شود:

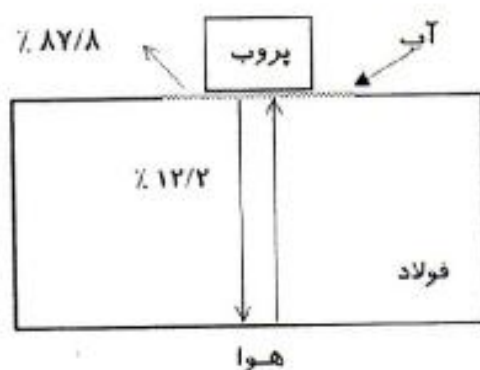
۱-۲) به درصدی از امواج که از مرز بین دو ماده غیر همجنس عبور نموده و در ماده دوم انتشار می‌یابند امواج نفوذی گفته می‌شود.

۲-۲) به درصدی از امواج که در مرز بین دو ماده غیر همجنس نفوذ نمی‌کنند و تحت زاویه‌ای منعکس شوند امواج انعکاسی یافته گفته می‌شود.

نکته: چون مقاومت ظاهری هوا در مقابل عبور امواج ماوراء صوت در حد صفر است امواج ماوراء صوت در هوا منتشر نمی‌شوند. برای از بین بردن هوا بین قطعه مورد آزمایش و پروب از آب یا روغن یا گریس یا ... به عنوان رابط و تخلیه‌دهنده هوا استفاده می‌شود ولی به دلیل تفاوت مقاومت ظاهری، واکنش‌های انعکاسی، انکسار و نفوذ حاصل به شرح زیر حاصل می‌شود:

از ۱۰۰٪ امواج اولیه در برخورد با آب کمتر از ۱۵٪ امواج در فولاد نفوذ کرده و بقیه آنها منعکس شده همین فرآیند در برگشت امواج از فولاد به آب فقط ۱/۵٪ آن به پروب بر می‌گردد. (شکل شماره ۷-۴)

$$R = 100 - 12.2 = 87.8 \% \quad \text{در صد امواج منعکس شده}$$



شکل ۵-۷ درصد برگشت امواج

شدت صوت: به مقدار انرژی مکانیکی (لرزشی) برگشت شده به سمت کریستال گیرنده که به انرژی الکتریکی تبدیل می‌گردد شدت صوت می‌گویند.

ط - روش‌های آزمایش با امواج صوتی :

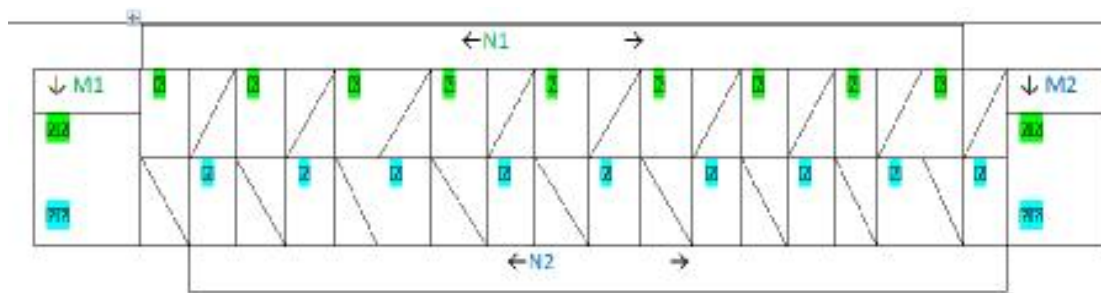
۱- **روش پالس اکو***: کریستال پس از دریافت شوک الکتریکی به ارتعاش درمی‌آید و امواج ماوراءصوت پس از عبور از رابط و ضخامت قطعه مورد نظر برگشت می‌شوند و در زمان سکون بین پالس‌ها کریستال را مرتعش می‌نماید و شارژ الکتریکی متناسب با شدت موج تولید می‌گردد که پس از تقویت آن به صورت پالس و یا عددی در صفحه نمایش نمایان خواهد شد. هرگاه امواج در مسیر خود با یک عدم پیوستگی برخورد نمایند، قسمتی از آنها قبل از طی کامل ضخامت برگشت می‌شوند و پالس جداگانه مربوط به این عدم پیوستگی تولید می‌کنند که بعنوان علامت عیب بررسی می‌شود. در این سیستم پالس‌های واکنش امواج در دو بُعد طولی و عمودی دیده می‌شوند که امواج طولی زمان طی شده و امواج عمودی شدت و دامنه واکنش را نشان می‌دهد. از این روش برای عیب‌یابی جوش استفاده می‌شود.

۲- **روش زمان سنجی*:** در این روش مدت زمان ورود امواج به قطعه تا لحظه برخورد با عیوب یا سطح پشت قطعه توسط ساعت الکترونیکی دستگاه محاسبه می‌شود و زمان طی شده به صورت نمادی از ضخامت و یا پالس نشان داده می‌شود. از این روش برای عیب‌یابی ورق‌های فولادی و ضخامت‌سنجی استفاده می‌شود.

ی- آزمایش با امواج صوتی در کارخانه‌های تولید لوله

۱- آزمایش ورق‌های فولادی با امواج صوتی:

ورق‌های فولادی قبل از شکل‌دهی و تبدیل به لوله توسط حداقل چهار مجموعه از پروب‌های ۹۰ درجه (نرمال پروب) به روش پالس اکو یا زمان‌سنجی، آزمایش می‌شوند. همانطوری که در شماتیک شماره ۵-۸ نشان می‌دهد پروب‌های ردیف‌های دوم نقاط کور ردیف‌های اول را پوشش می‌دهند.



شکل شماره ۵-۸ شماتیک چیدمان پروب‌ها برای آزمایش ورق‌های فولادی تخت

توضیحات:

- الف- بدنه، توسط پروب‌های ردیف اول (N1) و پروب‌های ردیف دوم (N2) آزمایش می‌شود.
- ب- لبه‌ها، دو طرف به فاصله تقریبی ۵۰ میلیمتر از هر طرف توسط ۴ پروب M1 و M2 آزمایش می‌شوند.
- تعداد پروب‌های N1 و N2 بستگی به عرض ورق‌های فولادی و درصد عرض مورد آزمایش دارند.

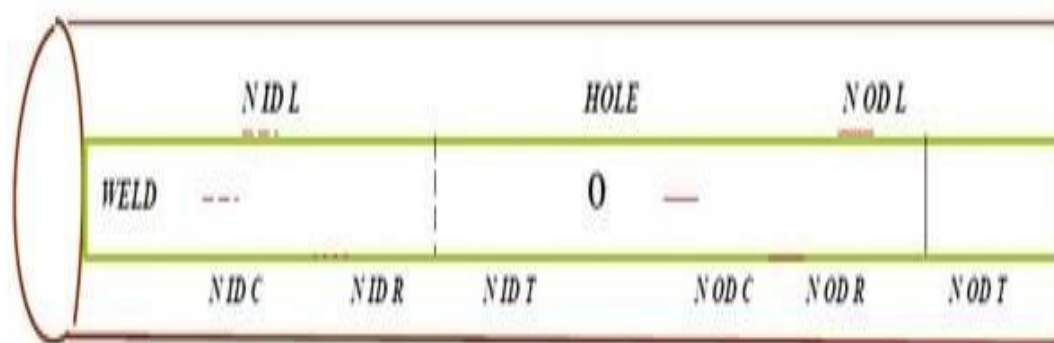
۲- آزمایش بدنه لوله‌ها با امواج صوتی:

در بعضی از کارخانه‌های نورد گرم، ورق‌های فولادی به صورت کلاف تولید می‌شوند. آزمایش بدلیل دمای بالای ورق‌های فولادی در کارخانه نورد امکان‌پذیر نیست. این آزمایش در ابتدای کارخانه تولید لوله قبل از شکل‌دهی انجام می‌گیرد و یا بدنه لوله تولید شده بعد از جوشکاری به همراه جوش طولی آزمایش می‌شود.

۳- کنترل کیفیت جوش طولی لوله‌ها با امواج صوتی:

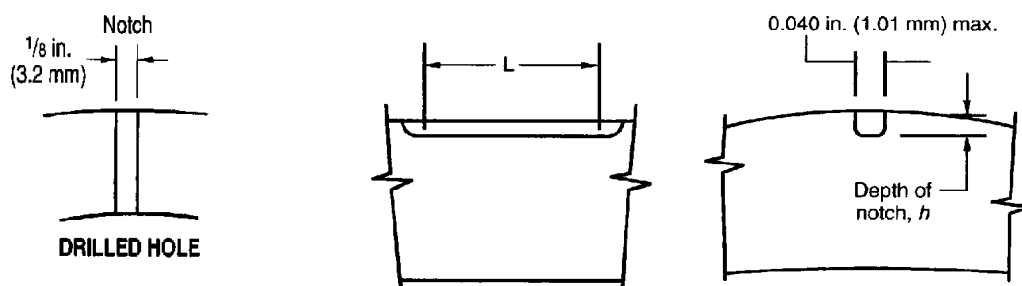
در کارخانه‌های تولید لوله مطابق روش‌های فنی به روش پالس اکو به شرح زیر انجام می‌شود:

این آزمایش بستگی به ضخامت لوله با تعداد پروب‌های: حداقل ۲ عدد برای جوش داخلی، ۲ عدد برای جوش خارجی با زاویه‌های ۶۰ یا ۷۰ درجه و ۲ عدد برای عیوب عرضی با زاویه ۴۵ و ۲ عدد برای کنترل نواحی اطراف جوش با زاویه ۹۰ درجه (نرمال پروب) انجام می‌گیرد. آرایش و تعداد پروبها بایستی عیوب استاندارد مرجع شماتیک ۹-۵ را آشکار سازند. برای تنظیم دستگاه در حالت ثابت و متحرک* نیاز به ساخت عیوب مصنوعی استاندارد با جهت‌های مختلف، عمق، طول و عرض تعریف شده زیر است:



شکل ۹-۵ الف: شماتیک عیوب مصنوعی تنظیم دستگاه روی جوش طولی لوله

N: notch, ID: inside diameter, C: center, L: left. R: right T: transver, OD: outside



شکل ۱۰-۵ ابعاد عیوب مصنوعی روی جوش طولی لوله

در آزمایش امواج صوتی برای شناسایی نوع عیوب و ابعاد آنها بدلیل عدم توانایی در تفسیر پالس‌ها از محلهای معیوب پرتونگاری صنعتی انجام می‌گیرد. البته با استفاده از روش‌های جدید نمایش سه بعدی عیوب و ثبت آنها در حافظه رایانه، نیاز به پرتونگاری صنعتی برطرف می‌شود.

۴- آزمایش لوله‌های قطر پائین با امواج صوتی استغراقی:

این آزمایش جهت لوله‌های با قطر ۴ اینچ و پائین‌تر به شرح زیر انجام می‌شود: پروب‌ها در یک حوضچه پر شده از آب در دو ردیف به صورت زیگزاگ در طول حوضچه استقرار می‌یابند. لوله‌های مورد آزمایش بصورت چرخش حلزونی از این حوضچه عبور می‌کنند و ناحیه زیرین لوله در تماس با پروب‌ها قرار می‌گیرد و مورد آزمایش واقع می‌شود. تعداد پروب‌ها بستگی به قطر و سرعت حرکت رو به جلو لوله دارد. سرعت چرخش طوری تنظیم می‌شود که تمامی لوله (جوش و بدنه) مورد آزمایش قرار می‌گیرد.

۴-۵- آزمایش جوش طولی لوله با پرتونگاری صنعتی*

جهت کنترل کیفیت جوش‌های طولی که با قوس الکتریکی تولید می‌شوند و جوش آنها حالت برجسته نسبت به سطح اصلی بدنه لوله دارند، بعنوان روش اصلی بازرسی فنی جوش یا مکمل روش آزمایش امواج صوتی از روش‌های زیر استفاده می‌شود.

الف - پرتونگاری با فیلم

از این روش بعنوان مکمل روش آزمایش امواج صوتی با فیلم‌های مخصوص پرتونگاری صنعتی در محدوده‌های زیر استفاده می‌شود:

(۱) در بعضی از دستورالعمل‌های فنی جهت تأیید روش تولید، روز اول تولید، جوش طولی تعدادی از لوله‌ها بطور کامل پرتونگاری می‌شوند.

(۲) ابتدا و انتهای جوش طولی و محل‌هایی که توسط آزمایش امواج صوتی کنترل نمی‌شوند.

(۳) محل‌های علامت‌گذاری شده توسط آزمایش امواج صوتی، جهت شناسایی نوع عیب و ابعاد آن.

(۴) محل‌هایی که نیاز به تعمیر با روش جوشکاری تأیید شده دارند، قبل و بعد از تعمیر پرتونگاری می‌شوند و فیلم‌ها با همدیگر مقایسه می‌شوند تا اطمینان حاصل شود تعمیر صورت گرفته توانسته عیب را برطرف نموده و عیوب جدید در جوش تعمیری وجود نداشته باشند.

ب - پرتونگاری بدون فیلم

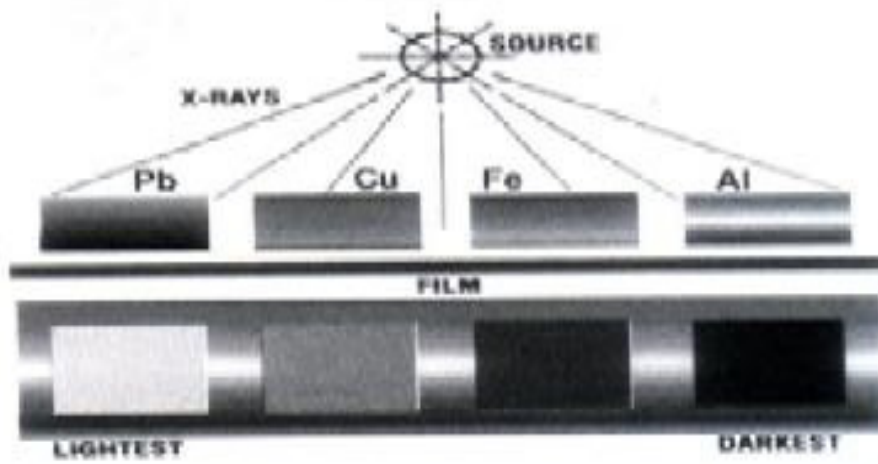
این روش بدون استفاده از فیلم‌های پرتونگاری صنعتی انجام می‌شود. از پرتونگاری بدون فیلم بعنوان آزمایش اصلی کنترل کیفیت جوش طولی استفاده می‌شود.

در این روش از موادی مانند فلورسنت جهت ثبت تصاویر استفاده می‌شود. تصاویر روی صفحه‌ای که مواد فلورسنت دارد، نقش می‌بندند و توسط دوربین به کامپیوتر منتقل می‌شوند و بعد از پردازش توسط مفسران مجرب تفسیر و گزارش می‌شوند.

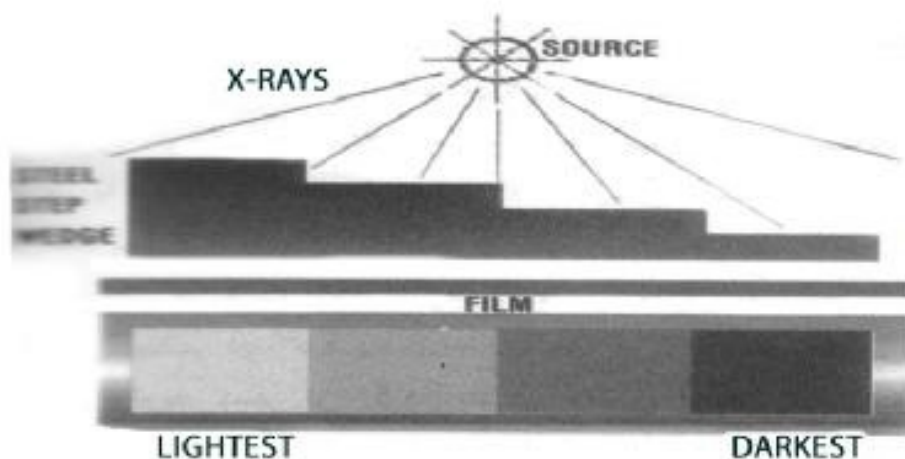
۱-۴-۵- پرتونگاری صنعتی :

عبور پرتوهای ایکس یا گاما از قطعات مورد آزمایش و ایجاد تصویر روی نگارنده و تفسیر آنها را پرتونگاری صنعتی می‌گویند.

این قطعات ممکن است دارای ضخامت‌ها و چگالی‌های متفاوت باشند که با قرار دادن فیلم جهت ثبت تصاویر در پشت آنها و پس از ظهور و ثبوت فیلم، تصویر حاصل می‌گردد. عبور پرتوها از قطعات با توجه چگالی و ضخامت درجات، سیاهی و سفیدی متفاوتی روی فیلم ایجاد می‌کنند. هر چه چگالی و ضخامت قسمت‌هایی از قطعات نسبت به مناطق مجاور آنها کمتر باشد اشعه بیشتری از آن عبور کرده و باعث تحریک نسبی خاصیت فتومتریک برومید نقره روی فیلم می‌گردد و تصویر آن سیاه‌تر ظاهر می‌شود. هر چه چگالی و ضخامت قسمتی از قطعه بیشتر باشد اشعه کمتری به فیلم می‌رسد و برومید نقره فیلم تثبیت و تصویر آن سفیدتر ظاهر می‌شود. مانند تصاویری که در شکل شماره ۱۱-۵ و ۱۲-۵ قابل مشاهده است. بررسی شکل و ابعاد محل‌های سفید و سیاه توسط مفسر فیلم انجام می‌گیرد.



شکل ۱۱-۵ عبور اشعه از نمونه‌ها با یک ضخامت و چگالی‌های مختلف



شکل ۵-۱۲ عبور اشعه از نمونه‌ها از یک جنس و با ضخامت‌های مختلف

۵-۴-۲- عوامل و فرآیند پرتونگاری صنعتی به شرح زیر است:

الف - منابع تشعشع

با توجه به استفاده از منبع تولید اشعه (X یا λ) به دو روش زیر انجام می‌شود.

۱- اشعه گاما:

هر اتم از سه جزء تشکیل شده است. نوترون‌ها و پروتون‌ها در درون هسته و الکترون‌ها در مدارات اطراف هسته اتم قرار دارند. تعداد الکترون‌ها (با بار منفی) مساوی تعداد پروتون‌ها (با بار مثبت) هر اتم می‌باشند. تعداد نوترون‌های با بار خنثی (مثبت و منفی) هر اتم معرف عدد جرمی آن اتم می‌باشد. جمع نوترون‌ها و پروتون‌ها را جرم اتمی یا وزن اتمی گویند.

$$\text{عدد اتمی} = N^{\pm} \quad \text{جرم اتمی} = N + P \quad P = e'$$

چشمه‌های پرتوزا یا ایزوتوپ از تجزیه و واپاشی اتم‌های تحریک شده یک عنصر ناپایدار اشعه گاما تولید و انتشار می‌دهند. (ایزوتوپ یا رادیو ایزوتوپ) که از تجزیه عناصری که عدد اتمی آنها ($N^{\pm}$) با تعداد پروتون‌ها مساوی نمی‌باشند بدست می‌آید. این حالت ناپایداری موجب ساطع شدن اشعه‌های مختلف از جمله گاما می‌باشد. ایزوتوپ‌ها دو حالت دارند:

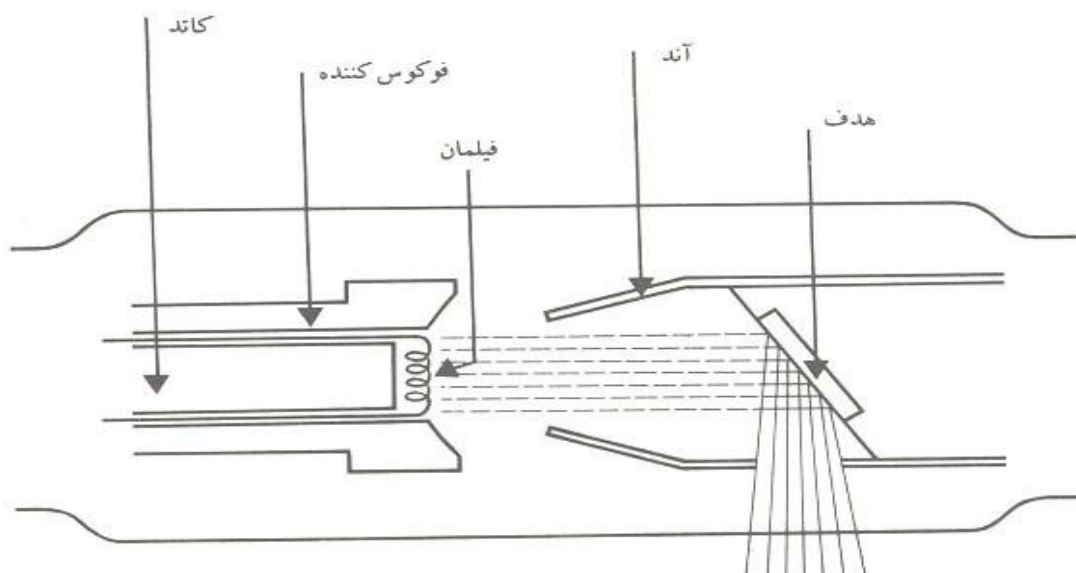
(۱-۱) ایزوتوپ‌های طبیعی: که شامل عناصری که عدد اتمی آنها بیش از ۸۲ و تعداد نوترون‌ها در اتم بیشتر از ۱/۵ برابر پروتون‌ها می‌باشند. مانند: رادیم با عدد اتمی ۸۸ و اورانیوم با عدد اتمی ۹۲

(۲-۱) ایزوتوپ‌های مصنوعی: عناصری که هسته آنها بمباران نوترونی شده و با جذب نوترون به یک ایزوتوپ ناپایدار تبدیل شوند. مانند کبالت ۵۹ که به کبالت ۶۰ تبدیل شده و ایریدیم ۱۹۱ به ۱۹۲ و

نیمه عمر*: مدت زمانی که قدرت یک چشمه به نصف قدرت اولیه کاهش یابد نیمه عمر گفته می‌شود. واحد آن کیوری می‌باشد. (واپاشی در مدت یک ثانیه $CI = 3.7 \times 10^{10}$)
نیمه عمر چشمه‌های مولد اشعه گاما که در پرتونگاری صنعتی کاربرد دارند در جدول شماره ۱-۵ درج گردید.

۲- اشعه مجهول (ایکس)

از حرکت سریع الکترون‌ها در خلاء از فیلمان (کاتد) و برخورد آنها با آند (هدف) و انعکاس قسمتی از آنها اشعه X تولید می‌شود. مقدار زیادی از این انرژی جنبشی به گرما تبدیل می‌شود. جنس هدف* معمولاً از تنگستن است تا در مقابل گرما مقاومت کافی داشته باشد.



شکل ۱۳-۵ دستگاه مولد اشعه ایکس

ب- خواص اشعه ایکس و گاما:

خواص اشعه ایکس و گاما بطور مختصر شامل موارد زیر است:

- (۱) پرتوهای ایکس و گاما از نوع امواج الکترومغناطیسی می‌باشند.
- (۲) بدون جرم و بار الکتریکی هستند.
- (۳) در اغلب مواد نفوذ می‌کنند و با توجه به چگالی و ضخامت هر ماده ممکن است جذب یا انکسار و یا از آن عبور کنند.
- (۴) پرتوها، در یک خط مستقیم انتشار می‌یابند و تحت اثر میدان الکتریکی و یا مغناطیسی قرار نمی‌گیرند و به همین دلیل هیچگاه منحرف نمی‌شوند.
- (۵) در برخورد با موانع ممکن است دچار پدیده تفرق و پراکندگی شوند.
- (۶) بر روی بافت‌های زنده اثر تخریبی دارند.
- (۷) می‌توانند الکترون ماده‌ای را آزاد نمایند و خاصیت یونیزاسیون ایجاد کنند.
- (۸) روی فیلم عکاسی تأثیر می‌گذارند.
- (۹) باحواس پنجگانه انسانی قابل تشخیص نمی‌باشند.
- (۱۰) در بعضی از مواد خاص نور فلورسنتی و فسفری تولید می‌کنند.

ج- مقایسه پرتوهای ایکس و گاما :

تفاوت اشعه ایکس و گاما بطور مختصر بشرح زیر است:

- (۱) منبع تولید اشعه گاما چشمه‌های پرتوزا می‌باشند و نیاز به الکتریسته ندارند ولی اشعه ایکس توسط لامپ‌های الکتریکی مخصوص تولید می‌شود که به الکتریسته نیاز دارد.
- (۲) اصولاً پرتوهای گاما خاصیت طیف‌های پیوسته پرتوهای ایکس را ندارند اما به لحاظ انرژی متنوع‌تر هستند.
- (۳) تصویر پرتونگاری با پرتو گاما نسبت به پرتوهای ایکس از کیفیت کمتری برخوردار است .
- (۴) طول موج پرتوهای گاما ریزتر و توانایی نفوذ بیشتری نسبت به پرتوهای ایکس دارند.
- (۵) اندازه دوربین‌های گاما نسبت به تیوب‌های ایکس بسیار کوچکتر و قابل حمل‌تر هستند.

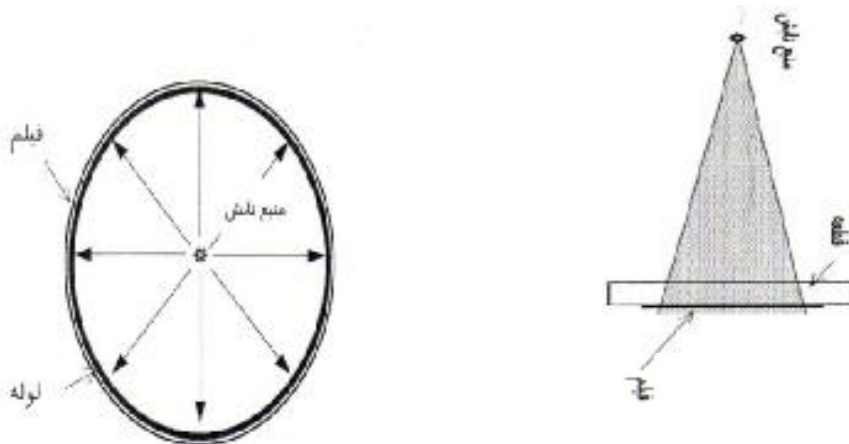
- ۶) قیمت و هزینه جانبی دوربین‌های پرتوزای گاما نسبت به مولدهای ایکس ارزانتر است.
- ۷) به علت نیمه عمر کوتاه بعضی از منابع پرتوزای گاما همواره چشمه‌های پرتوزا نیاز به تعویض دارند اما انرژی الکتریسته مولد ایکس همواره ثابت است.
- ۸) به علت خاصیت تجزیه‌پذیری چشمه‌های پرتوزای گاما هیچگاه انرژی ثابتی ندارند.
- ۹) منابع پرتوزای گاما نیاز به تدابیر حفاظتی بیشتر و مداوم دارند چون اتم‌های ناپایدار فعالیت پیوسته دارند. خطرات ناشی از پرتوهای گاما همیشه وجود دارد در صورتیکه پرتوهای ایکس با قطع جریان الکتریسته خاموش می‌شوند.

د- روش‌های پرتونگاری :

روش‌های پرتونگاری که در صنعت لوله‌سازی و خطوط لوله انتقال نفت و گاز کاربرد دارند بطور مختصر بشرح زیر است:

۱- روش یک دیواره و یک تصویر*:

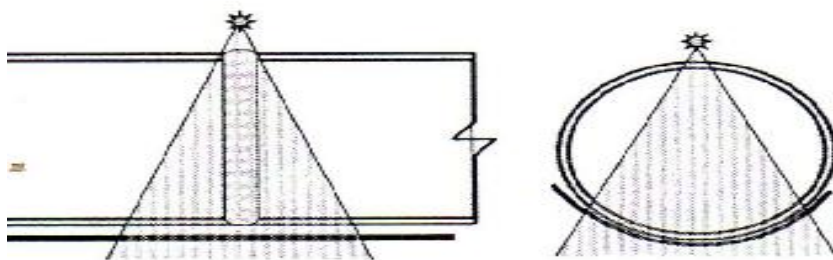
در این روش اشعه از یک دیواره عبور نموده و روی فیلم یک تصویر می‌گذارد. شکل و ابعاد عیوب روی فیلم تقریباً به اندازه ابعاد واقعی می‌باشند و تفسیر آنها راحت‌تر انجام می‌گیرد. این روش برای پرتونگاری از قطعات تخت، مخازن و همچنین برای لوله‌های با قطر بزرگ (بصورت پانورامیک) استفاده می‌شود.



شکل ۱۴ - ۵ روش پرتونگاری یک دیواره و یک تصویر

۲- روش دو دیواره و یک تصویر*:

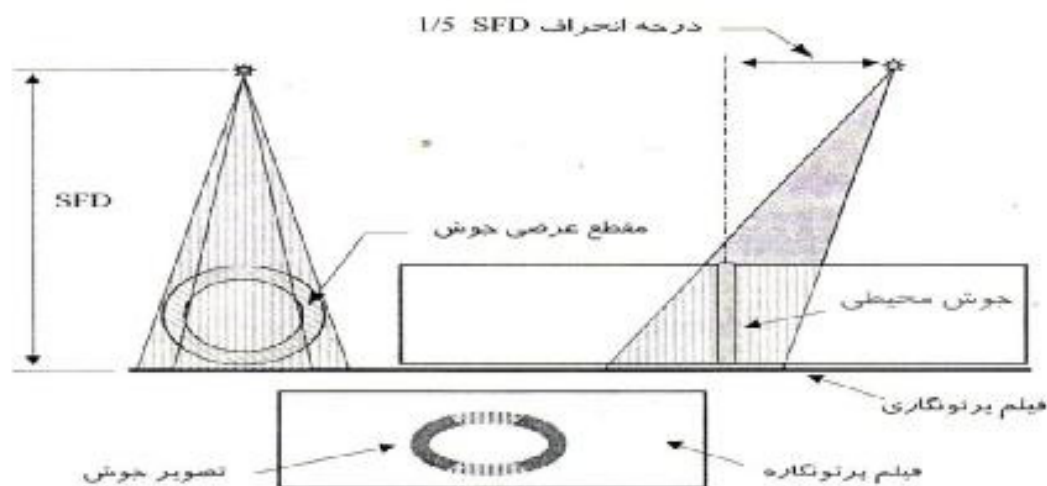
در این روش اشعه با عبور از دو دیواره یک تصویر روی فیلم نقش می‌بندد. (تصویر قسمت چسبیده به فیلم) از این روش برای پرتونگاری از لوله‌های با قطر متوسط و قطعاتی که به فضای درونی آنها دسترسی نیست استفاده می‌شود.



شکل ۱۵-۵ روش پرتونگاری دو دیواره و یک تصویر

۳- روش دو دیواره و دو تصویر*:

در این روش تابش اشعه با زاویه نسبت به جوش محیطی در دو مرحله با اختلاف ۹۰ درجه پیرامونی نسبت به هم انجام می‌گیرد. اشعه با عبور از دو دیواره دو تصویر به شکل بیضی روی فیلم تشکیل می‌دهد. تصویر چسبیده به فیلم با ابعاد نزدیکتر به ابعاد واقعی و تصویری که از فیلم دورتر است با ابعاد گسترده‌تر و دانسیته آن نیز کمتر است. تفسیر این فیلم‌ها تبحر و دقت خاصی می‌طلبد. این روش برای جوش محیطی لوله با قطر زیر ۳ اینچ استفاده می‌شود.

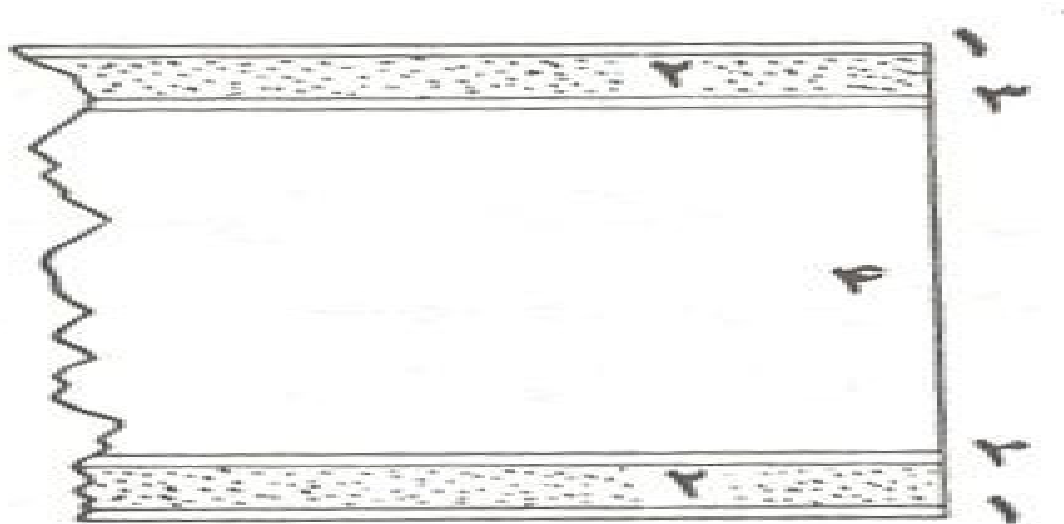


شکل ۱۶-۵ روش پرتونگاری دو دیواره و دو تصویر

هـ- فیلم‌های پرتونگاری:

۱- اجزاء تشکیل‌دهنده فیلم

همانطوری که در شکل ۱۷-۵ مشاهده می‌کنید شامل ۷ لایه به شرح زیر است:



شکل ۱۷-۵ اجزاء تشکیل‌دهنده فیلم پرتونگاری صنعتی

توضیحات:

- ۱- لایه‌های محافظ، برای محافظت از سطح خارجی فیلم
- ۲- لایه‌های امولسیون، ژلاتین که کریستال‌های هالوژن نقره در آن معلق هستند.
- ۳- آستر یا لایه چسبنده، جنس آن از ترکیبات سلولزی که برای پیوند دادن کریستال‌های هالوژن نقره به بدنه اصلی فیلم به کار می‌روند.
- ۴- لایه میانی، بدنه اصلی فیلم از جنس پلی‌استر و مواد سلولزی انعطاف‌پذیر شده است.

۲- دانه‌بندی فیلم

دانه‌بندی به معنی آرایش و غلظت یا تراکم تعداد دانه‌ها یا کریستال‌های نقره در سطح فیلم پرتونگاری می‌باشد. هرچه دانه‌بندی فیلم ریزتر باشد سرعت پرتونگاری یا زمان تابش اشعه زیاده‌تر و کیفیت آن نسبت به دانه‌بندی درشت‌تر بهتر است.

۳- عملیات ظهور و ثبوت فیلم‌های پرتونگاری

عملیات ظهور و ثبوت فیلم‌ها بطور مختصر بشرح زیر است:

(۳-۱) محلول ظهور: ترکیبی از بلورهای جامد سفید متول* و هیدروکین* و حلال قلیایی، همچنین جهت افزایش عمر محلول ظهور مواد سولفات سدیم و برمور پتاسیم اضافه می‌کنند.

محلول ظهور با فعل و انفعال شیمیایی برومیدهای نقره که بر اثر تابش اشعه تبدیل به فلز نقره شده‌اند به رنگ تیره و برومیدهای نقره که تابش اشعه کمتری به آن شده است، رنگ سفید آن آشکارتر می‌شود.

مدت زمان شناور شدن فیلم‌ها در محلول ظهور بستگی به میزان اشعه و دما بین ۳ الی ۵ دقیقه است.

(۳-۲) محلول شستشو: به منظور توقف عملیات ظهور، فیلم‌ها در آب خالص یا آب به همراه اسید استیک رقیق ۳٪ به مدت ۱ دقیقه غوطه‌ور می‌شوند.

(۳-۳) محلول ثبوت*: ترکیبات سولفات سدیم و آمونیم و مواد سخت‌کننده* سولفات آلومینیم و پتاسیم است. محلول ثبوت، تثبیت رنگ‌های سیاه و سفید به صورت نسبی در مدت ۸ الی ۱۲ دقیقه را انجام می‌دهد.

(۳-۴) محلول شستشو: برای برطرف کردن مواد شیمیایی به جا مانده روی سطح فیلم، فیلم‌ها به مدت ۱۰ دقیقه شستشو می‌شوند.

(۳-۵) خشک کردن: فیلم‌ها توسط هوای گرم و یا آویزان کردن در تاریکخانه خشک می‌شوند. «تمام مراحل فوق در تاریکخانه انجام می‌گیرد.»

(۳-۶) مراحل فوق ممکن است توسط ماشین‌آلات مخصوص به صورت مکانیزه و خودکار انجام گیرد.

۴- شرایط مهم در کیفیت فیلم‌های پرتونگاری

کیفیت فیلم‌های پرتونگاری به شرایط ذیل بستگی دارد:

۴-۱) دانسیته فیلم

درجه سیاهی یا دانسیته، به میزان درجه سیاهی فیلم گفته می‌شود و به روش‌های زیر بدست می‌آید:

الف- محاسبه ریاضی با استفاده از رابطه زیر

$$D = \log \frac{I_0}{I}$$

D=دانسیته I₀=نور تابیده شده I=نور خارج شده از فیلم

ب- مقایسه: از مقایسه درجه سیاهی فیلم با شکل‌های استاندارد

ج- نورسنجی: توسط دستگاه‌های نورسنج یا فتوالکتریک یا نورسنج دیجیتال انجام می‌گیرد

۴-۲) تباین فیلم

به اختلاف درجه سیاهی نقاط نزدیک به هم روی یک فیلم تباین یا کنتراست فیلم گفته می‌شود. شامل حالت‌های زیر است:

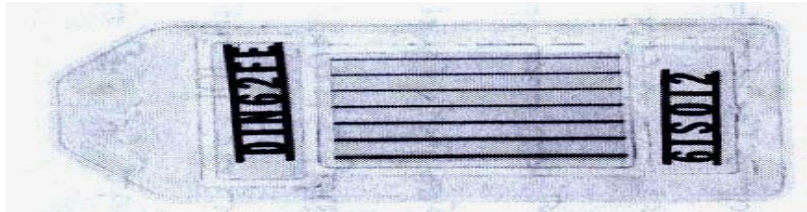
الف- شکل هندسی و اختلاف ضخامت قطعه کار دارد.

ب- چگالی یا وزن مخصوص قطعه کار، ناخالصی‌ها و عدم پیوستگی‌ها

ج- تباین فیلم خام که بستگی به نحوه ساخت و انتشار دانه‌بندی فیلم خام دارد.

۴-۳ حساسیت یا درجه کیفیت فیلم

حساسیت پرتونگاری یا درجه آشکارسازی عیوب از عوامل بسیار مهم در تفسیر و تصمیم‌گیری در مورد عیوب می‌باشد. استانداردها روش‌های مختلفی در مورد محاسبه حساسیت ارائه نموده‌اند ولی متداول‌ترین آن استفاده از نوع سیمی استاندارد DIN است.



شکل ۱۸-۵ شاخص حساسیت فیلم پرتونگاری

فرمول محاسبه درصد حساسیت بشرح زیر است:

$$S = \frac{t}{T} \times 100$$

S = درصد حساسیت، t = قطر کوچکترین سیم شاخص کیفیت قابل رؤیت و T = ضخامت قطعه کار

۴-۴ وضوح و شفافیت تصویر

به منظور وضوح بهتر تصویر رعایت موارد زیر ضروری است:
جلوگیری از تشکیل نیم‌سایه، شرایط طیف پرتوها، وضعیت هندسی تابش، فیلم و عوامل ظهور و ثبوت.

همچنین فاکتورهای زیر در وضوح بهتر تصاویر نقش مستقیم دارند.

الف - فاصله فیلم تا قطعه کار هر چه کمتر باشد بهتر است.

ب - فاصله منبع اشعه تا فیلم هر چه بیشتر باشد بهتر است.

ج - هر چه نقطه کانونی منبع اشعه کوچکتر باشد بهتر است.

۵- پراکندگی* پرتوهای تابیده شده

پراکندگی پرتوهای تابیده شده به قطعه کار با توجه به شدت و طول موج شامل حالات زیر است:

- الف - جذب، پرتوهای جذب شده مفید و باعث تأمین شکل مورد نظر روی فیلم می‌شوند.
- ب - انکسار و پراکندگی، پرتوهای انکسار یافته و پراکنده شده در صورت برگشت ثانویه و تأثیر روی فیلم باعث پائین آمدن کیفیت فیلم می‌شوند. به منظور جلوگیری از تأثیرات نامطلوب آنها از لایه‌های محافظ سربی در دو طرف فیلم استفاده می‌شود.

۶- ایمنی در پرتونگاری

در هنگام کار با مواد پرتوزا اعم از کارهای صنعتی، پزشکی، کشاورزی و غیره به دلایل اجتناب‌ناپذیر، مقداری از پرتوهای یونساز به بدن انسان برخورد می‌کنند. از برخورد اشعه‌های یونساز با بدن جانداران خطراتی مانند اثرات ژنتیکی، سرخی و آسیب‌های پوستی، ریزش مو، کوچک شدن بیضه‌ها، دگرگونی تخریبی در یاخته‌های مادر و زاینده، تغییر PH خون و ... پیش می‌آید. همچنین زمینه را برای رشد بیماری‌های بدخیم بوجود می‌آورند. میزان آسیب‌ها به نوع پرتوها، شدت و میزان و محل جذب آن در بدن جانداران بستگی دارد. کار کردن با مواد رادیواکتیو مستلزم رعایت کامل مقررات ایمنی می‌باشد. در این رابطه باید سعی شود کمتر در معرض تابش پرتوها قرار گرفت تا پرتوگیری از حد مجاز تجاوز نکند و آسیب کمتری به بافت‌های بدن وارد شود.

البته مقدار کمی پرتوها در طبیعت وجود دارد. این پرتوها ناشی از واکنش عناصر موجود در زمین و پرتوهای ساطع شده از خورشید و سایر سیارات موجود در فضا که از لایه اوزن عبور کرده و به سطح زمین می‌رسد.

۶-۱) حداکثر دز مجاز: افراد از نظر قوانین حفاظت در برابر پرتوهای یونساز به ۴ گروه

زیر تقسیم می‌شوند. مقدار حداکثر دز مجاز برای هرگروه متفاوت است.

الف - گروه یک: کارکنان طبقه‌بندی شده در «گروه الف» هستند و شامل تمام کسانی که در مراکز اتمی یا با دستگاه‌های پرتوزا کار می‌کنند. حداکثر دز مجاز برای این گروه ۵ رم در سال و ۳ رم در ۱۳ هفته متوالی می‌باشد.

ب- گروه دو: کارکنان طبقه‌بندی شده در «گروه ب» هستند و شامل کسانی که در نزدیک محدوده‌های دارای پرتوهای یونساز کار می‌کنند و گهگاهی از درون این محدوده‌ها به ناچار تردد می‌کنند. حداکثر دز مجاز برای این گروه ۰/۳ رم در سال می‌باشد.

ج - گروه سه: مردم عادی هستند که دور از مراکز اتمی و محدوده‌های دارای تشعشعات اتمی زندگی می‌کنند. حداکثر دز مجاز برای این گروه ۰/۱ رم در سال می‌باشد.

د - گروه چهار: گروه‌های نجات* که در «گروه الف» طبقه‌بندی شده‌اند. این افراد آموزش‌دیده و مسئولان فیزیک بهداشت مراکز که هنگام انفجارهای اتمی یا اتفاقات توأم با نشت مواد رادیواکتیو، کار کمک‌رسانی و نجات آسیب‌دیدگان را برعهده دارند. حداکثر دز مجاز برای این گروه ۷۵ رم در مدت ۲ یا ۳ روز می‌باشد. این گروه در صورت دریافت دز فوق تا بهبود کامل آسیب‌های احتمالی نباید در برابر تابش پرتوها قرار گیرند.

۲-۶) روش‌های ایمن‌سازی

عوامل مهم برای کاهش برخورد پرتوها به بدن جانداران شامل عوامل زیر است:

الف - فاصله*: انتشار تشعشعات اتمی در فواصل مختلف تابع قانون عکس مربع است. به منظور به حداقل رساندن اثرات نامطلوب این تشعشعات رعایت فاصله ایمن از منبع مولد اشعه ضروری است. این فاصله توسط محاسبات ریاضی یا با ابزار ایمنی از جمله اشعه‌سنج اندازه‌گیری می‌شود.

ب - حفاظ: عبور پرتوهای یونساز از مواد بستگی به چگالی و ضخامت آن مواد دارد. پس هر حفاظی با ضخامت و چگالی معین که بین منبع تشعشع و پرتونگار قرار گیرد و بتواند مقدار اشعه را به نصف تقلیل دهد به عنوان حفاظ یا لایه‌های نصف‌کننده

استفاده می‌شود. جدول ۱-۵ نشان‌دهنده ضخامت لازم سه ماده که معمولاً به عنوان حفاظ به صورت منفرد و یا توأم با هم از آنها استفاده می‌کنند.

جدول ۱-۵ نیم عمر مولدهای اشعه گاما و ضخامت لایه‌های نیم‌کننده قدرت آنها

نام مولد اشعه	ضریب ثابت تشعشع M	نیمه عمر	ضخامت لایه نیم‌کننده به میلیمتر		
			سیمان	آهن	سرب
کبالت ۶۰	۱.۳۵	۵.۳ سال	۱۰۰	۲۰	۱۳
ایریدیم ۱۹۲	۱۰.۵	۷۴ روز	۶۰	۱۲	۲.۸
سزیم ۱۳۷	۰.۳۵	۳۳ سال	۸۰	۱۵	۸.۴

ج - زمان توقف در محدوده تشعشع: مقدار جذب پرتوها با زمان تابش آنها نسبت مستقیم دارد پس در زمان پرتونگاری، افراد بایستی سعی کنند که زمان کمتری در محدوده دارای تشعشعات اتمی قرار گیرند تا اثرات تخریبی آن به حداقل برسد.

د - سه عامل فاصله، زمان و حفاظ با دز دریافتی از رابطه زیر قابل محاسبه است:

$$R = \mu \times h \times c / D^2$$

R = دز در یافتی بر حسب رم، C = قدرت چشمه پرتوزا بر حسب کیوری، h = زمان به ساعت

d = فاصله به متر و μ = ضریب ثابت

۳-۶) قانون حفاظت در برابر اشعه

این قانون شامل ۵ فصل و ۲۳ ماده و آئین‌نامه اجرایی آن طی ۲۲ ماده در مجلس شورای اسلامی تصویب و به تمامی واحدهای مربوطه و وزارتخانه‌ها ابلاغ گردید.

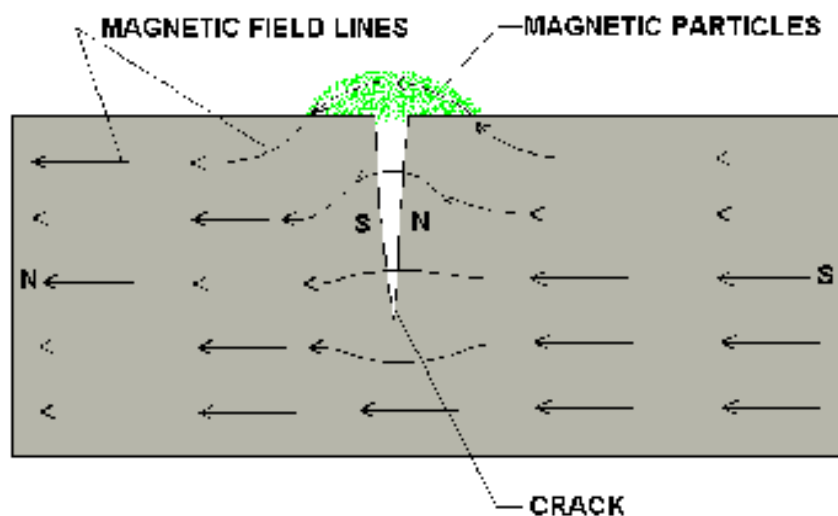
۵-۵- بازرسی با ذرات مغناطیسی*

این آزمایش در سال ۱۹۳۰ توسط پرفسور دی فورست انجام گردید. در کارخانه‌های لوله‌سازی از این روش در محدوده‌های زیر استفاده می‌شود:

- (۱) در بعضی از دستورالعمل‌های فنی جهت تأیید روش ساخت، روز اول تولید، جوش طولی تعدادی از لوله‌ها بطور کامل آزمایش می‌شوند.
- (۲) قسمت‌های سنگ‌خورده ابتدا و انتهای جوش طولی و پخ لوله‌ها با این روش آزمایش می‌شوند.
- (۳) محل‌هایی که نیاز به تعمیر دارند بعد از برداشتن عیوب به منظور اطمینان از محو شدن عیب، این آزمایش انجام می‌گیرد.

۵-۵-۱ تعریف آزمایش ذرات مغناطیسی:

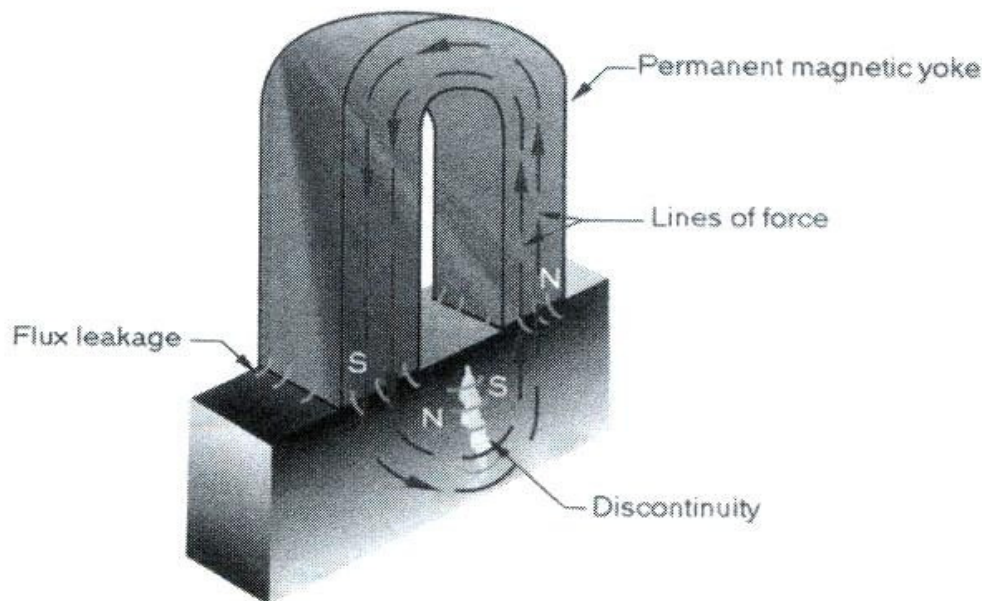
اگر در یک میدان مغناطیسی بین دو قطب آهن‌ربا در قطعات فرومغناطیس پودر آهن پاشیده شود، طیف مغناطیسی منظم یا شارهای مغناطیس بین قطب‌های S,N تشکیل می‌یابد. (شکل ۲۰-۵) اگر در مسیر خطوط یا شارهای مغناطیس عدم پیوستگی باشد دو قطب جدید (کوچک) در دو طرف عدم پیوستگی ایجاد می‌شود (S,N) و ذرات پودر آهن در آن منطقه تجمع پیدا می‌کنند. با شفاف کردن آن محل‌ها به وجود عیوب سطحی و تا حدودی زیر سطحی (حداکثر تا ۳ میلی متر زیر سطح) پی می‌بریم.



شکل ۲۰-۵ آزمایش با ذرات مغناطیسی

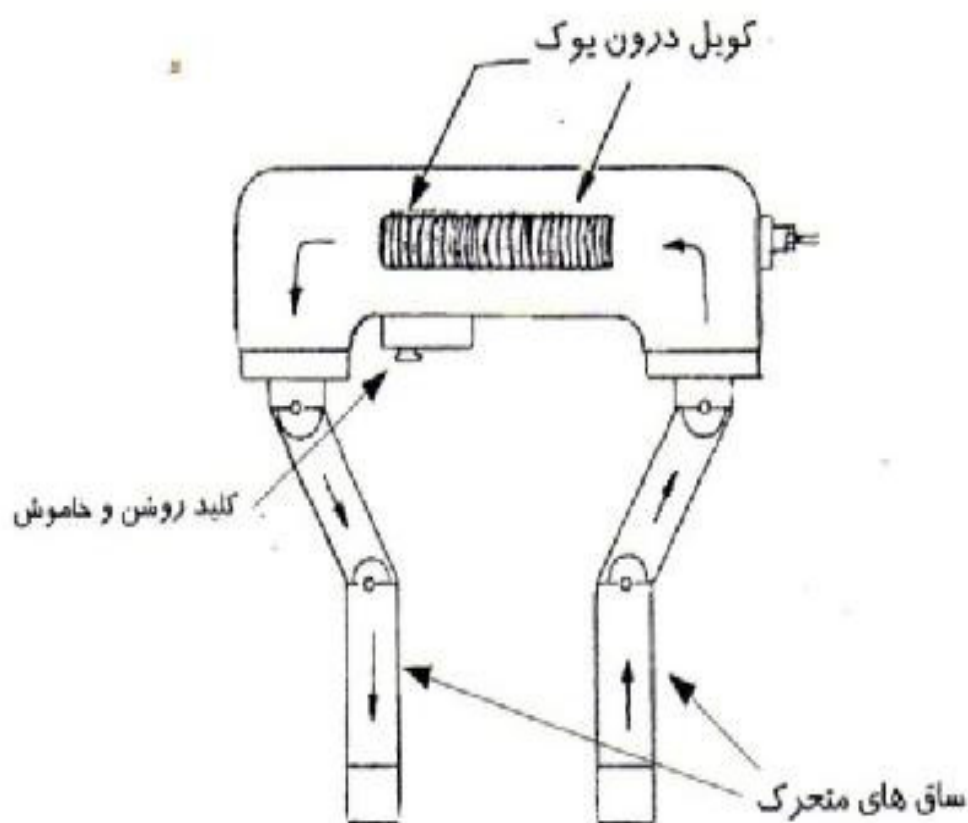
۲-۵-۵) انواع آهنربا

الف - آهنربای طبیعی: بعضی از عناصر مانند آهن- نیکل، کبالت و آلیاژهای آنها اگر در میدان مغناطیس قرار گیرند خاصیت آهنربای دائمی یا طبیعی پیدا می‌کنند. به سه فلز فوق و آلیاژهای آنها عناصر فرومغناطیسی نیز گفته می‌شود.



شکل ۲۱-۵ آزمایش ذرات مغناطیسی با آهنربای طبیعی

ب - آهنربای الکتریکی: هرگاه پیرامون یک قطعه هادی الکتریسته سیم برق پیچیده شود با ایجاد جریان در سیم میدان مغناطیسی تولید می‌شود. این میدان با قطع جریان خاصیت آهنربایی خود را از دست می‌دهد ولی اگر در حالت دارا بودن خاصیت مغناطیسی به قطعات فرومغناطیسی متصل شود در آنها نیز میدان مغناطیسی بوجود می‌آورد. آهنربای الکتریکی با دو جریان مستقیم DC و متناوب AC تولید مغناطیس می‌کند. برای یافتن عیوب ریز سطحی جریان AC و برای عیوب با عمق بیشتر جریان DC مناسبتر است.



شکل ۲۲- ۵ آزمایش ذرات مغناطیسی با آهن ربای الکتریکی

۳-۵-۵) ذرات پودر آهن

اگر در یک میدان مغناطیسی ذرات پودر آهن پاشیده شود، ذرات بصورت یک طیف آرایش می یابند. به این ذرات، ذرات مغناطیسی گفته می شود. این ذرات را بصورت خشک و یا در مایعات از قبیل آب یا نفت معلق می کنند. همچنین ذرات معلق ممکن است بصورت اسپری تهیه شوند.

گاهی برای کیفیت بهتر به ذرات مغناطیسی ماده فلورسنت اضافه می شود که با چراغ ماورای بنفش انعکاس و تباین خیلی خوبی پیدا می کنند. ترک های خیلی ریز و کم عمق که در روش های آزمایش غیرمخرب دیگر شناسایی آنها میسر نباشد با این روش به خوبی آشکار می شوند.

۴-۵-۵-اندازه‌گیری در آزمایش ذرات مغناطیسی

الف - قدرت آهن‌ربا:

مطابق دستورالعمل استاندارد مربوطه برای اندازه‌گیری قدرت آهن‌ربا از قدرت بلندکردن وزنه استفاده می‌شود.

مثلاً استاندارد ASTM E 709 برای سنجش قدرت آهن‌ربای الکتریکی با جریان AC وزنه ۵.۴ کیلوگرم و با جریان DC وزنه ۱۸ کیلو در نظر گرفته است.

ب - آزمایش دانه‌بندی و کیفیت پودر

بستگی به نوع مواد خشک یا معلق استانداردها روش‌هایی برای دانه‌بندی یا مقدار ته‌نشین شده مواد معلق در ظروف مدرج ارائه نموده‌اند.

ج - آزمایش قدرت نشان دادن عیوب

برای این کار معمولاً نمونه‌های حاوی عیوب مختلف ترک‌های ریز، ترک‌ها یا عیوب زیر سطح ضمن کار بعنوان مرجع کنار گذاشته می‌شوند.

د - اندازه‌گیری پسماند مغناطیسی

برای اندازه‌گیری پسماند مغناطیسی ابزاری بنام گوس‌متر طراحی شده است. مثلاً استاندارد A.P.I 5L برای لوله‌های انتقال نفت و گاز مقدار میدان مغناطیسی باقیمانده یا پسماند مغناطیسی بعد از مغناطیس‌زدایی را تا ۷۰ گوس قابل قبول می‌داند.

۵-۵-۵-مغناطیس‌زدایی*

در قطعات بعد از آزمایش با این روش، مقداری از میدان مغناطیسی باقی می‌ماند که به آن پسماند مغناطیسی گفته می‌شود. این پسماند با یک و یا تلفقی از چند روش زیر حذف و یا از شدت آن کاسته می‌شود.

روشهای مغناطیس‌زدایی؛ بستگی به نوع میدان مغناطیسی القا شده روش مناسبی از قبیل ((عبور قطعات از درون سیم‌پیچ یا کوئیل با جریان AC، عملیات حرارتی، ضربه زدن و ایجاد میدان مغناطیسی درجهت مخالف میدان قبلی)) اعمال می‌شود.

در صورت عدم حذف پسماند مغناطیسی از قطعات آزمایش شده، در کاربرد بعدی این قطعات مشکلات زیر ایجاد می‌شود:

- الف- جمع شدن براده آهن دور یک قطعه حساس
- ب- قطعاتی که در میدان جدید مغناطیسی قرار می‌گیرند میدان جدید را دچار مشکل می‌کنند.
- ج- قطعاتی که نیاز به جوشکاری دارند مذاب جوش به یک سمت کشیده می‌شود.

۶-۵-۵- مزایای آزمایش با ذرات مغناطیسی

مزایای این آزمایش به شرح زیر است:

- ۱) سرعت عملیات بازرسی نسبت به روش‌های دیگر زیادتر است.
- ۲) تصمیم‌گیری و تفسیر و گزارش‌دهی در محل صورت می‌گیرد.
- ۳) آشکارسازی عیوب خیلی ریز سطحی با این روش امکان‌پذیر است.
- ۴) با استفاده از پودر ذرات آهن خشک امکان آزمایش قطعات فرومغناطیس گرم و سرد وجود دارد.
- ۵) با استفاده از آهن‌ربای طبیعی آزمایش در محل‌هایی که برق وجود ندارد امکان‌پذیر است.

۷-۵-۵- محدودیت‌های آزمایش با ذرات مغناطیسی

معایب این آزمایش به شرح زیر است:

- ۱) این آزمایش فقط روی فلزات فرومغناطیس (مغناطیس‌شونده) قابل انجام است.
- ۲) قطعات آزمایش شده، بعد از آزمایش نیاز به عملیات مغناطیس‌زدائی دارند.
- ۳) با این آزمایش کشف عیوب سطحی و تا حدودی زیر سطحی امکان‌پذیر است و کشف عیوب درونی قطعات ضخیم با این روش امکان‌پذیر نیست.
- ۴) برای استفاده از آهن‌ربای الکتریکی، دسترسی به برق الزامی می‌باشد.

۶-۵- بازرسی با جریان‌های گردابی*

این آزمایش از سال ۱۹۴۲ در صنایع هواپیماسازی به کار گرفته شد. در کارخانه‌های لوله‌سازی معمولاً برای لوله‌هایی که ضخامت آنها زیر ۶ میلیمتر باشند، از این روش بعنوان جایگزین آزمایش امواج صوتی در محدوده‌های زیر استفاده می‌شود:

(۱) جوش طولی لوله‌هایی که به روش جوش مقاومت الکتریکی تولید می‌شوند.

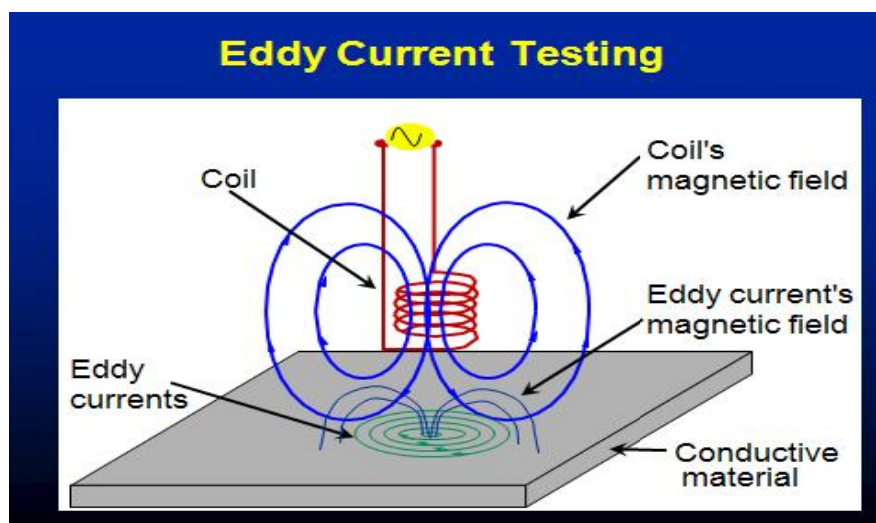
(۲) لوله‌های بدون درز با قطر ۶ اینچ و کوچکتر

(۳) لوله‌های با قطر پائین که جوش و بدنه آنها با هم آزمایش شوند.

مبنای فیزیکی آن به شرح زیر است:

هرگاه به یک کوئیل، جریان متناوب با فرکانس بالا وصل کنیم یک میدان مغناطیسی ایجاد می‌شود. اگر این میدان مغناطیسی را به یک قطعه فلزی منتقل کنیم در فلز مورد نظر یک جریان القایی یا جریان گردابی که جهت آن عکس میدان مبدأ است ایجاد می‌شود. این میدان الکتریکی را میدان ثانویه یا جریان گردابی می‌گویند.

نوسانات و عدم پیوستگی‌ها در میدان ثانویه در کمیت و رفتار میدان اولیه تاثیر می‌گذارد. به عبارتی نیروی واکنش جریان گردابی به جنس و یکنواختی قطعات مورد آزمایش بستگی دارد. همچنین هرگونه عدم پیوستگی یا ناخالصی سبب تغییر در جریان گردابی و مقاومت میدان اولیه می‌شود و انعکاس آن روی صفحه دستگاه، علائمی از وجود عیوب در ساختار درونی قطعات به ما می‌دهد. (مانند شکل ۲۳-۵)



شکل ۲۳-۵ آزمایش جریان‌های گردابی

الف - پروب‌های آزمایش سطوح:

برای آزمایش سطوح، با تماس مستقیم و ایجاد میدان گردابی حلقوی در قطعات مورد نظر از این پروب‌ها استفاده می‌شود. در صورت برخورد جریان گردابی با عدم پیوستگی میدان قطع می‌شود و علائم لازم برای تشخیص عیب گرفته می‌شود.

ب - پروب‌های محیطی:

برای آزمایش لوله‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند. لوله‌ها با عبور از حلقه‌های حاوی جریان گردابی بدون تماس با سطح لوله‌ها آزمایش می‌شوند.

ج - پروب‌های توپکی:

برای آزمایش قطعات استوانه‌ای توخالی استفاده می‌شود. پروب به داخل استوانه‌ها یا لوله‌های مبدل حرارتی هدایت می‌شود و آزمایش صورت می‌گیرد.

۲-۶-۵- مزایای آزمایش با جریان‌های گردابی

مزایای آزمایش با جریان‌های گردابی به شرح زیر است:

(۱) شناسایی فلزات

(۲) ضخامت‌گیری دقیق فلزات و پوشش

(۳) اندازه‌گیری هدایت الکتریکی

(۴) عیب‌یابی فلزات

۳-۶-۵- محدودیت آزمایش با جریان‌های گردابی:

محدودیت و معایب آزمایش با جریان‌ات گردابی به شرح زیر است:

- (۱) برای تنظیمات اولیه نیاز به نمونه مرجع دارد.
- (۲) این آزمایش بر روی فلزات فرومغناطیس به سختی انجام می‌گیرد.
- (۳) عدم توانایی در شناسایی عیوب موازی سطح
- (۴) عدم توانایی در شناسایی عیوب درونی قطعات ضخیم
- (۵) بعد از آزمایش نیاز به حذف پسماند مغناطیسی می‌باشد.
- (۶) عدم توانایی در آزمایش ابتدا و انتهای قطعات.

۷-۵- بازرسی با مایعات نافذ*

این آزمایش اولین بار در سال ۱۹۴۰ میلادی در بازرسی خطوط لوله با استفاده از نفت سفید و گچ استفاده گردید. در این آزمایش اساس کار بر مبنای نفوذ ماده نافذ به ترک‌ها و خلل و فرج‌ها که دهانه آنها باز و به بیرون راه داشته باشند صورت گرفت.



شکل ۱۹ - ۵ آزمایش با مایعات نافذ

۱-۷-۵- مراحل آزمایش

این آزمایش شامل ۶ مرحله به شرح زیر است :

- ۱) پاک کردن اولیه: به منظور تمیز کردن سطح قطعه کار از آلودگی‌های مختلف از تمیزکننده فرار (مانند تینر) استفاده می‌شود. سطح نمونه به ماده تمیزکننده آغشته می‌شود و با پارچه آن را خشک می‌کنند.
- ۲) اعمال مواد نفوذکننده*: سطح قطعه مورد آزمایش را با محلول نفوذکننده آغشته می‌کنند و حدود ۵ دقیقه فرصت می‌دهند تا مواد نافذ به درون ترک‌ها و منافذ نفوذ کنند. رنگ این مواد معمولاً قرمز است.

- ۳) پاک کردن ثانوی: تمیز کردن سطح نمونه از مواد نفوذکننده؛ برای این کار از پارچه آغشته شده به مواد تمیزکننده استفاده می‌شود و از پاشیدن مستقیم مواد تمیزکننده به سطح نمونه بایستی اجتناب کرد.
- ۴) اعمال مواد ظهور*: آغشته کردن سطح نمونه با ماده ظهور؛ این ماده معمولاً حالت جذب‌کننده و خشک دارد و مواد نافذ جذب و به درون آن رخنه و به بالا کشیده می‌شوند و عیوب احتمالی ظاهر می‌شوند. رنگ این مواد معمولاً سفید است.
- ۵) تفسیر*: شکل عیوب ظاهر شده روی سطح ماده آشکارساز (به رنگ قرمز در زمینه سفید) با توجه به شکل هندسی تفسیر و در مورد آنها تصمیم‌گیری می‌شود.
- ۶) تمیزکاری نهائی*: بعد از تفسیر عیوب، سطح نمونه بایستی از مواد آزمایش تمیز گردد. در این آزمایش ممکن است به جای مایعات نفوذکننده معمولی از مواد همراه با فلورسنت استفاده شود که مرحله تفسیر آن نیز با چراغ ماوراءبنفش انجام می‌گیرد. همچنین در تولیدات سری، نمونه‌ها را در حوضچه‌های پر شده با مواد نافذ شناور می‌کنند و مراحل آزمایش به ترتیب گفته شده در فوق انجام می‌گیرد.

۲-۷-۵- مزایای آزمایش با مایعات نافذ

مزایای این آزمایش به شرح زیر است:

- ۱) عیوب خطرناک مانند ترک‌ها که اکثراً به سطح راه دارند مانند ترک‌های ناشی از خستگی، ترک‌های خوردگی همراه با تنش و ترک‌های ناشی از شکل‌دهی و خمکاری فلزات، با این آزمایش به خوبی نمایان می‌شوند.
- ۲) بر روی تمام قطعات جامد مانند فلزات، شیشه، سرامیک و ... قابل اجراء می‌باشد.
- ۳) بر روی قطعاتی که شکل هندسی منظمی ندارند قابل اجراء می‌باشد.
- ۴) تفسیر عیوب به راحتی و سادگی انجام می‌گیرد.

۵) از عیوب ظاهر شده می‌توان با دوربین معمولی عکس یا فیلم ویدیویی به عنوان مستند تهیه نمود.

۶) هزینه آن نسبت به بقیه آزمایش‌ها بسیار پائین است.

۷) ایمنی کار نسبت به آزمایش‌های پرتونگاری بیشتر است.

۸) نتیجه‌گیری و گزارش‌دهی در محل صورت می‌گیرد.

۳-۷-۵- معایب آزمایش با مایعات نافذ

معایب این آزمایش به شرح زیر است:

۱) این آزمایش قادر به نمایان کردن و کشف عیوب زیر سطحی نمی‌باشد.

۲) این آزمایش برای قطعاتی که سطح آنها دارای خلل و فرج زیاد باشند مانند قطعات چدنی مناسب نیست.

۳) در صورتیکه سطح نمونه با گریس یا روغن آغشته باشد، انجام این آزمایش میسر نیست.

۴) این آزمایش در دمای بالای ۵۰ درجه و زیر نقاط انجماد مواد نافذ و آشکارساز قابل اجراء نمی‌باشد.

۸-۵- آزمایش با فشار آب*

آزمایش با فشار آب یکی از آزمایشات مهم در فرآیند تولید لوله و هم جهت با کارهای مورد انتظار از لوله‌ها است. لوله‌ها بایستی در مقابل فشار درونی مقاومت لازم را داشته باشند تا در خطوط لوله با اطمینان از آنها استفاده شود. برای این کار دستگاه‌هایی طراحی شده‌اند که ضمن نگهداشتن لوله‌ها در شرایط قابل رؤیت برای اپراتور، فشار آب تعیین شده به آنها اعمال می‌گردد. به همراه آب ماده روغنی قابل حل در آب جهت روانکاری دستگاه‌ها و جلوگیری از زنگ زدن سطح داخلی لوله‌ها بنام Z Oil به آب اضافه می‌گردد.

فشار آزمایش با در نظر گرفتن عوامل ایمنی و شرایط استاندارد مربوطه مطابق قانون بارلو محاسبه می‌شود.



شکل ۲۴-۵ دستگاه آزمایش با فشار آب لوله

۱-۸-۵- نکات مهم در آزمایش با فشار آب

نکات مهم در آزمایش با فشار آب به شرح زیر است:

در این آزمایش ثبت و گزارش دقیق؛ فشار، زمان، شماره لوله و قابلیت ردیابی ضروری است. همچنین تمام طول لوله بایستی تحت فشار آزمایش قرار گیرد. همانطوری که در شکل ۵-۲۴ قابل مشاهده است، مقدار کمی از دو سر لوله در نشیمنگاه یا فلنج قرار می‌گیرد. این قسمت‌ها از دو سر لوله، با توجه به تکیه‌گاه پشت آن مورد آزمایش دقیق واقع نمی‌شوند. البته مقداری از این قسمت‌ها در ایستگاه پخش با عملیات براده‌برداری برداشته می‌شوند.

۲-۸-۵- محل استقرار دستگاه آزمایش با فشار آب

دستگاه آزمایش با فشار آب بعد از عملیات تولید لوله و انجام سایر عملیات شکل‌دهی، جوشکاری، تعمیرات و انبساط سرد نصب می‌شود.

۳-۸-۵- مراحل آزمایش با فشار آب

مراحل آزمایش با فشار آب لوله‌ها به ترتیب زیر است:

شستشو، استقرار لوله در نشیمنگاه، تزریق آب با فشار، تخلیه هوا، بسته شدن کامل دو سر لوله، اعمال تدریجی فشار توسط پمپ‌ها، رساندن فشار به حد استاندارد، ایستادگی لوله در فشار تعیین شده به مدت زمان لازم، علامت‌گذاری لوله آزمایش شده، ثبت فشار و زمان و تنظیم گزارشات

جدول ۲-۵ واژگان فصل پنجم

نام واژه	تعریف واژه
Ultrasonic Testing	آزمایش با امواج صوتی
Hydrostatic Test	آزمایش با فشار آب
Eddy Current Testing	آزمایش جریان گردابی
Magnetic Particles Testing	آزمایش ذرات مغناطیسی
Liquid Penetrant Testing	آزمایش مایعات نفوذکننده
Dimentional & Visual Inspection	بازرسی چشمی و کنترل ابعاد
Demagnetize	برطرف کردن پسماند مغناطیسی
Pulse	پالس، علائم ظاهر شده در صفحه مانیتور
Pulse Echo	پالس رفت و برگشت
Normal Single crystal	پرآب ۹۰ درجه تک کریستال
Angle beam probe	پرآب ارسال امواج با زاویه
Scattering	پراکندگی
Radiography Digital	پرتونگاری بدون فیلم، دیجیتال
Stress Corrosion Cracking (S.C.C)	ترک‌های ناشی از تنش و خوردگی
Fatigue Cracks	ترک‌های ناشی از خستگی
Resonance	تشدیدکننده
Image definition	تعریف، شرح تصاویر
Interpretation	تفسیر
Final Cleaning	تمیزکاری نهایی
Infrasonic	توانایی شنود، فروصوتی
Sensitivity	حساسیت
Double Wall Double Image	دو دیواره و دو تصویر
Double Wall Single Image	دو دیواره و یک تصویر
Coupling	رابط بین پروب و قطعه مورد آزمایش
Procedure	روش
Transit Time	زمان عبور

نام واژه	تعریف واژه
Shielding	سپر، پوشش، حفاظ
Quality Control Plan	طرح کنترل کیفیت
Through Transmission	عبور از میان دیواره‌های حفاظ
Application of Developer	عملیات ظهور
Application of Penetrant	عملیات مایع نفوذکننده
Distance	فاصله
Inductance	القایی
Quartz	کوارتز، سنگ مخصوص
Rescue Group	گروه نجات و امتداد
General Public	مردم عادی
Magnet	مغناطیس
Impedance	مقاومت ظاهری
Metol Developer	مواد ظهور
Far Zone	ناحیه دور
Dead Zone	ناحیه کور، مرده
Near Zone	ناحیه نزدیک
Half Life	نیم‌کننده
Rem	واحد سنجش اشعه جذب شده در بدن جانداران
Target	هدف
Single Wall Single Image	یک دیواره و یک تصویر

پیوست فصل پنجم

جدول ۳-۵ فرم نمونه طرح کنترل کیفیت ((Q.C.P))

ساخت لوله‌های فولادی انتقال گاز

IGS-M-PL-001-2(01) مطابق استاندارد

Company's LOGO		Quality Control Plan						
Client:		Equipment Description:				Document No:		
Project:						Rev.		
Purchase Order No:		Reference Standard/Specification:				Date:		
Sir No.	Description	Ref. Standard /Spec	Test frequency	Acc. criteria	Docum.	Inspection stag		Remark
						Manuf.	Client/ T.P.I	
1	Material							
1.1	Steel making							
1.2	Type of Plate rolling							
1.3	Marking							
1.4	N.D.T							
1.5	D.T							
1.6	Chemical composition							
1.7	Welding material (electrodes & powder)							
1.8	Inspection report							
2	Forming							
2.1	Edge preparation							
2.2	Final dimension							
2.3	Marking & recording							

2.4	Type of forming							
3	Welding							
3.1	Tack weld (No of w.p.s)							
3.2	Pre inspec..							
3.3	Inside weld (No of w.p.s)							
3.4	Outside weld (No of w.p.s)							
4	weld repair							
4.1	Preparation& remove of defect							
4.2	type ofwelding (No of w.p.s)							
5	Expand							
5.1	Type of expand							
5.2	Percent of expand							
6	Hydrostatic test							
6.1	Percent of pressure (%)							
6.2	test pressure							
6.3	Holden time at max pre...							
6.4	Report & recording							
6.5	Marking of tested pipe							
7	N.D.T							
7.1	U.T							
7.2	R.T							
7.3	M.P.I							
8	D.T							
8.1	BODY D.T							

8.2	TENSIAL							
8.3	Charpy							
8.4	Bend							
8.5	Hardness							
8.6	Metallogra.							
8.7	retest							
9	Dimensional							
9.1	diameter							
9.2	Out of roundness							
9.3	W.T							
9.4	Straightness							
9.5	Length							
9.6	Weld dimensional							
10	Workmansh. & V.I							
10.1	V.I in & out side							
10.2	Tolerance of surface defect							
10.3	Result of all testing							
11	First day production test							
11.1	Selected pipe							
11.2	N.D.T							
11.3	U.T							
11.4	XRAY							
11.5	M.T							
11.6	D.T							
11.7	T,Y,E, CVN, B,D.W.T.T All weld							
11.8	Weld ability test							

11.9	Macro residual stress test ((for S.A.W.H pipe))							
11.10	Report & documents							
12	Marking							
12.1	Type of Marking							
13	Handling & Storage							
14	Document & Release note							
Prepared		Checked			Approved			

توضیحات:

- ۱- بستگی به شرایط و چیدمان هر کارخانه هر کدام از چهارده فصل فوق شامل چند زیر فصل می‌شوند. برای نمونه تعدادی از زیرفصلها نیز نوشته شده است.
- ۲- تمام صفحات توسط تهیه‌کننده، مدیران کنترل، تضمین کیفیت سازنده و نماینده کارفرما مهر و امضاء می‌شوند.



فصل ششم

آزمایشات مخرب لوله‌های فولادی

آزمایش‌های مخرب لوله‌های فولادی انتقال نفت و گاز

این آزمایشات به منظور بررسی عناصر موجود در فولاد، سنجش مقاومت مکانیکی در مقابل نیروهای مختلف و شکل‌پذیری انجام می‌گیرد. در این رابطه از هر مجموعه‌ای از لوله‌های دارای شرایط یکسان از نظر تولید، ضخامت و قطر نمونه یا نمونه‌های انتخاب و بعد از آماده‌سازی مطابق شرایط استاندارد مربوطه آزمایش و گزارشات آنها ارائه می‌گردد. این گزارشات از اسناد مهم تولید لوله تلقی می‌شوند.

آزمایش‌های مخرب شامل آزمایش‌های زیر است:

۱-۶- آنالیز شیمیایی*

آنالیز شیمیایی در اکثر کارخانه‌های تولید لوله با روش‌های جدید انجام می‌گیرد. مبنای کار آن بر ایجاد جرقه الکتریکی روی سطح آماده شده، نمونه‌ای از اتصال قطب مثبت و منفی جریان الکتریسته در خلاء نسبی است. طیف جرقه به یک منشور منعکس می‌شود. طیف هر کدام از عناصر را شناسایی و تفکیک می‌کنند و با توجه به شدت طیف هر کدام از عناصر مقدار آنها در فولاد مشخص می‌شود. درصد عناصر با توجه به درجه یا رده تولید لوله‌ها با جداول درج شده در استانداردهای مربوطه مقایسه می‌شود.

قبل از آزمایش دستگاه روی نمونه مرجع تنظیم و بعد از اطمینان از صحت عملکرد آن، آزمایش انجام می‌گیرد.



شکل ۱-۶ نمونه آنالیز شیمیایی

عمده این عناصر شامل: کربن (C)، منگنز (Mn)، سیلیسیم (Si)، گوگرد (S) و فسفر (P) همچنین درصد بسیار کم عناصر آلیاژی مانند وانادیم (V)، نیوبیم (Nb)، تیتانیوم (Ti) مولیبدن (Mo) می‌باشد. در این آزمایش کربن معادل (CE) اهمیت زیادی دارد.

۲-۶- آزمایشات مکانیکی

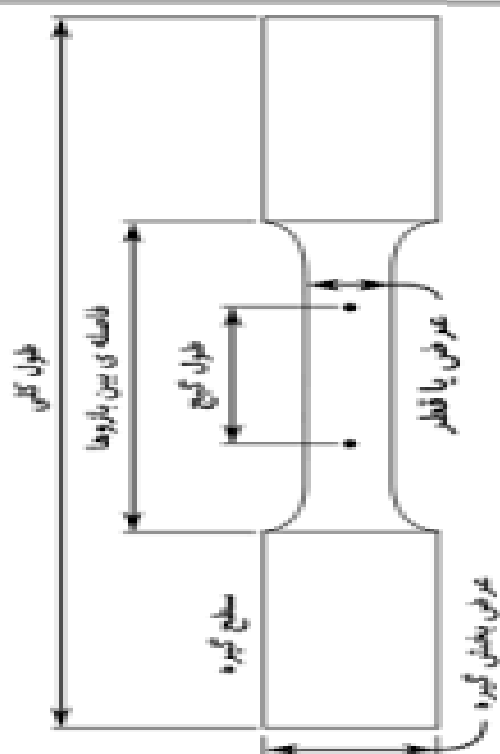
مهمترین آزمایش‌های مکانیکی لوله‌های انتقال نفت و گاز که روی جوش طولی و بدنه لوله‌ها مطابق استاندارد ASTM A 370 انجام می‌گیرد به شرح زیر است:

۱-۲-۶- آزمایش کشش*:

این آزمایش جهت بررسی تنش تسلیم* برای بدنه لوله‌ها، تنش گسیختگی* برای جوش و بدنه لوله‌ها و میزان درصد افزایش طول* برای بدنه لوله‌ها انجام می‌گیرد. شناخت خواص کششی فولادها اهمیت زیادی دارد و یکی از مهمترین راه‌های طبقه‌بندی لوله‌ها است که به دنبال آن کاربرد فولادها با توجه به تجزیه و تحلیل و مقایسه نتایج حاصل از این آزمایش صورت می‌گیرد.

به این منظور نمونه‌هایی به شکل زیر بصورت لوله کامل، تخت یا گرد، از بدنه لوله، جوش و بدنه و جوش خالص* تهیه و با دستگاه کشش کشیده می‌شوند.



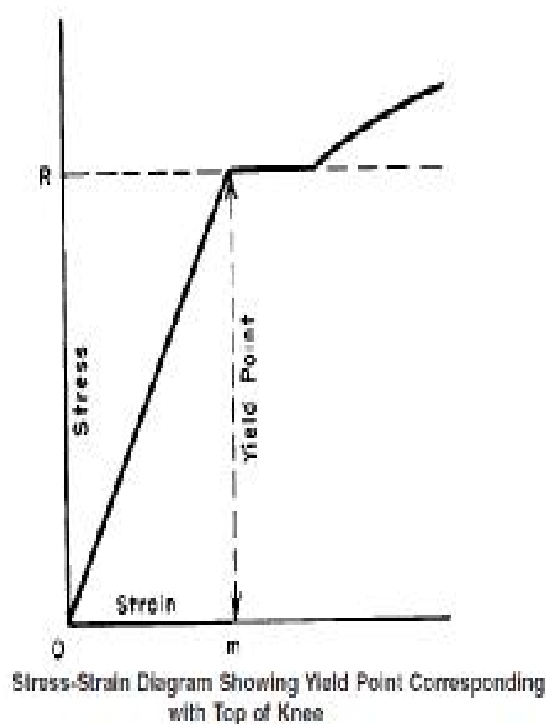


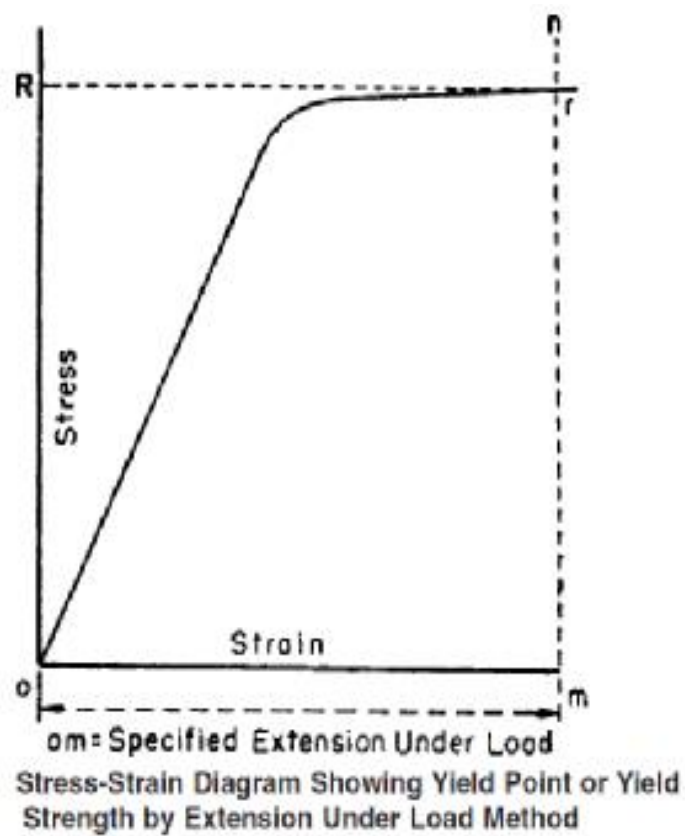
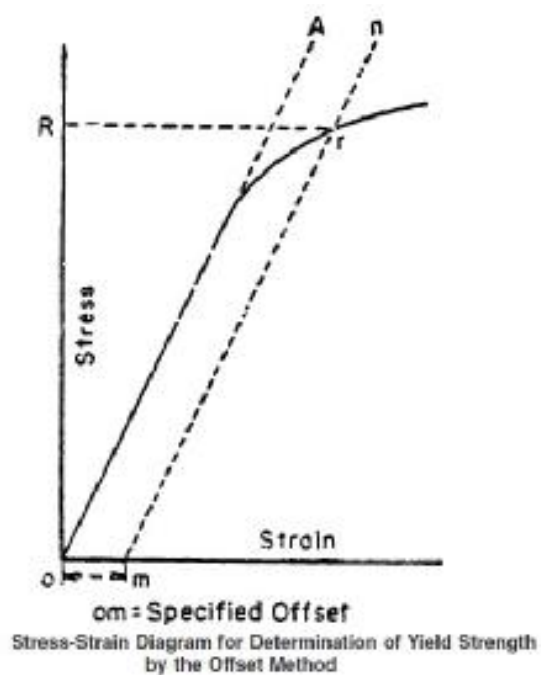
شکل ۲-۶: الف- ابعاد نمونه ب - نمونه‌های جوش ج - عملیات آزمایش کشش

نحوه اعمال نیرو و سرعت آن در این آزمایش دقت بیشتری لازم دارد. همچنین کالیبره بودن دستگاه توسط یک سازمان معتبر ضروری است. محل برداشت نمونه بدنه نسبت به جوش طولی و جهت آنها از اهمیت خاصی برخوردار است.

الف - محاسبه تنش تسلیمی:

طبق قانون هوک تا قبل از حد تسلیم، افزایش طول نمونه در حال کشش متناسب است، با مقدار نیروی کششی اعمال شده و بعد از آن با افزایش مقدار کمی نیرو ازدیاد طول بیشتری بوجود می‌آید. عبارتی مرز بین حالت پلاستیک و الاستیک را نقطه تسلیم* می‌گویند و از تقسیم این نیرو بر سطح مقطع اولیه نمونه، تنش تسلیمی بدست می‌آید. پیدا کردن نقطه تسلیم به روش‌های مختلفی مانند استفاده از پائین آمدن یا توقف نیروسنج* در زمان آزمایش، رسم منحنی* و حساسیت‌سنج* و استفاده از روش افسیت* صورت می‌گیرد. استفاده از هر کدام از روش‌های فوق مستلزم درج آن روش در گزارشات می‌باشد.





شکل ۳-۶ منحنی‌های تعیین تنش تسلیمی

ب- تنش گسیختگی*:

از تقسیم حداکثر نیروی کششی اعمال شده روی نمونه که باعث پارگی کامل نمونه می‌شود بر سطح مقطع اولیه نمونه، تنش گسیختگی بدست می‌آید. حداکثر نیرو از صفحه نیروسنج ماشین تنسایل یا مرتفع‌ترین نقطه در منحنی تنش و کرنش بدست می‌آید. نظر به اینکه الکترودهای جوشکاری بر مبنای تنش گسیختگی طبقه‌بندی می‌شوند، نتایج این آزمایش در انتخاب الکتروود جوشکاری اهمیت دارد.

مقدار درصد نسبت تنش تسلیم به تنش گسیختگی هر چه از عدد یک فاصله بگیرد نشان‌دهنده شکل‌پذیری خوب فولاد است. $((\frac{Y}{T} \times 100))$

ج - محاسبه میزان درصد افزایش طول*:

قبل از آزمایش دو نقطه در جهت طول نمونه به اندازه (L1) علامت‌گذاری می‌شوند و بعد از آزمایش فاصله دو نقطه اندازه‌گیری می‌شوند (L2) و در فرمول زیر (EL) یا درصد افزایش طول محاسبه می‌شود.

$$EL = \frac{(L2 - L1)}{L1} 100$$

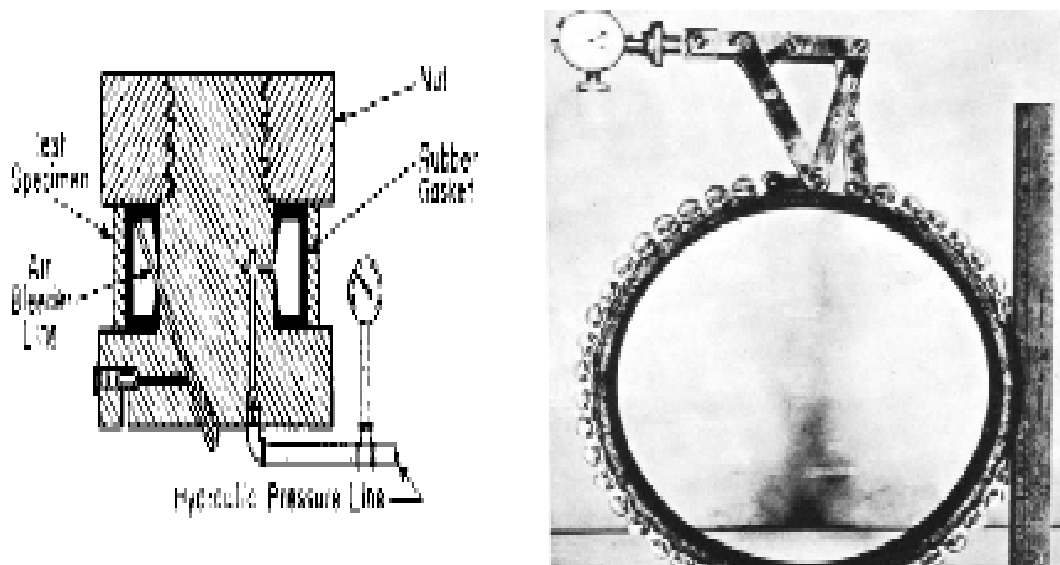
د - محاسبه تنش تسلیم عرضی از طریق انبساط لوله*:

در این روش حلقه‌ای کامل بعنوان نمونه آزمایش از لوله بریده می‌شود. نمونه را در محلی که برای این منظور طراحی شده است قرار می‌دهند و دور آن تسمه یا زنجیری جهت نگه‌داشتن حساسیت‌سنج بسته می‌شود. درون نمونه با روغن هیدرولیک کاملاً پر و هوای آن تخلیه می‌شود. با اعمال فشار داخلی مناسب، قطر لوله منبسط شده و تسمه و حساسیت‌سنج شروع به حرکت می‌کند. در این حالت مقدار فشار ثبت می‌گردد. با در نظر گرفتن فشار و ضخامت و قطر لوله مقدار تنش تسلیمی از فرمول زیر محاسبه می‌شود:

$$P = \frac{2ST}{D} \rightarrow S = \frac{P D}{2T}$$

در این فرمول: P فشار اعمال شده، S تنش تسلیمی، T ضخامت و D قطر لوله است. بر حسب پوند بر اینچ مربع psi است.

اعمال فشار در درون نمونه مشابه کارهایی است که مورد انتظار از لوله‌ها در خطوط لوله می‌باشد و نتیجه آن بدلیل عدم نیاز به برش، ماشینکاری، تخت کردن و کار سرد روی نمونه، از اعتماد بیشتری نسبت به روش‌های دیگر برخوردار است.



شکل ۴-۶ تعیین تنش تسلیمی با استفاده از انبساط لوله

۲-۲-۶- آزمایش خمشی*

جهت بررسی شکل‌پذیری جوش، نمونه‌هایی در حالت‌های زیر آزمایش می‌شوند:

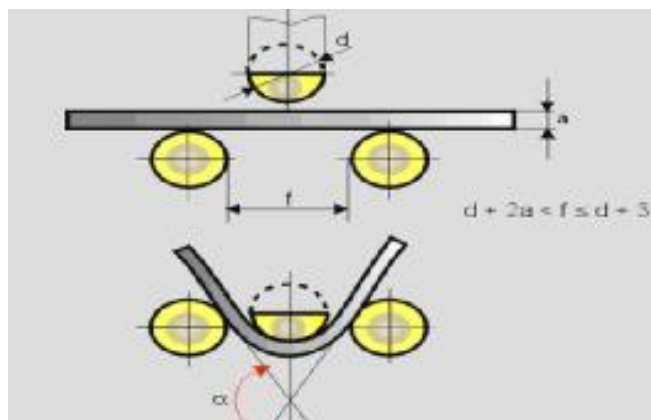
الف - آزمایش سطح بیرونی جوش*

در این حالت قسمت داخلی جوش فشرده می‌شود و قسمت خارجی جوش کشیده می‌شود.

ب- آزمایش سطح داخلی جوش*

در این حالت قسمت خارجی جوش فشرده می‌شود و قسمت داخلی جوش کشیده می‌شود. بعد از خاتمه آزمایش نمونه‌ها به دقت مورد بازرسی عینی قرار می‌گیرند و عیوب احتمالی ترک یا شکستگی در ناحیه جوش و منطقه حرارت دیده مورد بررسی قرار می‌گیرند.

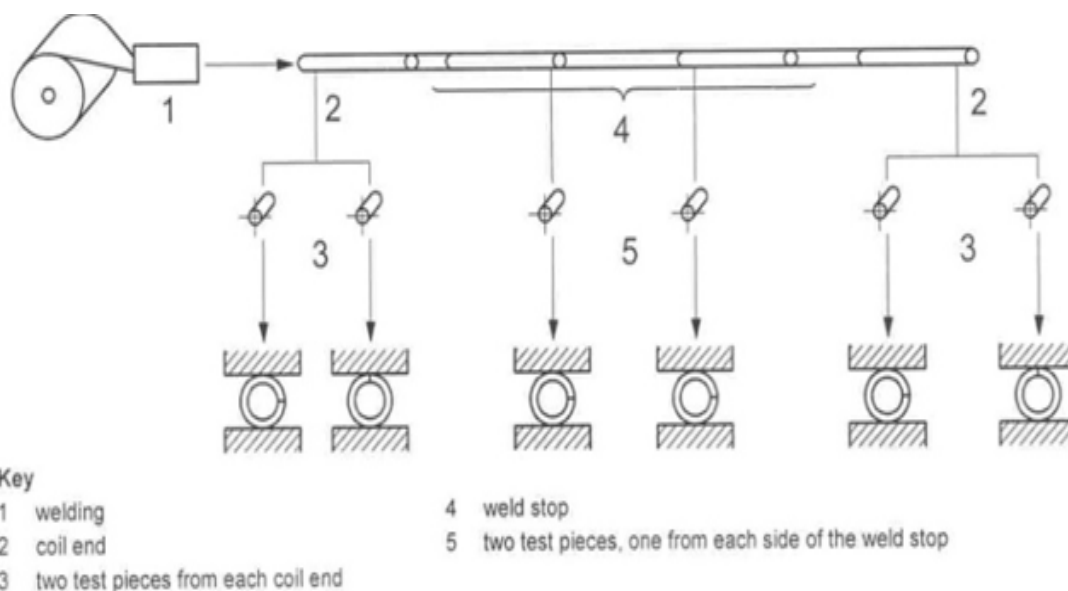
نکته قابل توجه در این آزمایش انتخاب قطر سر سمبه و تنظیم فاصله دو تکیه‌گاه از همدیگر که با توجه به ضخامت هر نمونه محاسبه می‌شود.



شکل ۵-۶ آزمایش خمش

ج-آزمایش مسطح کردن لوله‌های جوش مقاومت الکتریکی*

برای لوله‌هایی که با جوش مقاومت الکتریکی تولید می‌شوند آزمایش شکل‌پذیری به صورت مسطح کردن انجام می‌شود. به همین منظور از هر کلاف بعد از تبدیل به لوله مطابق شکل ۶-۶ چهار نمونه به صورت یک حلقه کامل از لوله مورد آزمایش قرار می‌گیرد.



شکل ۶-۶ محل برداشت نمونه آزمایش مسطح کردن

بازرسی دقیق نمونه‌ها در هنگام و بعد از آزمایش صورت می‌گیرد و عیوب احتمالی مطابق استاندارد مربوطه مورد بررسی قرار می‌گیرند. در آزمایش مسطح کردن نیرو در سه مرحله به شرح زیر انجام می‌شود:

الف- کنترل منطقه جوش و نواحی اطراف آن بعد از اعمال نیرویی که یک دوم یا یک سوم قطر لوله را فشرده کند. در این مرحله اگر آزمایش در حالت صفر درجه باشد، جوش داخلی و اگر در حالت ۹۰ درجه جوش بیرونی مورد بررسی واقع می‌شود.

ب- کنترل بدنه لوله بعد از اعمال نیرویی که دو سوم قطر لوله را فشرده کند، انجام می‌گیرد.

ج- کنترل منطقه جوش و نواحی اطراف آن بعد از اعمال نیرویی که دو لبه لوله را بهم برساند. در این مرحله اگر شکستگی در جوش بوجود آید سطح شکست مورد بررسی قرار می‌گیرد.

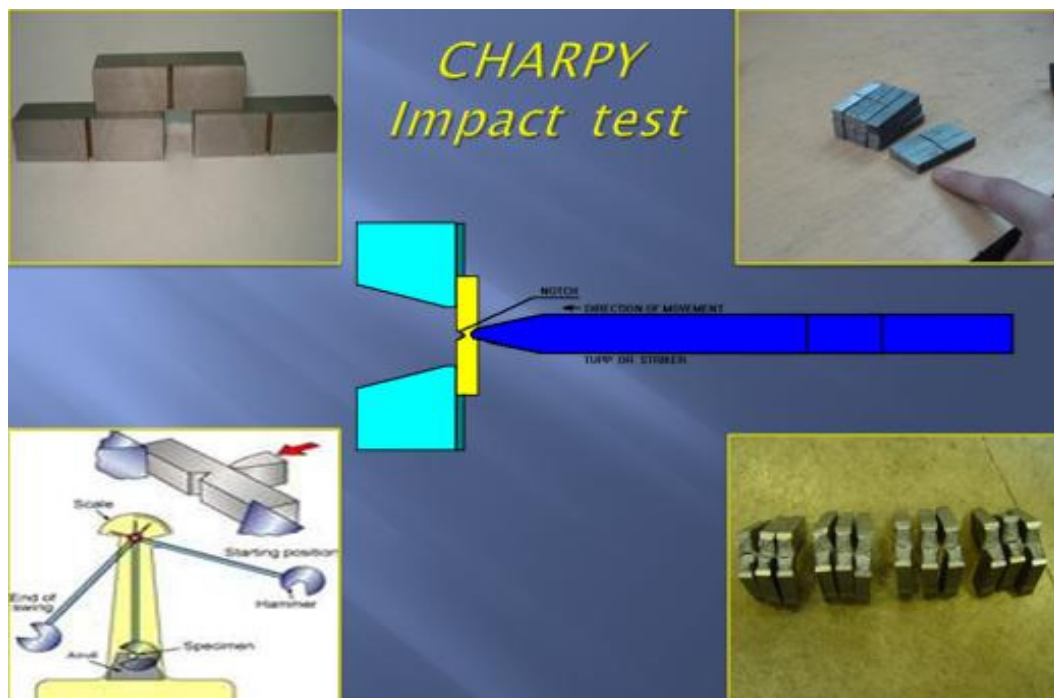


شکل ۶-۷ آزمایش مسطح کردن

۳-۲-۶-آزمایش ضربه*

برای سنجش مقاومت به ضربه در دمای‌های پائین؛ جوش، ناحیه مجاور آن و بدنه، نمونه‌هایی مانند تصاویر شکل ۸-۴ تهیه و میزان انرژی جذب شده آنها را مشخص می‌کنند. سطح شکست نمونه‌ها نیز به منظور بررسی نوع شکست و درصد Shear محاسبه می‌شود. در

این آزمایش ابعاد، محل برداشتن نمونه و نوع شیار بسیار مهم است. همچنین درجه حرارت باتوجه به ضعف عمده فولادها در دماهای پایین از نکات قابل توجه در این آزمایش می باشد.



شکل ۸ - ۶ آزمایش مقاومت به ضربه

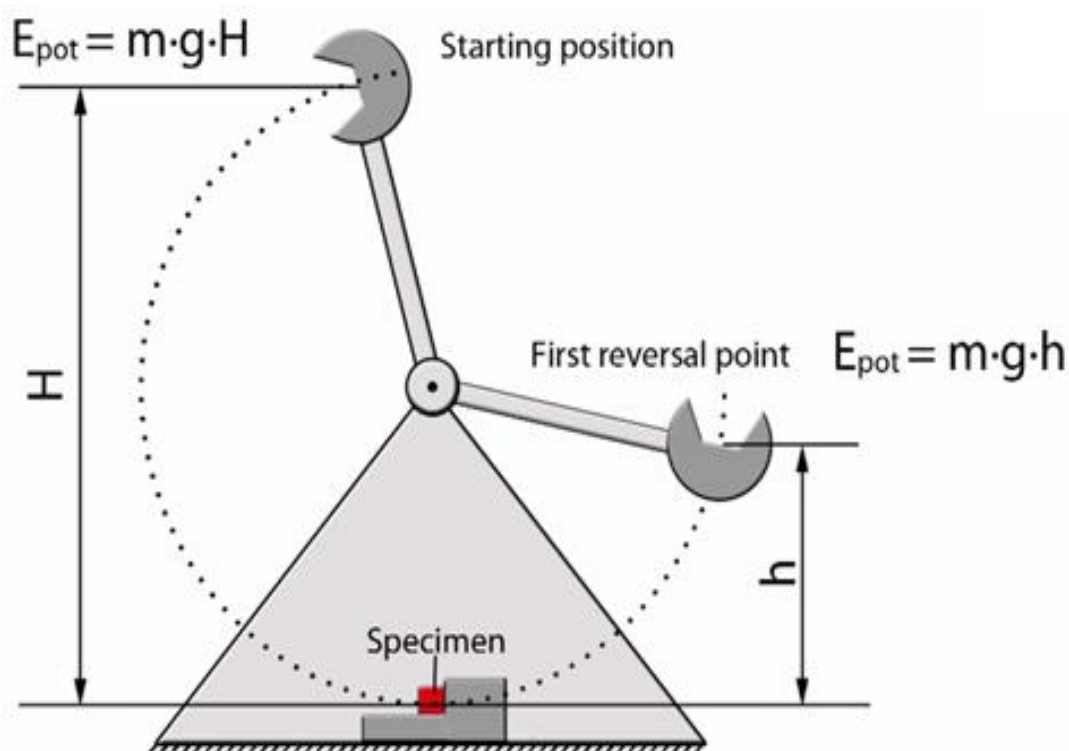
تعداد نمونه و محل برش برای هر اندازه و نوع لوله در جداول استاندارد درج شده است. نمونه های بدنه از زاویه ۹۰ درجه نسبت به جوش طولی که ضعیف ترین منطقه لوله، بعد از جوش طولی تلقی می شود، برداشته می شوند.

محاسبه انرژی جذب شده

همانطوری که در شکل ۹-۶ قابل مشاهده است، انرژی اولیه پاندول بر اثر برخورد با نمونه و شکست آن، مقداری از آن جذب می شود که هدف این آزمایش محاسبه انرژی جذب ناشی از مقاومت نمونه است. این انرژی از فرمول زیر محاسبه می شود.

$$E_{pot} = M \cdot g (H - h)$$

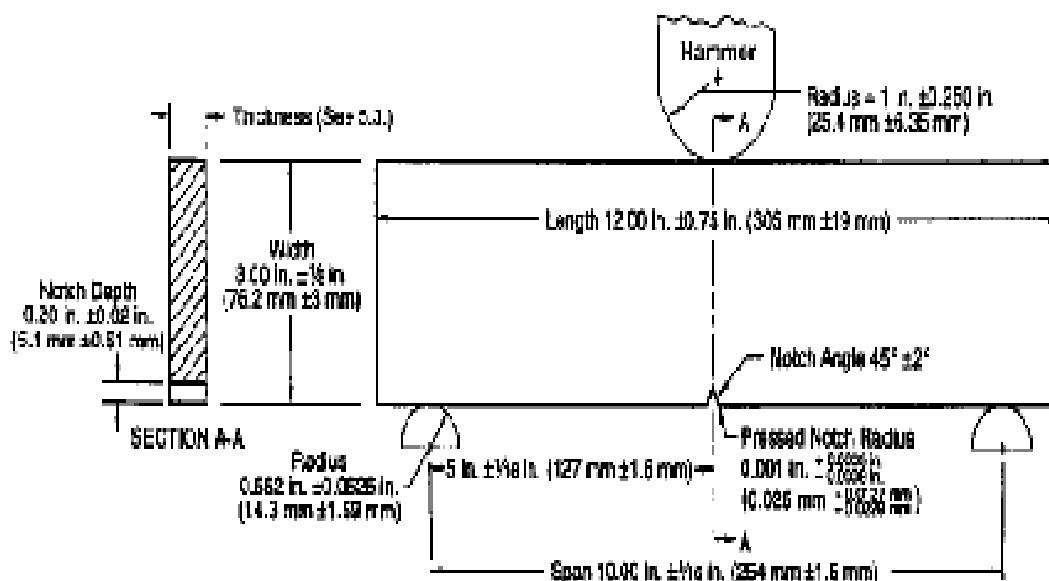
در این فرمول E_{pot} انرژی جذب شده، M وزن پاندول، g شتاب ناشی از کرنش زمین (۹.۸)، H ارتفاع اولیه و h ارتفاع ثانویه است.



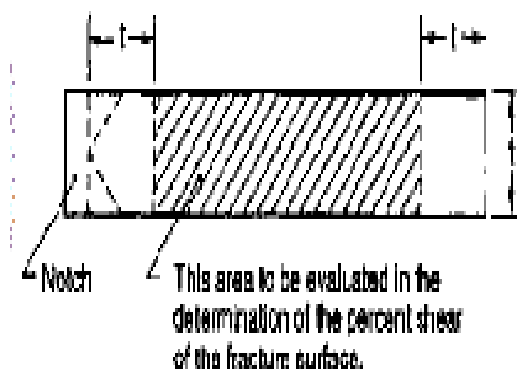
شکل ۹-۶ آزمایش ضربه

۴-۲-۶- آزمایش سقوط آزاد وزنه*

این آزمایش به منظور اندازه‌گیری درصد Shear بکار می‌رود. نمونه آزمایشی مطابق شکل‌های ۱۰-۶ و ۱۱-۶ و در جهت پیرامون آن تهیه می‌شود و یک شکاف در مرکز نمونه برای هدایت جهت شکست ایجاد می‌شود. نمونه‌ها در دمایی که استاندارد مرجع تعیین کرده است در مدت زمانی تعریف شده در فریزر نگهداری می‌شوند و بعد از جذب دمای لازم توسط سقوط آزاد وزنه شکسته می‌شوند. بعد از شکست سطح نمونه قسمتهای Shear که رنگ تیره دارند، به روش‌های مقایسه با: تصاویر مرجع* یا با نمونه‌های استاندارد یا نمونه‌های واقعی و یا از طریق فرمول محاسبه می‌شود. در این محاسبه قسمت شکاف خورده و از هر طرف نمونه به اندازه یک ضخامت حذف و سطح باقیمانده به شکل‌های هندسی (مربع، مستطیل، مثلث و ...) تقسیم می‌شوند و در نهایت جمع درصد سطوح Shear محاسبه می‌شود.



شکل ۱۰-۶ آزمایش سقوط آزاد وزنه



شکل ۱۱-۶ محاسبه سطح شکست آزمایش ضربه

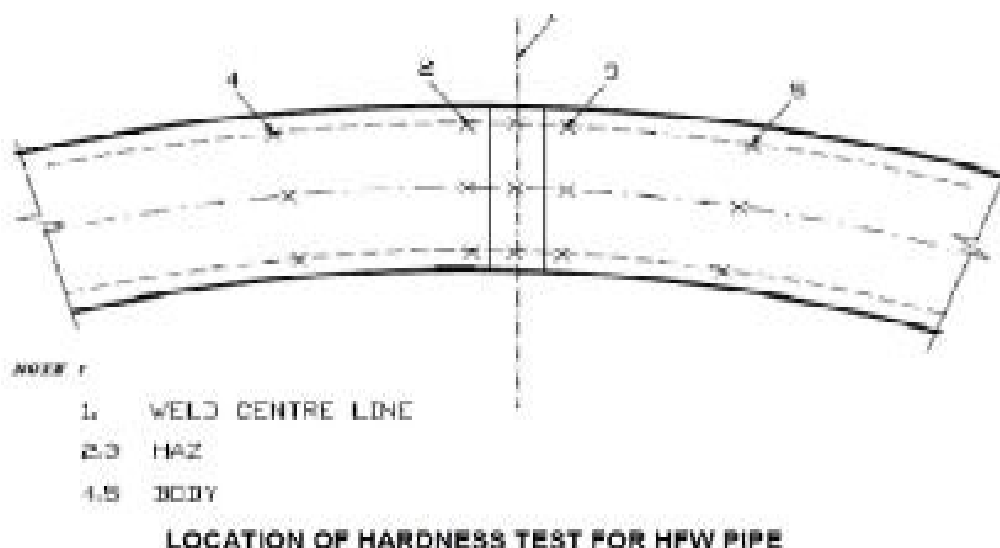
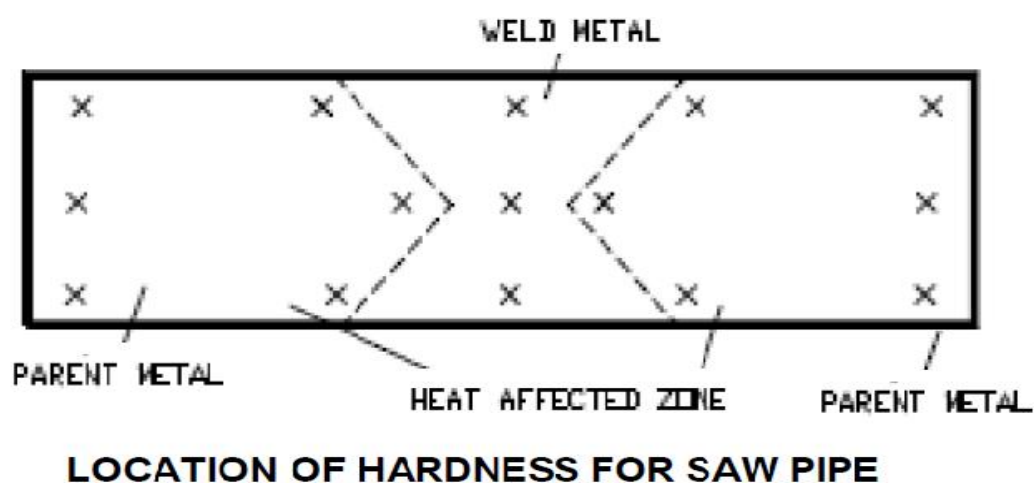
رسم نمودار در آزمایشات ضربه*

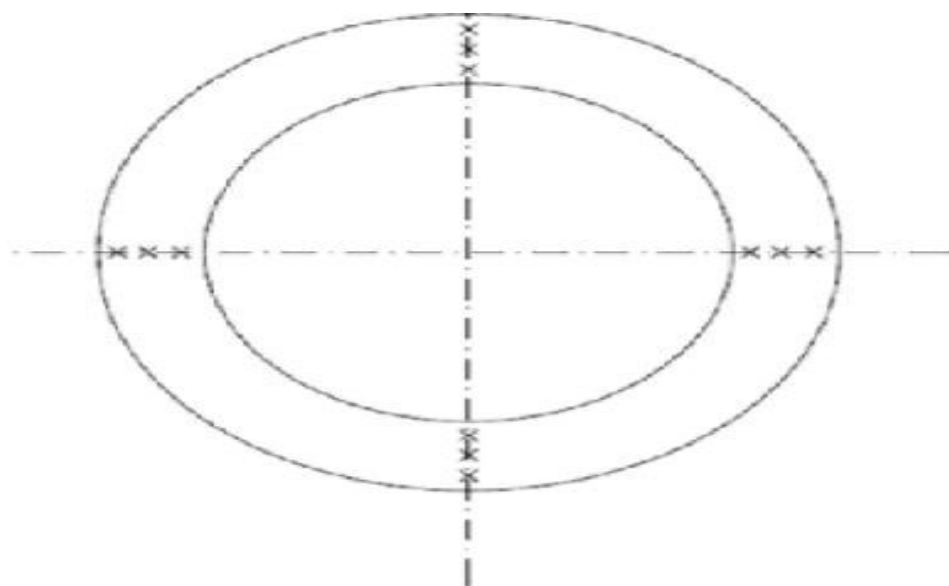
رسم نمودار، رفتار مقدار انرژی جذب شده، نسبت تغییرات دما یکی از آزمایشات تایید روش تولید است. این گزارش در بازه دمای حداقل تا حداکثر دمای طراحی بصورت پلکانی به فواصل ۱۰ درجه سانتیگراد روی نمونه‌های ضربه انجام می‌گیرد. نمونه‌های این آزمایشات از جوش، ناحیه متأثر از گرما و بدنه لوله‌ها گرفته می‌شود.

همچنین رسم نمودار که نشان‌دهنده درصد Shear نسبت به تغییرات دما با شرایط دمای طراحی برای آزمایشات ضربه و سقوط آزاد وزنه نیز انجام می‌شود.

۵-۲-۶- آزمایش سختی سنجی*

سختی عبارت است از مقاومت یک جسم در مقابل نفوذ اجسام دیگر. این آزمایش به منظور بررسی سختی بدنه لوله بعد از عملیات فرم‌دهی و همچنین سختی جوش و ناحیه مجاور آن و مقایسه آنها با استانداردهای مربوطه به شکل‌های زیر انجام می‌گیرد.

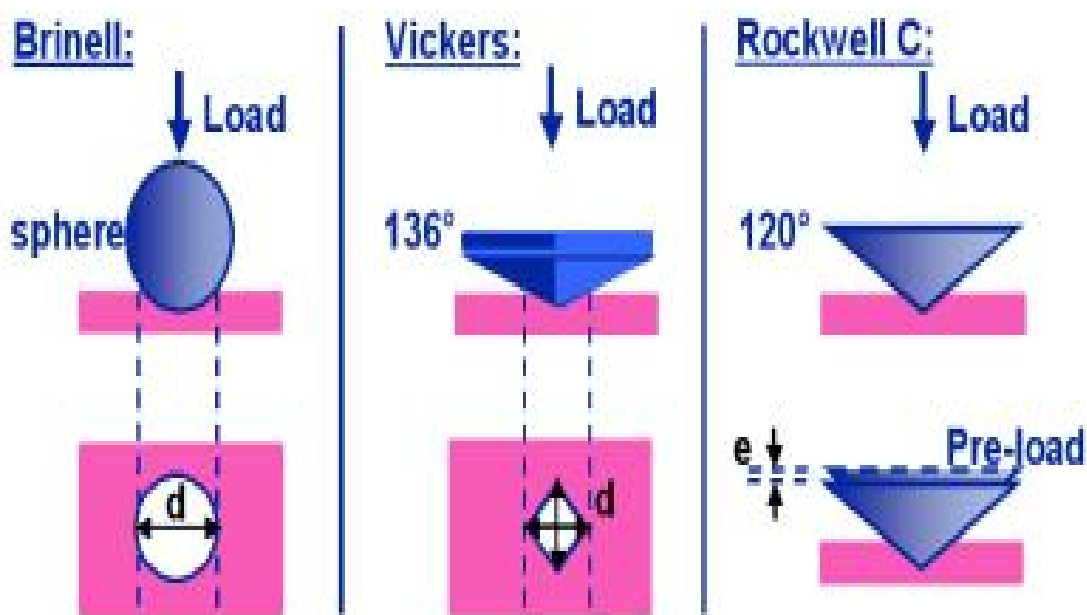




LOCATION OF HARDNESS TEST FOR SMLS PIPE

شکل ۱۲-۶ محل آزمایش سختی سنجی

روشهای اندازه گیری سختی به شرح زیر است. این روشها قابل تبدیل به همدیگر نیز می باشند. همچنین از نتایج حاصل از این آزمایشات تنش تسلیمی و تنش گسیختگی بصورت تقریبی قابل حدس زدن می باشند.



شکل ۱۳-۶ انواع آزمایش سختی سنجی

الف - سختی سنجی برینل HB

با اعمال نیرو روی ساچمه سخت شده با قطر استاندارد در مدت معین روی نمونه اثری از خود برجای می‌گذارد. سختی برینل از حاصل تقسیم نیرو بر سطح اثر بدست می‌آید.

ب - سختی سنجی ویکرز HV

با اعمال نیرو روی یک الماس به شکل هرم مربع‌القاعده با زاویه ۱۳۶ درجه در مدت معین روی نمونه اثری از خود بر جای می‌گذارد. سختی ویکرز از حاصل تقسیم نیرو بر سطح اثر بدست می‌آید.

ج - سختی سنجی راکول

این آزمایش به دو روش زیر انجام می‌گیرد:

(۱) راکول بی HRB

با اعمال نیروی معین طی دو مرحله روی ساچمه سخت شده با سطح مقطع هرم مربع‌القاعده با زاویه ۱۲۰ درجه در مدت معین روی نمونه اثری از خود برجای می‌گذارد. سختی HRB از حاصل عمق نفوذ در سطح نمونه بدست می‌آید. جهت آزمایش قطعات با سختی متوسط از این روش استفاده می‌شود.

(۲) راکول سی HRC

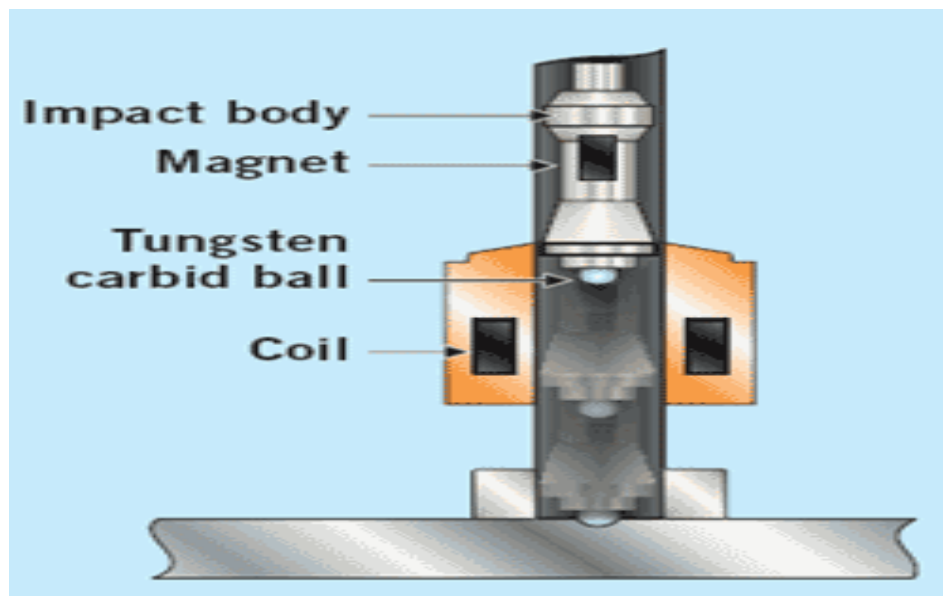
با اعمال نیروی معین طی دو مرحله روی یک الماس به شکل هرم مربع‌القاعده با زاویه ۱۲۰ درجه در مدت معین روی نمونه اثری از خود برجای می‌گذارد. سختی HRC از حاصل عمق نفوذ در سطح نمونه بدست می‌آید. جهت آزمایش قطعات با سختی بالا از این روش استفاده می‌شود.

د - سختی سنج‌های متحرک*

این دستگاه‌ها قابل حمل می‌باشند و بدون نیاز به برش نمونه عملیات آزمایش و نتیجه‌گیری سریع و در کارگاه انجام می‌گیرد. این آزمایشات غیرمخرب می‌باشند و به قطعات آسیب نمی‌رسانند. انواع مختلفی از آنها وجود دارد ولی کاربردی‌ترین آنها به شرح زیر است:

(۱) سختی سنج ساچمه‌ای

وسیله‌ای کوچک برای سنجش تقریبی سختی استفاده می‌شود. از تکنولوژی رهاسازی ساچمه و میزان پرش آن بعد از برخورد با سطح فلز مورد آزمایش استفاده شده است. در مسیر ساچمه کوئیل قرار دارد که سرعت اولیه و برگشتی را معین می‌کند. هر چه سختی قطعات زیادتر باشد جذب ضربه ساچمه کمتر است و ساچمه با انرژی بیشتری برمی‌گردد و ارتفاع بیشتری پرش می‌کند. طبعاً قطعات نرم انرژی ضربه را بیشتر جذب می‌کنند و ساچمه پرش کمتری می‌کند.



شکل ۱۴-۶ دستگاه سختی سنج ساچمه‌ای

(۲) سختی سنج با امواج صوتی

روش این آزمایش از نظر ایجاد فرورفتگی روی سطح نمونه مانند روش ویکرز است ولی عمق اثر کمتر و محاسبه آن به روش امواج صوتی انجام می‌گیرد.



شکل ۱۵-۶ دستگاه آزمایش سختی سنج با امواج صوتی

۶-۲-۶- آزمایش متالگرافی و ماکروگرافی*

برای بررسی ساختار درونی فولاد و اطمینان از نفوذ کافی حرارت القا شده به جوش مقاومت الکتریکی و همچنین ادغام جوش‌های نگهدارنده در جوش اصلی زیرپودری آزمایش ماکروگرافی به شرح زیر انجام می‌شود:

- الف- آماده‌سازی نمونه‌ها مشابه نمونه‌های سختی‌سنجی انجام می‌گیرد.
- ب- نمونه‌های اچ و مانت شده زیر میکروسکوپ مورد مطالعه قرار می‌گیرند.
- ج- میزان نفوذ حرارت پس‌گرمی در جوش مقاومت الکتریکی و ادغام یا عدم ادغام جوش‌های نگهدارنده در جوش اصلی زیرپودری بررسی و گزارش می‌شوند.

۶-۲-۷- آزمایشات لوله‌های انتقال گاز ترش، دریایی و ساحلی

اضافه بر آزمایشات فوق، آزمایشات زیر مخصوص لوله‌های انتقال گاز ترش، لوله‌های دریایی و ساحلی نیز مطابق استانداردهای NACE TM0284 & TM0177 انجام می‌گیرد:

- الف- تنش خمشی در محیط اسید سولفوریک*
- ب- تنش خمشی در محیط هیدروژن*
- ج- پیشروی نوک ترک*
- د- جابجایی نوک ترک*

جدول ۱-۶ واژگان فصل ششم

تعریف واژه	نام واژه
آزمایش با امواج صوتی	Ultrasonic Testing
آزمایش انبساط رینگ برای تعیین تنش تسلیمی	Ring Expansion
آزمایش پیشروی نوک ترک	Step Wise Cracking (SWC)
آزمایش خمش	Bend Test
آزمایش خمش در جهت جوش بیرونی	Face Bend
آزمایش خمش در جهت ریشه جوش	Root Bend
آزمایش سختی سنجی	Hardness Test
آزمایش سقوط آزاد وزنه	Drop Weight Tear Testing (D.W.T.T)
آزمایش ضربه	Charpy Impact Test
آزمایش مسطح کردن	Flat test
آنالیز برای تعیین عناصر شیمی	Chemical Composition
استحکام تسلیمی	Yield Strength
استحکام کششی	Tensile Strength
افزایش طول در آزمایش کشش	Elongation
پیشروی و گسترش نوک ترک	(CTPDCrack Tip Opening) Displacement
ترکهای تنشی در محیط اسید سولفوریک	Sulfide (H2S) Stress Cracking (SSC)
ترکهای ناشی از نفوذ هیدروژن	Hydrogen Induced cracking (HIC)
توافقی برای تعیین نقطه تسلیمی	Offset Method
جوش خالص (آزمایش کشش)	All Weld (tensile test)
دستگاه اندازه گیری انبساط	Extensometer
رسم منحنی برای تعیین نقطه تسلیمی	Autographic Diagram Method
روش پائین آمدن عقربه نیروسنج برای تعیین نقطه تسلیمی	Drop of the Beam or Halt of the Pointer Method
سختی سنج متحرک	Portable Hardness

نام واژه	تعریف واژه
Metallographic & Macrographic	متالگرافی و ماکروگرافی
Refrence	مرجع
Yield Point	نقطه تسلیمی
Transition Curve	نمودار مقدار انرژی جذب شده نسبت به تغییرات دما
Round	نمونه کششی بصورت میله گرد
Full Section	نمونه لوله کامل برای آزمایش کشش



منابع

فهرست منابع

فهرست منابع داخلی

ردیف	عنوان کتاب/مقاله	تالیف کننده	ناشر	سال انتشار
۱	آزمون‌های غیر مخرب	آقای مهندس قدسیانی	شرکت ملی گاز	۱۳۷۵
۲	بازرسی جوش	آقایان سعیدرضا و امیر دادخواه	آزاده	۱۳۸۵
۳	پرتونگاری صنعتی	آقای مهندس چوبک	امیرکبیر	۱۳۷۲
۴	علوم کاربردی مکانیک	آقای عبدالساده نیسی	لوله‌سازی اهواز	۱۳۸۷
۵	انتقال مایعات و طراحی خطوط لوله مایع	آقای مهندس احمد روحانی	بنیاد فرهنگی رضوی	۱۳۷۲
۶	مقالات سمینارهای خطوط لوله	نویسندگان سمینار سوم و چهارم	چشمه	۱۳۹۰
۷	شیمی (دانش روز برای همه)	خانم رباب اردکانی	علمی و فرهنگی	۱۳۸۷
۸	نامگذاری فولادها و الکترودها	مهندس صادق صناعی و مهندس کیانوش لنگوری	آرون	۱۳۸۸
۹	تکنولوژی جوشکاری	دکتر امیرحسین کوبی	جامعه ریخته‌گری ایران	۱۳۶۴
۱۰	اصول مهندسی نورد	دکتر محمد محسن مشکسار	دانشگاه شیراز	۱۳۸۴

ردیف	عنوان کتاب/ مقاله	تالیف کننده	ناشر	سال انتشار
۱۱	اصول فرآیندهای فلزکاری صنعتی	جفری رو مترجم: فریدون نیکبخت	مرکز نشر دانشگاهی	۱۳۷۳
۱۲	اصول شکل دادن فلزات	محمدباقر لیمویی	موسسه انتشاراتی دانش پژوهان فردا	۱۳۸۴
۱۳	ترجمه استاندارد API 5L	مهندس فریدون پرهام	شرکت ملی گاز	۱۳۹۱
۱۴	دپارتمان پژوهشی شرکت پاکمن / صفحه مهندسی مواد و متالورژی / مجله علمی ویکی پی جی			

فهرست منابع خارجی و استانداردها

ردیف	عنوان کتاب/ مقاله	تالیف کننده	ناشر	سال انتشار
۱	METAL HAND BOOK/ VOLUME 1	ASM	ASM International	2010
۲	METAL HAND BOOK / VOLUME 6	ASM	ASM International	2010
۳	AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND METRIALS (A 370)	ASTM	ASTM	2007
۴	AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS (B31.8)	ASME	ASME	2010
۵	AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS (B31.4)	ASME	ASME	1994
۶	AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE	API 5L	API 5L	2012
۷	AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE	API(1104)	API(1104)	2012
۸	AMERICAN WELDING STANDARD	AWS	AWS	2013
۹	IGS-M-PL-001-2	NIGC	NIGC	2016



پایان