فصل اول:

مقدمه

مقدمه

وجود تنش پسماند کششی داخلی در سازه می تواند باعث بالا رفتن سطح تنش از آنچه که در محاسبات در نظر گرفته شده است شودونهایتا موجب شکست قطعه گردد.این تنش ها در بار گذاری های متناوب و به ویژه درقطعات جوشی تحت بارگذاری متناوب،بیشترموجب تغییردرسطح تنشی که جسم می تواند تحمل کندمی گرددوبدلیل همین مساله عمرخستگی اجزای جوش بسیارکمتر از همان سازه در حالتی که بدون جوش باشدمی گردد. تنش های داخلی درسازه ها به مراتب مشکل سازترمی باشند.این تنشها علاوه برمسائل خاص خود،درزمینه تغییرشکل سازه نیزتاثیرگذاراست وباعث می گرددکه نتوان شکل سازه رابه راحتی بدست آورد.علاوه براین درسازه های جوشی به علت مسئله خاص آنهادرتولیدکه عموما باسردشدن سریع همراه است،درمنطقه جوش ساختاری تردوشکننده داریم وعموما منطقه جوش پرازانواع ترک هایی است که یادرهنگام تولیدبه وجود آمده اندویادرمراحل بعدازجوش درطی عمرقطعه بوجودمی آیندووجودتنش های داخلی کششی درسازه باعث رشداین ترکها ودرنهایتاً شکست سریعتر آنها می گردد.

اثبات شده است عمرخستگی یک سازه عبارت است از مجموع زمان لازم برای رشد ترک در جوش. چون ترک ها عموماً وجوددارندعمرخستگی آنها تنها برابر زمان رشداین ترک ها خواهدبودوچون تنش های پسماندکششی درسازه هاداریم زمان رشداین ترک ها نیز بسیارکمترخواهدبود.به عنوان مثال حدخستگی اتصالات لب به لب درفولادکم کربن به طور تقریبی ۵۰٪ وبرای اتصالات لب برلب تنها ۱۵تا ۲۵ درصدحدخستگی فلز پایه می باشد.دراتصالات جوشی فولادهای پراستحکام کاهش نسبی استحکام خستگی حتی ازاین هم بیشتراست. لذادرزمینه بهبودعمرخستگی سازه های جوشی برای افزایش عمرسازه های تحت بارخستگی زمینه تحقیقات فراوان وجوددارد. در این زمینه کارهای مختلفی انجام شده است که ازآن نمونه

به افزایش عمر خستگی توسط روش های حرارتی (مثل آنیل کردن) و روش های مکانیکی(مثل peening Hammer و Shot peening) می توان اشاره کرد. این روش ها عموماً با کاهش تنش های پسماندکششی ویا ایجاد تنش های فشاری پسماند که مانع بازشدن ورشدترک در سازه می گردند،باعث افزایش عمرخستگی سازه های جوشی می گردند. یکی ازروش هایی که جدیداً توانسته است قابلیت های خودرادرزمینه حذف تنش های پسماندویاجانشین کردن این تنشها باتنش های پسماندفشاری (باتوجه به سیستم طراحی شده) نشان دهد روش تنش زدایی به روش ضربات التراسونیکی به سطح می باشد. دراین روش ضرباتی که توسط ابزار التراسونیکی به قطعه واردمی شود،موجب تغییر فرم پلاستیک درمنطقه موردنظرمی گردد. باطراحی صحیح دستگاه وبراساس پارامترهای موجودمی توان تعیین کردکه آیاتنش های موجودحذف می شوندویااینکه علاوه برحذف تنشهای کششی تنش های پسماندفشاری نیز درجسم ایجادمی شود. البته باتوجه به مزیت وجودتنش فشاری که مانع بازشدن ورشدترک ها می گرددعموماً درطراحی به گونه ای عمل می کنندکه تنش های فشاری نیزدرمنطقه تحت عملیات ضربات التراسونیکی ایجاد شود. درفصل های مختلفی که درپی می آیدابتدا نحوه تشکیل تنش پسماندکششی در یک جوش بیان گردیده است،سپس اجزای اصلی یک دستگاه التراسونیکی شرح داده شده می شود،درادامه روش های مختلف تنش زدایی به طورخلاصه بیان شده است وروش ضربات التراسونیکی نیزبه طورکاملتری بررسی وبااین روش ها مقایسه شده است ومزایاومعایب آن مشخص گردیده است. همچنین اصول طراحی عملیات ضربات التراسونیکی برای یک اتصال جوشی ومراحل آن آمده ودرنهایت تعدادی ازکاربردهای ضربات التراسونیکی وآزمایش هایی که نشان دهنده بهبودجوش دراثراین عملیات می باشدنیزارائه گردیده است.

فصل دوم:

مفهوم التراسونیک

مفهوم التراسونیک

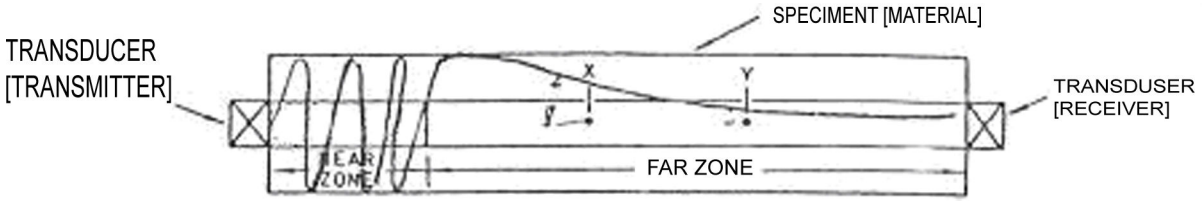
دستگاه التراسونیک : دستگاهی است که امواجی با فرکانس خیلی بالا تولید می کند که فرکانسش بیشتر از آستانه شنوایی است .(Infra sound 20 -20000 Hz) و فرکانس در آزمایش التراسونیک معادل ۰/۵ الی ۱۰ مگاهرتز می باشد. این دستگاه قادر است عیوب یا ناپیوستگی های ریز که معادل نصف طول موجش است را نشان دهد .(نصف طول موج = ناپیوستگی های قابل تشخیص درالتراسونیک). در مقابل ترانسدیوسر دستگاه ۳ ناحیه وجود دارد :

۱. Far field

۲. Near field

۳. Dead zone

(Near zone) : مکانی است که اگر ناپیوستگی ها در این منطقه قرار گیرند به صورت واضح ودقیق توسط دستگاه قابل تشخیص نمی باشدواین یکی از معایب روش ضربات التراسونیکی می باشد .



شکل۱-۲ نمایش قسمت های روبه روی ترانسدیوسر[۴]

(Far field or Far zone) : منطقه ای است که عیوب با دقت بالایی قابل تشخیص می باشند در این منطقه صوت حالت واگرایی دارد که این زاویه واگرایی به عواملی چون طول موج و قطر کریستال پراب و

فرکانس وابسته می باشد که با طول موج رابطه مستقیم و با فرکانس و قطر کریستال پـراب رابطـه معکـوس دارد.

پراب ها و دستگاه های التراسونیک (دستگاههای آنالوگ و دیجیتال و پراب های زاویـه ای و نرمال) :

دستگاه ها به دوصورت تقسیم می شوند:

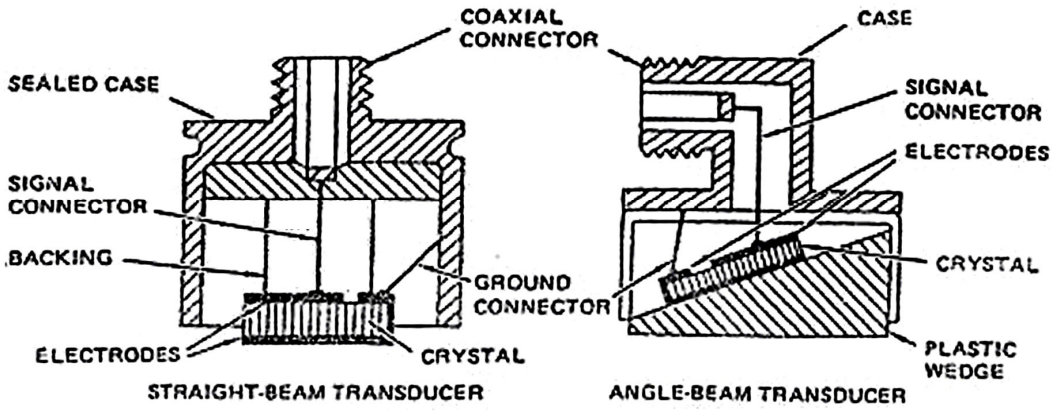
آنالوگ : در صنعت کاربرد چندانی ندارد بدلیل آنکه سرعت کارکردن با دستگاه کم است . ازاین دستگاه بیشتردرآموزشها و کارهای آزمایشگاهی استفاده می شود .

دیجیتال : بدلیل راحت و آسان بودن سیستم دستگاه و سرعت بالا برای کار،بیـشتر از ایـن نـوع دسـتگاه در صنعت استفاده می شود .

شکل۲-۲ انواع پراب ها[۴]

۱- پراب های زاویه دار(Angle) : اغلب استفاده این پراب در تست و بازرسی جوش است .

۲. پراب های نرمال(Normal) : اغلب استفاده این پراب ها برای تست و بازرسی سطوح است و برای تست جوش استفاده نمی شود .

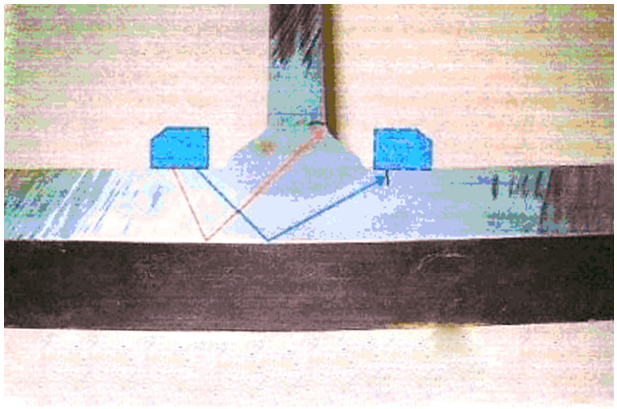


شکل ۳-۲ ترانسدیوسر زاویه ای و نرمال [۴]

روش های استفاده از پراب ها :

روش برگشت صوت (Puls – Echo) : در این روش تنها یک پراب استفاده می شود که هم فرستنده و هم گیرنده صوت است .

روش انتقال صوت(Throug Transmission) : در این روش ۲ پراب استفاده می شود که یکی فرستنده و دیگری گیرنده صوت است.



شکل ٤-۲ استفاده از پراب ها به روش انتقال صوت[۴]

نوع انتقال صوت در پراب ها به دو صورت است :

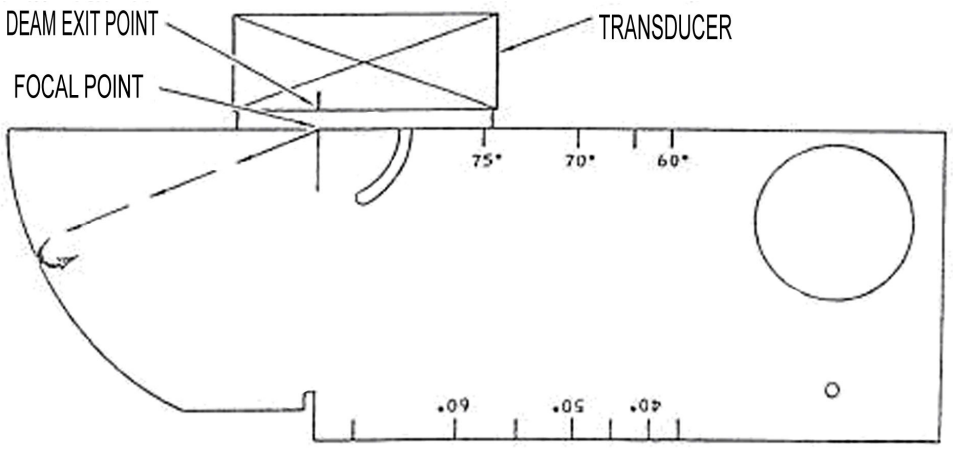
۱- پالس کوتاه (Short pulse)

۲- موج متوالی (Continous wave)

بلوک های مرجع برای کالیبراسیون پراب های زاویه ای و نرمال در روش آزمایش التراسونیک

- بلوک های مرجع (Reference block)
- بلوک V1 یا WII
- بلوک V2 یا Az

از این بلوک ها در کالیبراسیون پراب های نرمال و زاویه ای استفاده می شود . ضخامت های این بلوک ها متفاوت است مثلا بلوک V2 دارای ضخامت هایی چون ۲۰میلیمتر و ۱۲میلیمتر است و ضخامت بلوک V1معادل ۲۵میلیمتر است . شعاع منحنی در بلوک V2 برابر ۲۵میلیمتر و۵۰ میلیمتر است. که ۲۵میلیمتر شعاع منحنی کوچک و ۵۰ میلیمتر شعاع منحنی بزرگ است . شعاع منحنی در بلوک V1 معادل ۱۰۰ میلیمتراست .



شکل ۵-۲ بلوک مرجع برای کالیبراسیون[۴]

روش های تست و بازرسی قطعات توسط دستگاه های التراسونیک:

روش تماسی (Contact testing)

در روش تست تماسی ترانسدیوسر مستقیم روی نقطه تحت آزمایش قرار می گیرد چون دانسیته هوا کم است یک نوع عایق صوتی به حساب می آید و به خاطر همین از موادی چون : گریس – روغن – آب و ... دربین اتصال ترانسدیوسر با قطعه استفاده می شود .

روش غوطه وری(Immersion testing)

در روش غوطه وری قطعه تحت تست و ترنس دیوسرهردو در داخل یک تانک که از آب پرشده قرار می گیرند . در این روش سرعت تست بالا است و اغلب در جاهایی که سرعت کار مهم است از این روش استفاده می کنیم .

موارد مهم در التراسونیک

۱ – کالیبراسیون فاصله پراب نرمال (Normal)

۲ – کالیبراسیون فاصله برای پراب زاویه دار (Angle)

۳ – تعیین شاخص پراب

۴ – تعیین زاویه پراب

۵ – تعیین محل SDH روی بلوک مرجع

۶ – قدرت تفکیک (resolution)

۷ – Amplitud control lineritiy

۸ – screen light lineritiy

۹ – منحنی DAC

۱۰ – ضخامت مولد

۱۱ – زاویه انحراف

۱۲ – خطی بودن محور افقی

استانداردهای مورد استفاده در آزمایش التراسونیک

استانداردهای کاربردی در تست های غیرمخرب و جوشکاری

۱. AWS A1.1 : راهنمای سیستم های اندازه گیری متریک در صنایع جوشکاری .

۲. AWS A2.4 :استاندارد علائم و نشانه هادر جوشکاری ، لحیم کاری و تست های غیر مخرب .

۳. AWS A3.0 : استاندارد واژه ها و اصطلاحات جوشکاری .

۴. AWS B1.10 : راهنمای بازرسی غیر مخرب جوش .

۵. AWS B1.11 : راهنمای بازرسی چشمی جوش .

۶. ANSI Z49.1 : ایمنی در جوشکاری ، برشکاری و فرآیندهای وابسته .

۷. AWS QC1 : برای تایید صلاحیت بازرسین جوش .

۸. AWS D1.1 : کد ساخت سازه های فولادی جوشکاری شده .

۹. AWS D1.5 : استاندارد ساخت پل های فلزی جوشکاری شده .

۱۰. AWS D15.1 : استاندارد جوشکاری راه آهن و لوکوموتیو .

AWS B5.11.۱۱ : استاندارد تایید صلاحیت مفسرین رادیوگرافی .

۱۲. SNT - TC - 1A : راهنمای تایید صلاحیت پرسنل تست های غیر مخرب که توسط انجمن آزمایش های غیر مخرب آمریکا تهیه شده است.[۴]

فصل سوم:

تنش های پسماند جوشی

۳-۱-مقدمه:

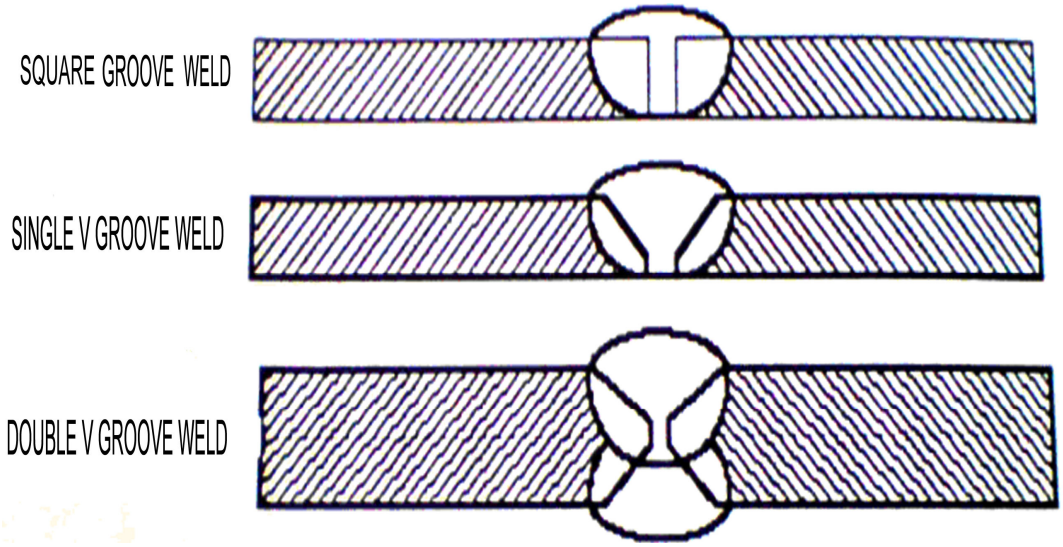
مبحث تنش‌زدایی در مورد اتصالات جوشی از اهمیت زیادی برخوردار است و عموم مباحث ارائه گردیده در فصل های بعد در مورد تنش‌زدایی اتصالات جوشی می‌باشد، لذا لازم است قبل از وارد شدن به مبحث تنش‌زدایی این اتصالات ، اطلاعاتی راجع به انواع اتصالات جوشی و همچنین راجع به نحوه ایجاد تنش پسماند در اتصالات جوشی داده شود.

۳-۲-انواع اتصالات جوشی:

جوشکاری فنی است که توسط آن قطعات فلزی عمدتاً از طریق ذوب موضعی بین آنها (به کمک مواد مصرفی یا بدون استفاده از آنها) به یکدیگر متصل شده و عمدتاً قطعه واحدی را ایجاد می‌کنند . جوشکاری با توجه به شکل سازه‌ای که از اتصال این قطعات بدست می‌آید می‌تواند به شکل‌های مختلف صورت بگیرد . قطعات کار به علت تنوع در سازه هایی که جوشکاری می شوند، به حالتهای مختلفی در کنار یکدیگر قرار می‌گیرند و جوشکاری می‌شوند. مهمترین این حالات در ادامه بررسی می شوند .

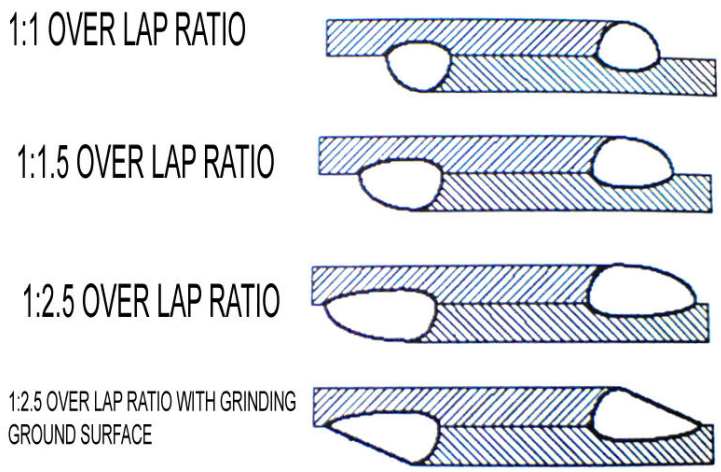
۱- اتصال لب به لب (But welding) : در این حالت لبه‌های قطعه کار به حالت صاف یا پخ زده به طور مستقیم در مقابل هم قرار می‌گیرند. نوع پخ یا انحنای آن بستگی به روش جوشکاری و شرایط کار و ضخامت قطعه دارد ، در شرایطی که ضخامت قطعه در حد نفوذ جوشکاری باشد نیازی به پخ زدن نمی‌باشد و مطابق شکل ۱-۳(حالت اول) جوشکاری بدون نیاز به پخ زدن صورت می‌گیرد.

اگر ضخامت قطعه بالاتر از حدی باشد که جوش بتواند نفوذ بکند لازم می‌گـردد کـه ماننـد شـکل ۱-۳ (حالت دوم) پخ V شکل زده شود . در ضخامت های بالاتر از پـخ هـای X ویـا V دو طرفـه نیـز اسـتفاده می‌شود و از چند پاس جوشکاری با توجه به ضخامت قطعه کار استفاده می‌گردد.



شکل ۱-۳ انواع روش های جوشکاری لب به لب [۳]

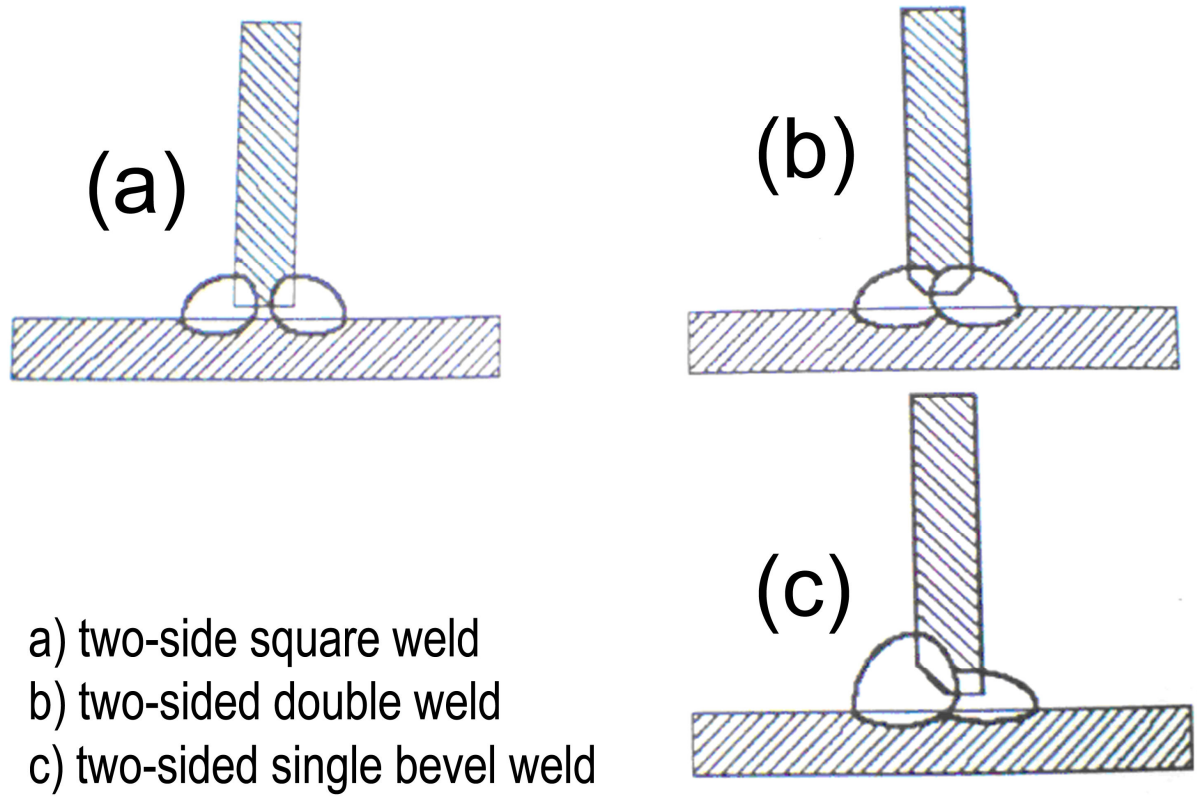
۲- اتصال لب روی هم یا لب برلب (Lap Joint) : در این حالت ورق ها بر روی هم قرار گرفته و جوشکاری بر روی لبه‌ها صورت می‌گیرد. (شکل ۲-۳)



شکل ۲-۳ انواع مختلف اتصال لب بر لب (lap joint) [۳]

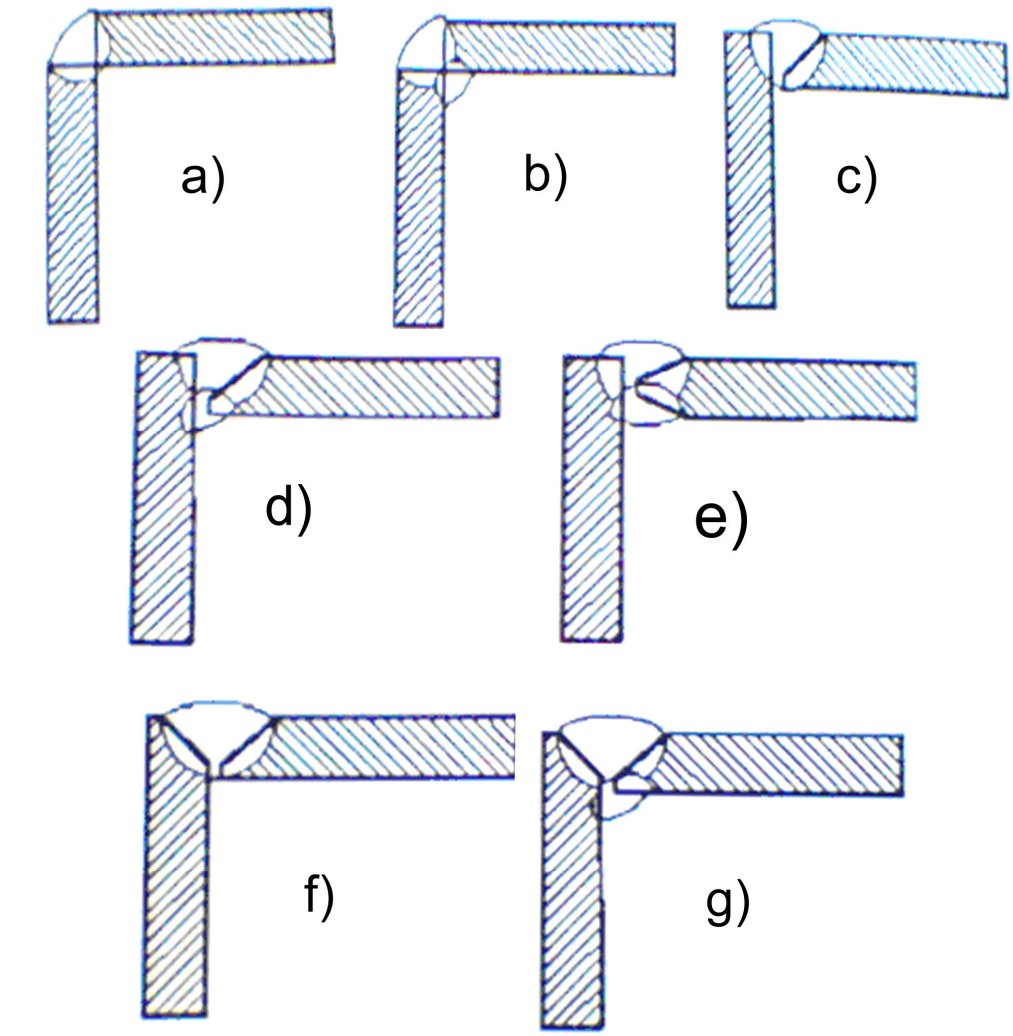
تفاوتی که حالتهای مختلف شکل ۲-۳ دارند در نسبت طول به عرض جوش (over lap ratio) است که هر چه این نسبت بیشتر باشد تمرکز تنش کمتر خواهد بود و از نظر مقاومت مصالحی شرایط بهتری خواهد داشت . در بعضی مواقع(مانند شکل۲-۳ حالت چهارم) انحنای سطح جوش را بعلت اینکه انحنای سطح آن موجب تمرکز تنش می‌گردد، با سنگ زدن حذف می کنند.

۳- اتصال T شکل : در این نوع اتصال همانگونه که در شکل ۳-۳ نشان داده شده است یکی از ورق ها به طور عمود یا با زاویه بر روی ورق دیگر قرار می‌گیرد و عموماً دو پاشنه آن جوش می‌خورد. در اینجا نیز با توجه به شکل و ضخامت ورق و روش جوشکاری ممکن است قطعه‌ها بدون پخ باشند (شکل ۳a-۳) یا از هر دو طرف پخ خورده باشند (شکل۳b-۳) و یا تنها از یک سمت پخ خورده باشند (شکل۳c-۳).



شکل ۳-۳ انواع مختلف اتصال Tشکل[۳]

٤- اتصال نبشی (Fillet weld) : در این حالت دو قطعه با زاویه در کنار هم قرار می‌گیرند (شکل ٤-۳). در اینجا قطعات می‌توانند به صورت ساده یا پخ زده باشند که در شکل انواع مختلف آن نشان داده شده است.[۳]



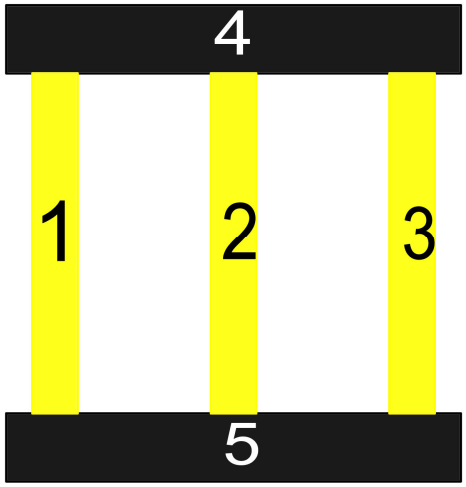
شکل ٤-٣ انواع مختلف اتصال نبشی[٣]

۳-۳-نحوه تشکیل تنش پسماند کششی در جوش

تنش پسماند تنشی است که بر اثر انجام عملیات خاصی در جسم باقی می‌ماند و در حالی که جسم تحت هیچ نوع بارگذاری خارجی نیست هم وجود دارد. طبیعت تنش پسماند به گونه ای است که در مقابل هر تنش کششی تنش فشاری نیز باید وجود داشته باشد ، به گونه‌ای که جسم در حالت تعادل باقی بماند که به این حالت، حالت خود تعادلی می گویند. علت اینکه شناسایی چنین تنش هایی برای ما مهم است این است که وقتی جسم تحت تنش خارجی قرار می‌گیرد، این تنش خارجی به تنش پسماند موجود افزوده می‌شود. پس اگر در منطقه‌ای تنش پسماند کششی داشته باشیم و بارگذاری ما نیز تنش کششی باشد سطح تنش در آن منطقه بالاتر از آنچه که تنها با لحاظ تنش کششی خارجی بدست می‌آید خواهد بود. لذا در صورتی که تنش کششی پسماند داخلی را در نظر نگیریم و قطعه را تنها براساس تنش اعمالی خارجی طراحی می‌کنیم ممکن است در اثر تنش‌های پسماند خارجی تنش در قطعه از حد تسلیم آن بالاتر رفته و باعث شکست آن گردد. یکی از فرایندهایی که باعث ایجاد تنش پسماند در سازه‌ها می‌گردد جوشکاری است که به علت گرم و سرد شدن های متوالی جوش و مناطق نزدیک جوش و عدم امکان جابجایی در بعضی جهات، تنش های پسماند داخلی در جوش و مناطق مجاور آن بوجود می آید. مقدار انبساط و تغییر شکل جسم در مقابل گرما متناسب با درجه حرارت می‌باشد . اصولاً با افزایش درجه حرارت تا نقطه ذوب فلز شاهد انبساط در آن خواهیم بود. حال هنگامی که در نقطه‌ای از جسم درجه حرارت به طور موضعی افزایش یابد دراطراف آن یک شیب حرارتی بوجود می‌آید که می‌خواهد باعث تغییر شکل و انبساط نقطه‌ای که دمای آن افزایش پیدا کرده است بشود ، ولی از اطراف ، فلزاتی که این نقطه را احاطه کرده‌اند و میل به تغییر شکل ندارند با تغییر

شکل این نقطه مقابله می کنند ، لذا مناطق نزدیک این نقطه تحت تنش فشاری قرار می‌گیرند و در صورتی که تنش فشاری موجود از حد تسلیم بیشتر شود باعث تغییر شکل پلاستیک این منطقه می‌شود. در حین سرد شدن منطقه‌ای که گرم شده بود شاهد انقباض موضعی خواهیم بود که باعث ایجاد تنش کششی در مجاورت این نقطه در حد تنش تسلیم فلز خواهد شد.حال اگر بخواهیم تشکیل تنش پسماند در جوش را توضیح بدهیم ابتدا مدل زیر را در نظر می‌گیریم :

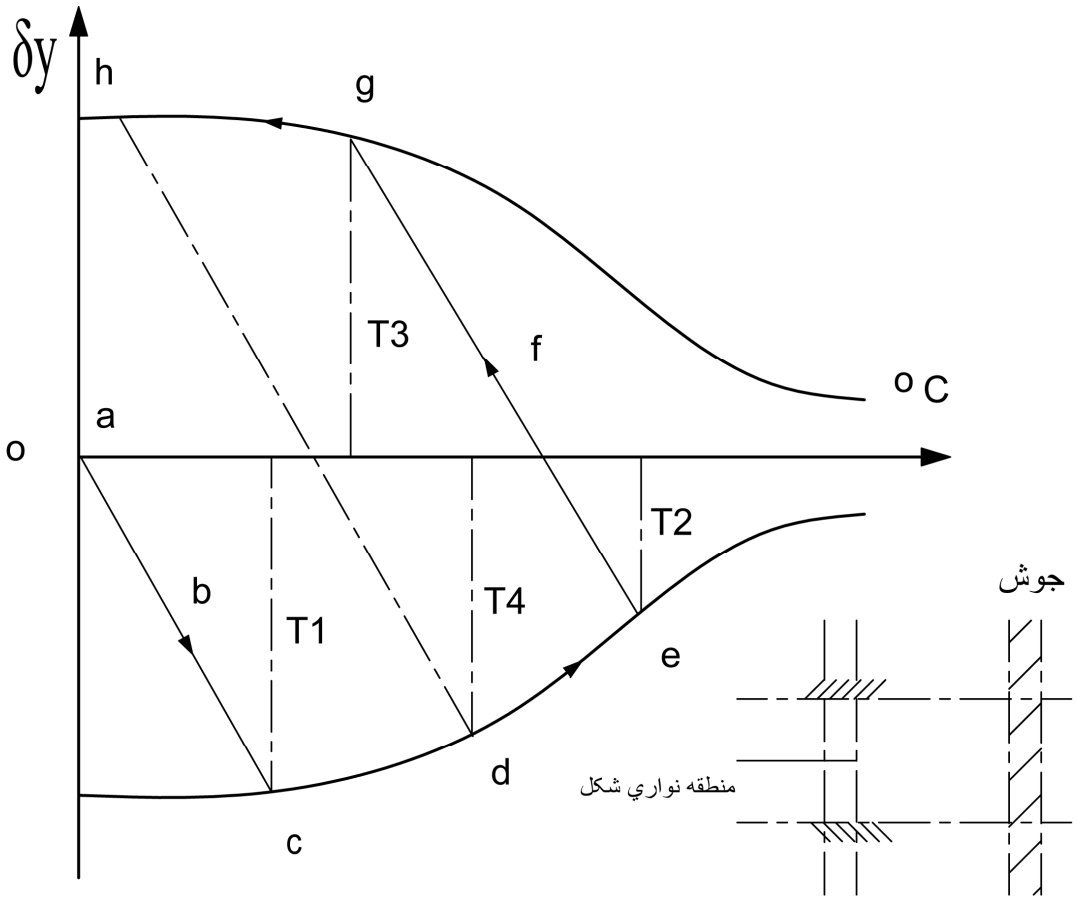
سه میله ۱و۲و۳ را در نظر بگیرید که توسط صفحات صلب ٤ و٥ از دو طرف محدود شده‌اند(شکل ۵-۳). با گرم شدن میله ۲ اگر دمای آن به اندازه ΔT افزایش یابد این میله در حالت آزاد به اندازه $\alpha l \Delta T$ افزایش طول پیدا می کند ولی میله‌های ۱و۳ چون تغییر دمایی نداشته‌اند در مقابل تغییر طول مقاومت می‌کنند، لذا تنشی در آنها القا می‌شود که کششی است و عکس‌العمل این تنش به میله ۲ وارد می‌شود که تنش فشاری است لذا به این ترتیب با گرم شدن میله دو در میله‌های ۱و۳ تنش کششی و در میله ۲ تنش فشاری خواهیم داشت.



(شکل ۵-۳) ایجاد تنش پسماند در اثر تغییر دما وقید صلبیت[۳]

در جوش نیز چنین حالتی را خواهیم داشت . البته در بحث راجع به تنش های تسلیم جوش به این نکته نیز باید توجه داشته باشیم که تنش تسلیم فولادها با افزایش درجه حرارت کاهش می‌یابد(شکل ٦-٣). در نظر بگیرید که یک اتصال جوشی بین دو ورق بزرگ بوجود آمده و در منطقه‌ای نواری شکل در فاصله مشخصی از مرکز جوش مورد بررسی می‌باشد .فرض می‌شود که نوار مورد بررسی در جهت طولی خود کاملاً مهار شده و تغییر شکلی در این جهت ندارد. قبل از گرم کردن، نوار فاقد تنش است (نقطه A شکل ۶-۳) . در حین گرم کردن، این نوار متمایل به انبساط بوده و لیکن توسط محیط (فلز) اطراف خود که درجه حرارت پایین‌تری دارد از انبساط آن ممانعت می شود و در نتیجه تحت تاثیر تنش های فشاری قرار می‌گیرد. تغییر شکل در نوار در ابتدا الاستیک بوده و با افزایش درجه حرارت افزایش یافته و در درجه حرارت T_1 تغییر شکل پلاستیکی شروع می‌شود(مسیر ABC) . با افزایش درجه حرارت میزان تنش تسلیم جسم کاهش یافته و تغییر شکل پلاستیکی نوار افزایش می‌یابد (مسیر CDE). چنانچه T_2 حداکثر درجه حرارتی باشد که در نوار اعمال می‌شود، تغییر شکل پلاستیکی فشاری تا نقطه E ادامه خواهد یافت. در هنگام سرد شدن، نوار مورد بررسی تمایل به انقباض داشته که منجر به کاهش سطح تنش ها در آن می‌شود. کاهش سطح تنش ها در این حالت منجر به تغییر شکل الاستیکی (مشابه باربرداری در نمونه‌های تحت آزمایش کشش) شده که با توجه به درجه حرارت نوار، مطابق مسیرEF ادامه خواهد داشت. در درجه حرارت T_3 (نقطه G) سطح تنش ها در نوار به اندازه تنش تسلیم فلز در این درجه حرارت خواهد شد. با کاهش بیشتر درجه حرارت ، تنش تسلیم (و در نتیجه سطح تنش‌ها در نوار) افزایش یافته و تغییر شکل پلاستیکی (کششی) در نوار بوجود می‌آید (مسیر GH). در نتیجه سیکل حرارتی فوق‌الذکر منجر به ایجاد تنش های پسماندی به اندازه تنش تسلیم فلز در نوار فوق‌الذکر خواهد شد. با استفاده از مدل فوق الذکر می‌توان سطح تنش پسماند جوشی را در نقاط مختلف اطراف منطقه جوش بدست آورد. چنانچه درجه

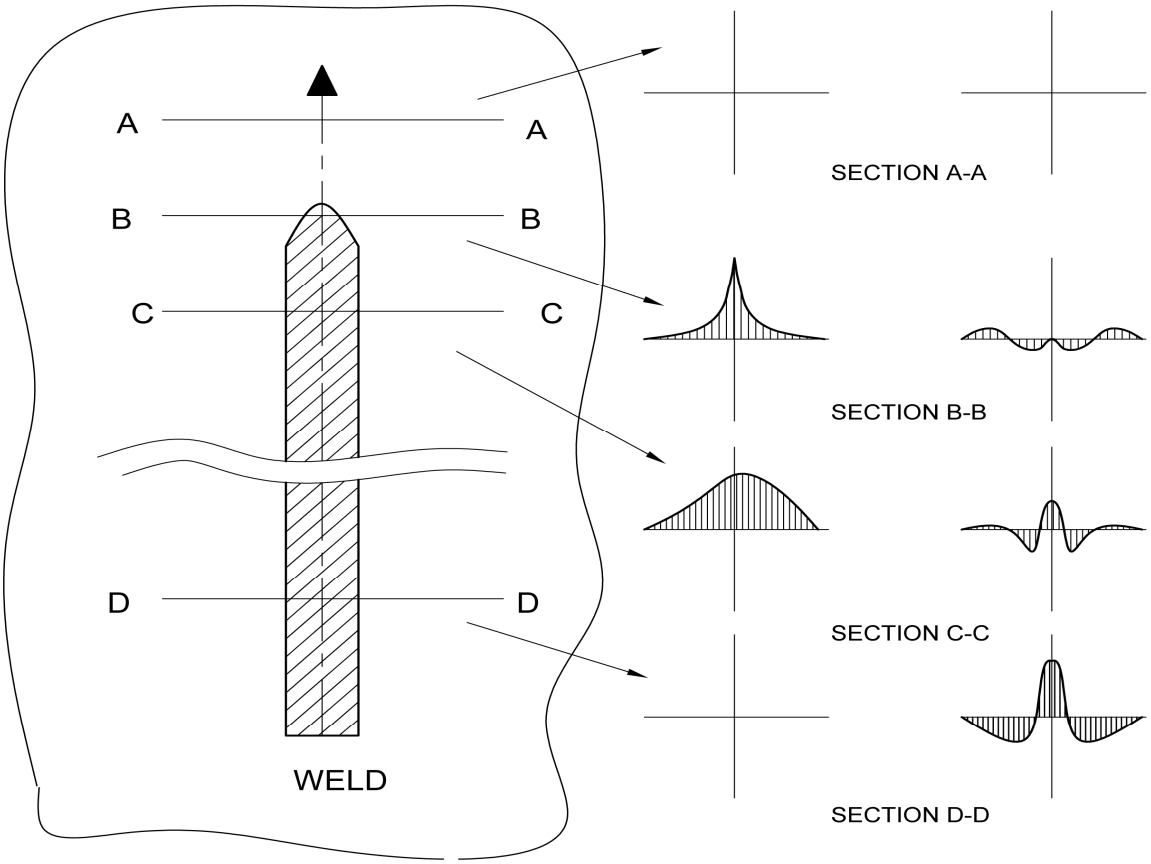
حرارت حاصله در نقطه مورد بررسی پایین‌تر از T_1 باشد، تنها تغییر شکل الاستیکی در آن نقطه بوجود می‌آید. برای فولادهای جوشی این درجه حرارت بین ۳۰۰-۱۵۰ درجه سانتیگراد می‌باشد. در درجه حرارت بین T_1 و T_4 سطح تنش های پسماند پایین‌تر از تنش تسلیم جسم بوده و چنانچه درجه حرارت نقطه مورد بررسی از T_4 بیشتر شود، تنش های پسماند به اندازه تنش تسلیم فلز خواهد بود.[۳]



شکل ٦-٣ مدل ساده ای برای تخمین تنش های تنش های پسماند جوشی در حوالی منطقه جوش[۳]

از بررسی فوق‌الذکر نتیجه می‌شود که تنش های پسماند جوشی در جهت موازی با جهت جوش (Longitudinal) در فلز جوش و نواحی نزدیک به آن از نوع کششی و در حد تنش تسلیم فلز بوده و با افزایش فاصله از مرکز جوش سطح این تنش‌ها کاهش می‌یابد . به منظور اصل خود تعادلی برای اینگونه تنش ها ، می بایست تنش های فشاری نیز جهت بالانس کردن آنها در مناطق مجاور بوجود آیند. شکل ۷-۳ تشکیل تنش های جوشی طولی را در مقاطع مختلف یک اتصال جوشی در حین جوشکاری نشان می‌دهد. دراین شکل حوضچه مذاب جوش با سرعت V به سمت جلو حرکت کرده و در نقطه O بسر می‌برد . در مقطع A-A ، که در جلوی حوضچه جوش قرار دارد، هنوز تغییرات عمده درجه حرارت صورت نگرفته و بنابراین تنش های جوشی مربوطه صفر می‌باشند. در مقطع B-B (از میان حوضچه) ، قطعه کار دارای شدیدترین شیب حرارتی بوده و درجه حرارت در مرکز حوضچه جوش ماکزیمم می‌باشد. در مقطع C-C در پشت حوضچه مذاب جوش، به واسطه سرد شدن و کاهش نسبی درجه حرارت ، از شیب حرارتی کاسته شده و بالاخره در مقطع D-D که به حد کافی از محل حوضچه جوش دور می‌باشد، سرد شدن کامل بوقوع پیوسته و درجه حرارت آن برابر با درجه حرارت عمومی قطعه کار شده است. تنشهای جوشی در مقطع B-B و در محل حوضچه جوش ، به دلیل اینکه مذاب نمی‌تواند نیروی کششی را تحمل کند، برابر صفر می‌باشد. در این مقطع و در نزدیکی حوضچه جوش ، تنش های جوشی از نوع فشاری بوده که با فاصله گرفتن از محل جوش کاهش یافته و به تدریج تنش های کششی به جهت بالانس کردن آنها توسعه می‌یابند درجه حرارت و در نتیجه تغییر شکل های حرارتی در مقطع بالا بوده ولی به علت پایین بودن تنش تسلیم جسم، سطح تنش های جوشی نیز پایین می‌باشد. در مقطع C-C ، که حوضچه مذاب منجمد شده و فلز اطراف نیز تا حدی سرد شده است، فلز جوش و اطراف آن تا حدی منقبض شده که با توجه به ممانعت فلز اطراف آن، تنش های کششی در این منطقه توسعه یافته‌اند. در مرکز جوش این تنش ها به اندازه تنش

تسلیم جسم در درجه حرارت مربوطه بوده و در فواصل دورتر ، تنش های فشاری جهت بالانس کردن تنش های کششی توسعه یافته‌اند. در مقطع D-D تنش های جوشی در منطقه جوش و اطراف نزدیک به آن از نوع کششی و در حد تنش تسلیم فلز در درجه حرارت محیط بوده و سطح این تنش ها با افزایش فاصله از مرکز جوش به سرعت کاهش یافته و به سمت تشکیل تنش های فشاری جهت بالانس کردن تنش های کششی میل می‌کند.



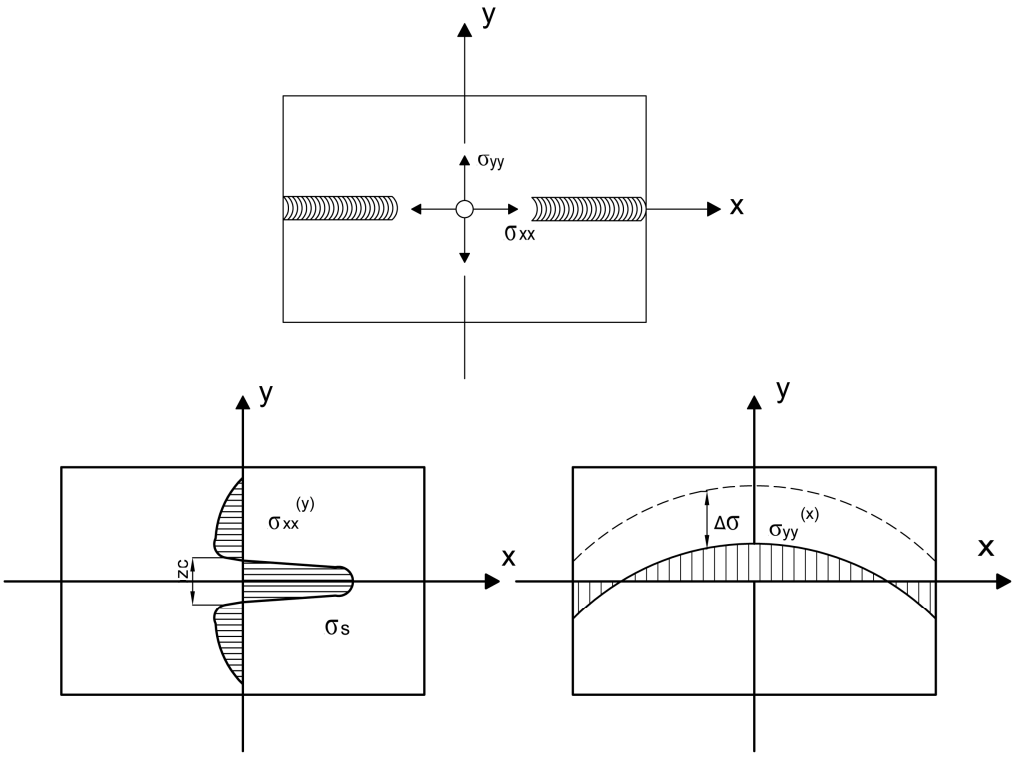
شکل ۷-۳ تغییرات درجه حرارت وتنش های پسماند جوشی درحین جوشکاری[۳]

همانگونه که ملاحظه می‌شود ، تشکیل تنش های جوشی ناشی از کرنش‌های حرارتی بوده که بواسطه گـرم و سرد شدن موضعی و غیریکنواخت در محل حوضچه جوش و اطراف آن و ممانعت محیط (فلـز) اطـراف

ایجاد می‌شوند . این کرنش ها در منطقه جوش و مجاور آن ، کرنش پلاستیکی بوده که هم در حین گرم شدن و هم در حین سرد شدن بوجود می‌آیند. منطقه‌ای که در آن کرنش های حرارتی ایجاد می‌شود تا حدودی توسط محیط (فلز) اطراف خود مهار می‌شود. چنانچه قطعه کار آزاد بوده و به قطعات دیگر متصل نباشد ، این نوع مهار از نوع مهار اولیه (Primary restraint) بوده چنانچه قطعه کار به قطعات دیگر متصل باشد ، درجه مهار بالاتر بوده و مهار ثانویه (Secondary restraint) نیز در شکل‌گیری تنش های پسماند دخیل خواهد بود . بنابراین سطح و توزیع تنش های پسماند جوشی بستگی به مهار اولیه (ناشی از نوع اتصال جوشی) و مهار ثانویه (ناشی از ابعاد کلی قطعه و نحوه درگیری آن) دارد . برای تنش های پسماند طولی (Longitudinal residual stresses) مهار اولیه قویاً تعیین کننده بوده و مهار ثانویه اثر کمی دارد . بنابراین صرفنظر از اینکه ابعاد کلی قطعه کار و نگهداری آن به چه صورت باشد می‌توان برای تخمین سطح و توزیع تنش های پسماند طولی در اتصالات ورقی جوشی از شکل ۸-۳ استفاده نمود.

لازم به توضیح است که در قسمت های ابتدایی وانتهایی یک جوش طولی تنش های پسماند طولی به سرعت کاهش یافته و به صفر می‌رسند. به عنوان یک قاعده کلی و تجربی می‌توان اظهار نمود که تنش های طولی در یک جوش از فاصله ۱۵۰میلیمتری دو سر جوش شروع به کاهش نموده و در دو انتها به صفر می‌رسند . چنانچه طول جوشی بیش از ۳۰۰ میلیمتر باشد در وسط آن مقدار تنش های پسماند جوشی در حد تنش تسلیم فلز خواهد بود. یک اتصال جوشی در جهت عرضی (عمود بر جهت جوشکاری) نیز منقبض شده (Transverse shrinkage) که منجر به ایجاد تنش های پسماند عرضی (Transverse residual stresses) می‌شود . اصول ایجاد این تنش ها نظیر تنش های طولی بوده با این تفاوت که مهار اولیه در شکل‌گیری آنها کمتر مؤثر بوده و مهار ثانویه مهم می‌باشد . در شکل ۸-۳ مقدار و توزیع تنش های عرضی بطور شماتیک نشان داده شده است . در قسمت میانی جوش ، تنش ها از نوع کششی بوده و در قسمت

های انتهایی تنش های فشاری به جهت بالانس کردن تنش های کششی ایجاد شده‌اند . حداکثر مقدار تنش های عرضی به واسطه مهار اولیه در حدود ۲۵ ٪ میزان تنش تسلیم فلز می‌باشد . چنانچه قطعه کار در جهت عرضی مهار شده باشد ، ممانعت ثانویه ایجاد شده که بسته به درجه مهار منجر به افزایش مقدار این تنش ها می‌شود.



شکل۸-۳ تنشهای پسماند طولی(چپ) وعرضی(راست) در یک ورق با جوش لب به لب[۳]

تنش های پسماند جوشی همچنین می‌توانند در جهت ضخامت نیز به وجود آیند . در مقاطع نازک (کمتر از ۳۰ mm) مقدار این تنش ها در جهت ضخامت ناچیز و قابل صرفنظر کردن می‌باشد ، لیکن برای مقاطع ضخیم‌تر مقدار این تنش ها می‌تواند به اندازه تنش تسلیم فلز بوده و توزیع پیچیده‌ای را به همراه داشته

باشد . بنابراین ، بطور کلی تنش های پسماند جوشی ، تا حدودی سه بعدی بوده ، به ویژه اینکه اتصال جوشی در سه جهت عمود بر هم مهار شده باشد .

تنش های پسماند جوشی معمولاً روی خواص استحکامی استاتیکی قطعه و یا شکست پلاستیکی (Plastic Collapse) آن اثر قابل توجهی نداشته و لیکن چنانچه خواص سمجی جوش پایین باشد ، امکان ترک خوردگی وجود داشته و این تنش ها می‌توانند به تنهایی باعث شکست موضعی یا کامل قطعه شوند . بی‌مناسبت نخواهد بود چنانچه اشاره شود که در بعضی از سوانح بزرگ در سازه‌های جوشی (ریزش کامل پل های فلزی و یا دونیم شدن کشتی های تولید شده با اتصالات جوشی) تنش های پسماند جوشی مهمترین عامل سانحه بوده‌اند. تنش های پسماند (طولی) جوشی در اتصالات نازک فلزی می‌توانند منجر به کمانش پوسته (Bulking) سازه شوند. تنش های پسماند جوشی همچنین می‌توانند موجب کاهش خواص استحکام و خستگی اتصالات مربوطه شده و در این رابطه بهتر است که طول مسیر جوش حداقل بوده و اتصال جوشی طوری طراحی شود که در محل های دور از محل های تمرکز تنش و یا حتی‌المقدور در محل هایی با تنش های فشاری قرار گیرد .[۳]

بطور خلاصه می‌توان از عوامل زیر به عنوان مهمترین عوامل در تشکیل تنش های پسماند جوشی نام برد:

۱- حرارت دادن موضعی و غیر همگون

۲- تغییر شکل (کرنش) حرارتی

۳- وابستگی تنش تسلیم فلز به درجه حرارت

٤- درجه مهار یا ممانعت قطعه کار

۳-۴-روش های بهبود کیفیت جوش

مقدمه

دربخش قبل نحوه به وجود آمدن تنش های پسماند در یک جوش بیان گردید.این تنش ها باعث کاهش حد تحمل باروعمر اتصالات جوش می گردند همچنین این تنش ها باعث ایجاد تغییر فرم هایی درسازه جوشی می گردند که شکل سازه جوشی را تغییر می دهند لذا همواره سعی براین بوده تابه روش های مختلفی این تنش ها حذف گردد تا خواص مکانیکی جوش بهبود یافته وازتغییر فرم های اتصال جوشی جلوگیری شود. دراین راه روش های مختلفی نیز به دست آمده است که هرکدام ازآنها مزایاومعایبی داشته اند. دراین بخش روش های مختلف بهبود کیفیت جوش به طور مختصر معرفی می شوند تا آشنایی مختصری با این روش ها به دست آید.

روش های کاهش تغییر شکل وتنش های پسماند درجوش

برای کاهش تغییر فرم ها وتنش های پسماند درسازه های جوشی روش های مختلفی وجود داردکه در مراحل مختلف طراحی،تولیدویابعدازتولید جوش وسازه می توانندااستفاده شونداین روش ها عبارتند از:

الف) روش های کاهش تغییر فرم ها وتنش های پسماند درمرحله طراحی:

یکی از این روش ها این است که درمرحله طراحی جوش تا حد امکان با اجرای طراحی صحیح مانع تغییر فرم جوش شویم این روش ها عبارتنداز:

۱- تقارن هندسی نسبت به مرکز جرم قطعه

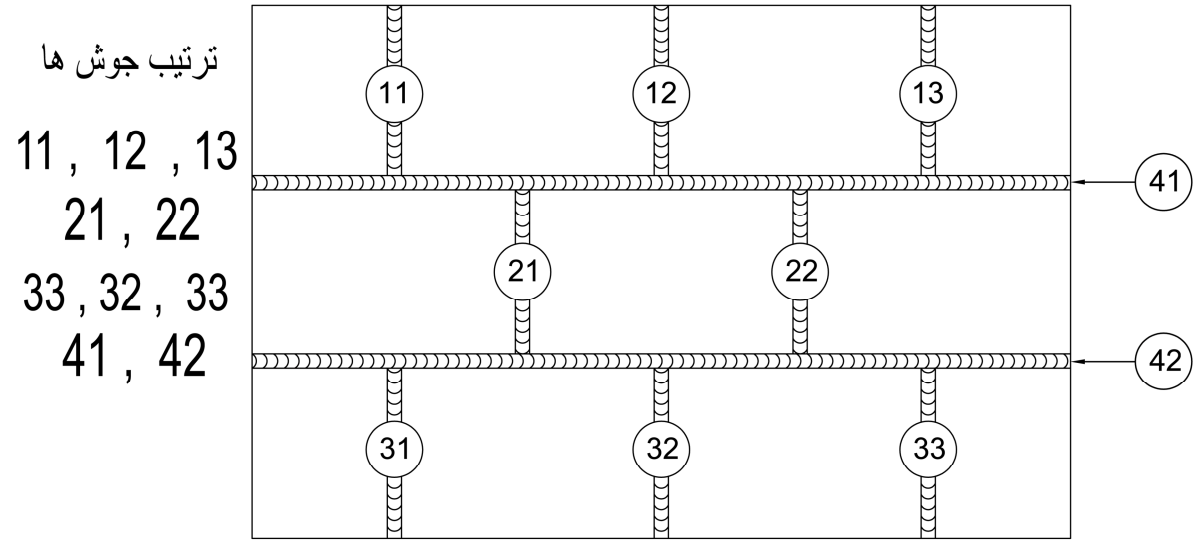
۲- اتصال متقارن جوشی

۳- ترتیب مناسب برای جوشکاری

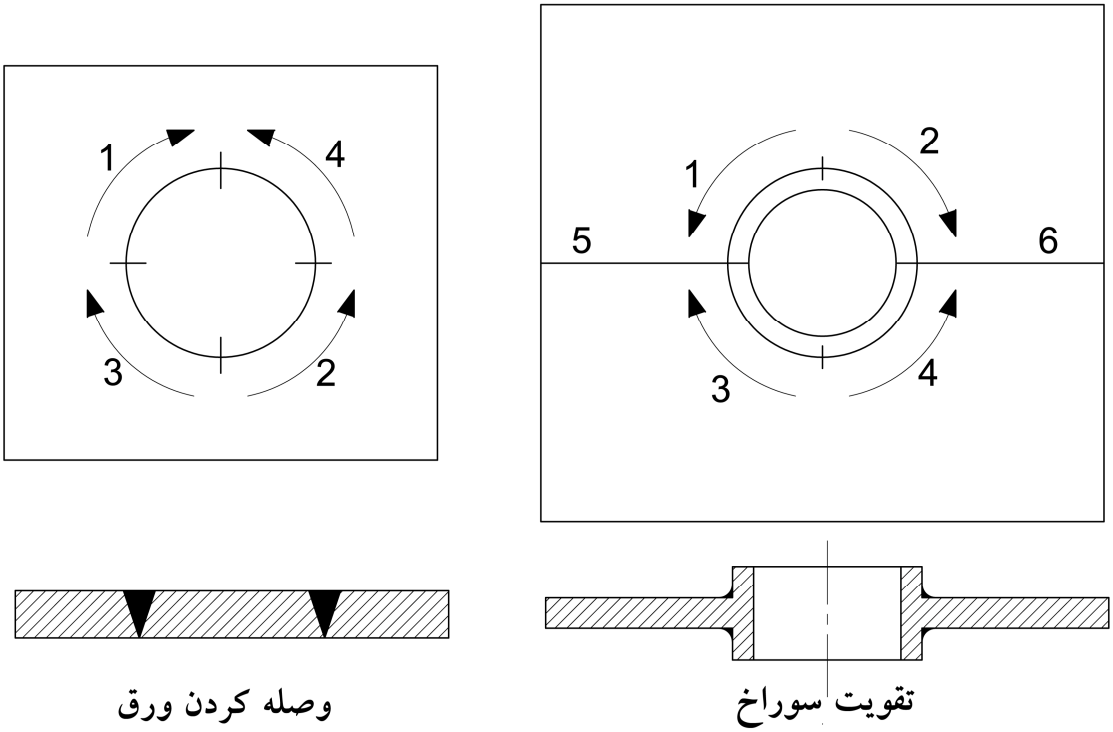
۴- انتخاب مناسب پارامترهای جوشکاری

۵- جوشکاری در حالیکه وسیله ای قطعات جوش شونده رانگه داشته باشد.

تغییر فرم ها درصورتیکه سطح مقطع غیر متقارن باشدخیلی بیشترخواهد بود. برای همین سعی می شود بامتقارن کردن جوشکاری به صورت اضافه کردن پاس جوش های دیگر در جهت متقارن نسبت به جوشهای قبلی از تغییرفرم قطعه دراثر عدم تقارن جلوگیری شود. ترتیب انجام مراحل جوشکاری نیز برروی تغییرفرم انتهایی کار ، مهم است. ترتیب انجام جوش به نوع قطعه وابعاد آن بستگی دارد. به عنوان نمونه ترتیب انجام عملیات جوشکاری در چند نمونه مختلف در شکل های۹-۳ و ۱۰-۳ آمده است. درانتخاب پارامترها، عواملی مانند جریان، ولتاژوسرعت جوشکاری از محدودیت های تکنولوژیک به شمار می روند وبا انتخاب مناسب این پارامترهاکه سبب ورود انرژی مناسب به جوش می شود تغییر فرم نهایی کاهش می یابد.



شکل ۹-۳- ترتیب صحیح جوشکاری در اتصال ورق ها به یکدیگر[۳]



شکل ۱۰-۳ ترتیب صحیح جوشکاری برای وصله کردن یا تقویت سوراخ در ورق ها[۳]

روش دیگر که برای جلوگیری ازتغییر فرم ها نام برده شد جوشکاری دروسیله نگهدارنده قطعات است. دراین روش قطعات به گیره بسته شده اند تنش ها به جای اینکه کل سازه را تغییر شکل دهند تنها درمنطقه کوچکی اثر کرده وتغییر شکل ایجاد می کنندو تغییر فرم پلاستیک آن منطقه را موجب می شوند.البته این روش باعث ایجاد تنش های پسماند به بزرگی تنش تسلیم جسم خواهد شدوتنها ازلحاظ تغییر فرم ها وجلوگیری ازتغییر فرم سازه مناسب است. لذا برای قطعاتی که تحت بارجوشی قرارخواهند گرفت توصیه نمی شود وتنها زمانی که دقت ابعادی قطعه جوشی برای مونتاژ ومسائل دیگر مد نظر است استفاده می گردد.

ب) تکنیک های کاهش تنش پسماندوتغییر شکل بعدازتولید:

یکی دیگر از روش های کاهش تغییر شکل یا تنش پسماند این است که بعداز انجام جوشکاری نسبت به حذف تغییرشکل یاتنش پسماند اقدام شود. این روش ها عبارتند از :

۱- حذف تغییر شکل ورق های جوشی بااستفاده ازچکش کاری :

بعداز جوشکاری تغییر شکل هایی در ورق ایجاد می شودکه در مرحله بعدی توسط ضربه زدن چکش و... این تغییر شکل ها حذف می شوند.

۲- عملیات حرارتی :

با استفاده از عملیات حرارتی بعداز جوشکاری تنش های پسماندجوشی را حذ ف کرده ویا کاهش می دهیم این روش عموما برای قطعات کوچک مناسب است ودر عملیات حرارتی قطعات بزرگ با مشکل مواجه می شویم .

۳- اصلاح هندسه جوش:

هندسه جوش عموماً باعث تمرکزتنش در منطقه جوش می گردد . برای تغییر شکل جوش و هندسه آن محل های تمرکز تنش که می توانند موجب شکست یا تغییر فرم جوش شوند حذف می شوند.

۴- روش های تنش پسماند :

تنش های موجود در جوش عموما تنش های کششی هستند لذا اگر تنشی فشاری در جوش به اندازه برابر با تنش کششی موجود یا بیش از آن اعمال گردد،باعث خنثی شدن تنش های کششی موجود یا القای تنش های فشاری جدید می گردد. لذا می توان با استفاده از روش های مختلف تنش پسماند فشاری در قطعه و جوش القا کرد تا تنش کششی حا صل از جوش را خنثی کند.

۵- روش های ارتعاشی :

در این روش ضرباتی به سطح وارد می شود که باعث ایجاد تغییر فرم پلاستیک در منطقه تنش کششی می گردد واین تغییر فرم باعث ایجاد تنش فشاری گردیده که تنش کششی جوشی را خنثی می کند . ضربات وارده در فرکانس التراسونیک بوده وبه همین علت توان کمتری برای این کار نیاز خواهد بود . روش تنش زدایی با ضربات التراسونیکی یکی ازاین روش هاست وتوضیح داده خواهد شد.

روش های بهبود کیفیت جوش :

برای بهبود کیفیت جوش علاوه بر مسئله جلوگیری از تغییر فرم جوش لازم است عمر جوش در مقابل بارهای استا تیکی ودینامیکی وارد بر جوش ونیزاستحکام خستگی جوش افزایش یابد. بین استحکام خستگی واستحکام تسلیم یا شکست برای اتصالات جوشی رابطه مستقیمی وجود ندارد . شکست در اثر خستگی ، با ایجاد ترک و سپس رشد آن تا نقطه شکست اتفاق می افتد . عمر خستگی هر ماده از رابطه زیر به دست می آید .

$$Nt = Ni + Ng$$

در این رابطه Nt کل تعداد سیکل های بارگذاری تا نقطه شکست است. Niتعداد سیکل های بارگذاری تا نقطه آغاز ترک وNg کل سیکل های بار گذاری تا نقطه شکست بعد از بوجود آمدن ترک است. به عبارت دیگر زمان لازم برای شکست عبارت است از زمان لازم برای ایجاد ترک وسپس رشد ترک ایجاد شده .

در جوش و عموما در منطقه HAZ جوش ترک های بسیاری وجود دارد لذا برای شکست جوش زمان لازم برای رشد ترک، عمر جوش را تعیین می کند . برای افزایش عمر جوش سعی می شود زمان لازم برای آغاز

و رشد ترک هردو افزایش یابد اما اکثر روش هایی که برای بهبود عمر خستگی جوش بوجود آمده اند عموما در زمینه افزایش مدت زمان لازم برای رشد ترک بوده است . ازجمله این اقدامات ، حذف عیوب بزرگ ، کاهش تمرکز تنش در پاشنه جوش و ایجاد تنش فشاری در محل ترک برای به هم فشردن ترک و جلوگیری از باز شدن آن می باشد.

روش هایی که برای افزایش زمان رشد ترک وجود دارند عبارتند از:

الف) کاهش فاکتور تمرکز تنش توسط بهبود شکل آن :

در نتیجه این کار تنش در محل تمرکز تنش کاهش یافته و امکان رشد ترک کاهش می یابد.

ب) حذف عیوب شبیه ترک درپاشنه جوش :

در صورتی که عیوب شبیه ترک در پاشنه جوش وجود داشته باشند ، افزایش انرژی لازم برای رشدترک را خواهیم داشت که به مراتب انرژی لازم برای شکست افزایش خواهد یافت .

ج) حذف تنش های پسماندمضرجوشکاری با ایجادتنش های پسماندفشاری مفیددرمنطقه پای جوش:

این روش با خنثی کردن وحذف تنش پسماند کششی احتمال باز شدن ترک را کاهش می دهد . همچنین با ایجاد تنش پسماند فشاری ترک به هم فشرده می شود که مانع باز شدن آن می گردد.

با توجه به بحث فوق روش های بهبود به دو دسته زیر تقسیم می شوند:

۱- روش های بهبود هندسه جوش :

۲- روش های تنش پسماند :

در این بخش تنها چند روش که بطور عمومی در صنعت استفاده می شوند توضیح داده خواهد شد.

۱) روش های بهبود هندسه جوش :

در این روش شکل جوش را به گونه ای تغییر می دهند که محل های تمرکز تنش حذ ف شود . یعنی با کم کردن فاکتور تمرکزتنش از ایجاد عیوبی که زمان لازم برای آغاز ترک را کاهش می دهند جلوگیری می شود. بعضی از این روش ها عبارتند از :

الف) سنگ زنی پاشنه جوش :

یکی از روش های تغییر هندسه منطقه جوش سنگ زنی گرده جوش است که با حذف گرده جوش ویا ایجاد شکل مناسبتر برای گرده جوش ، فاکتور تمرکز تنش در منطقه جوش را کاهش می دهند. سنگ زنی گرده جوش می تواند توسط یک دستگاه سنگ دوار کوچک صورت بگیرد. این روش زمان زیادی می برد وقیمت آن بالاست. کاهش فاکتور تمرکز تنش در محل های عیوب در جوش باعث افزایش عمر خستگی در حدود ۵۰ تا۱۰۰ درصد می شود که این افزایش عمر خستگی در عمرهای بلند (تعداد سیکل بارگذاری بالای یک میلیون سیکل)می باشد .

ب) ذوب کردن توسط جوش آرگون (TIG) یا پلاسما : روش دیگر برای کاهش تمرکز تنش، ذوب کردن مجدد پاشنه جوش است تا سیالیت مذاب باعث ایجاد شکل مناسبتری برای گرده جوش گردد. ذوب کردن مجدد پاشنه جوش با استفاده از روش جوش آرگون یا پلاسما عموما باعث خستگی می گردد . در این روش سرباره تقریبا بطور کامل حذف می شود و باعث افزایش سختی در ناحیه ای که ذوب مجددصورت گرفته است می گردد و استحکام خستگی را بالا می برد. بعلاوه تنش ها ی پسماند تغییر یافته وکاهش می یابند . استفاده از پلاسما معمولا نتایج بهتری نسبت به جوشکاری آرگون می دهد این مسئله به این علت

است که در روش پلاسما حرارت متمرکز بالاتر ومنطقه ذوب شده فلز کمتر است که در نتیجه مانع تغییر ساختار بیشتر در حوضه عملیات تحت جوش پلاسما می شود.

۲)روش های تنش پسماند (residual stress methods)

بهبود رفتار خستگی جوش می تواند با حذف تنش های پسماند جوشی بوجود آید . این روش در صورتی که باعث جاگزین شدن تنش های پسماند فشاری به جای تنش های پسماند کششی گردد مزایای بهتری را ایجاد خواهد کرد. تعدادی از این روش ها عبارتند از:

الف) ضربه زدن با چکش : روش ضربه زدن با چکش عموما با یک چکش بادی با نوک گرد وشعاع ۱۴-۶ میلیمتر صورت می گیرد که در اثر ایجاد تغییر فرم پلاستیک در منطقه جوش باعث بوجود آمدن تنش های فشاری در منطقه ضربه چکش می گردد که تنش های فشاری بوجود آمده باعث خنثی کردن تنش های کششی می شوند.

ب) ضربه زدن با فرکانس التراسونیک(Ultrasonic Impact) :

این روش ، روش جدیدی است که تغییر شکل پلاستیک را با استفاده از ضربات با فرکانس التراسونیک بوجود می آورد . در مباحث بعدی به طور کاملتر به روش التراسونیک خواهیم پرداخت .

در این روش میزان بهبود جوش با جنس ، نوع جوش ونوع بارگذاری تغییر می کند اما میزان کلی بهبود جوش در محدوده ۵۰ تا۲۰۰٪ افزایش عمر خستگی است .

ج) روش ساچمه زنی(Shot peening) : دراین روش ، سطح توسط ساچمه های ریز چدنی یا فولادی بمباران می شود که برخورد ساچمه ها، تغییر شکل پلاستیک را برروی سطح ایجاد می کنند. گسیل ساچمه

ها توسط جریان هوایی با سرعت زیاد صورت می گیرد . تنش های پسماند فشاری ایجاد شده با ایـن روش تا ۸۰-۷۰٪ تنش تسلیم می باشد. میزان بهبود استحکام خستگی اتصلات مختلف کـه تحـت سـاچمه زنـی قرار گرفته اند ، نشان دهنده بهبود اساسی استحکام خستگی برای انواع اتصالات است. میزان بهبـود جـوش با نوع اتصال واندازه استحکام استاتیکی فولاد ارتباط دارد ولـی بهبـود کلـی در محـدوده ۳۰ تـا۱۰۰ درصـد افزایش عمر خستگی است .

روش هایی که گفته شد با توجه به مقدار بهبود کیفیت جوش مورد نیاز ، می توانند با یکدیگر ترکیب شوند. آزمایش ها نشان می دهند که اگر روش های بهبود جوش برای قطعاتی که تحت اثر تنش کمتر جو ش قرار می گیرند وبرای عمرهای بالای جوش طراحی شده اند استفاده شوند،سبب بهبـود بیـشتری مـی گردنـد. در منطقه عمر کم از نمودار S-N که تنش های محلی در پاشنه جوش از حد تنش تسلیم بالاتر می روند ، بهبود کمتری در استحکام خستگی جوش داریم . ولی از آنجایی که اکثر سازه ها برای عمرهای بـالا طراحـی مـی شوند لذا عموما بهبودی که توسط این روش ها در استحکام خستگی جوش بوجود می آیـد قابـل ملاحظـه است.برای مقایسه بهبود خـستگی توسـط روش هـای مختلـف واسـتحکام خـستگی آنهـا درسـیکل کـاری دومیلیون باراندازه گیری می شوند.

۳-۵-مقایسه روش های مختلف بهبود کیفیت جوش از نظر قیمت :

اگر روش چکش زنی (Hammer peening)را به عنوان واحد قیمت انتخـاب کنـیم در ایـن صـورت قیمـت روش ساچمه زنی (Shot peening) ۱/۵ برابر،قیمت سنگ زنی ۵ برابـر وقیمـت (TIG dressing) ۳ برابـر گرانتر خواهد بود. لذا با استفاده از این فاکتور و فـاکتور درصـد کـاهش تـنش پـسماند وافـزایش اسـتحکام خستگی نسبت به انتخاب روش های فوق اقدام می گردد.[۳]

فصل چهارم:

تنش زدایی به وسیله امواج التراسونیک

۴-۱-اساس کار یک دستگاه التراسونیکی :

قبل از وارد شدن به مبحث تنش زدایی به روش التراسونیک لازم است که اطلاعاتی راجع به امواج التراسونیک و همچنین دستگاههای التراسونیک داده شود تا در مبحث بعدی ازآن استفاده کنیم . در اینجا ابتدا تعاریف لازم ارائه می گردد و سپس اجزای یک دستگاه التراسونیک بیان می شود .

۴-۱-۱-تعاریف :

تعریف موج: موج عبارت است از محمل و بستری که روی آن مواد از خود حرکت نشان می دهند . امواج دارای راستای انتشار وراستای نوسان می باشندکه بر این اساس به چندین دسته تقسیم می گردند که مهمترین آنها امواج طولی وعرضی هستند.

امواج طولی وعرضی : اگر راستای انتشار وراستای نوسان امواج برهم منطبق باشند ، مثل امواج صوتی ، موج را موج طولی (longitudinal wave) می نامند ودر صورتی که راستای انتشار عمود بر راستای نوسان باشد. موج را موج عرضی می گویند. مثل موجی که در سطح آب بر اثر انداختن یک سنگ بوجود می آید که راستای انتشار در جهت شعاعی از محل سنگ دور می شود و راستای نوسان عمود بر سطح آب است .

سرعت انتشار : سرعت انتشار موج، سرعت فاصله گرفتن از مبدا تا محل انتهای موج که به آنجا می رسد را می گویند . سرعت موج طولی در جامدات از رابطه زیر تبعیت می کند :

$$C = \sqrt{\frac{E(1-\mu)}{\rho(1+\mu)(1-2\mu)}}$$

سرعت موج طولی به صورت زیر نیز نوشته می شود:

$$\upsilon = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$$

سرعت موج عرضی درجامدات از رابطه زیر بدست می آید : (در این رابطه G مدول برشی است)

$$\upsilon = \sqrt{\frac{G}{\rho}}$$

طول موج :

طول موج فاصله ای است که موج در یک پریود طی می کند . اگر موج در یک لحظه ثابت نگه داشته شود ، فاصله که یک ناظر از یک نقطه به یک نقطه مشابه آن در موج بعدی را می رود را طول موج می گویند .

فرکانس:

فرکانس تعداد پریودهای موج در واحد زمان است. اگر ناظر دریک نقطه ثابت بایستد و تعداد موج هایی که در واحد زمان به آن نقطه می رسد رابشمارد آن را فرکانس می گویند.

برای انتقال انرژی دو راه وجود دارد : یکی اینکه انرژی همراه با ماده منتقل شـودو دیگـری ایـن کـه انـرژی بدون نیاز به جابه جایی ماده منتقل گردد. موج یکی از راه های انتقال انرژی است . امواج بر اساس ایـن کـه انتقال انرژی همراه با انتقال ماده صورت می گیرد یا بدون انتقال ماده به دو دسته تقسیم می گردند. امـواجی که انتقال انرژی در آنها همراه با انتقال ماده صورت می گرددرا امواج مادی وامواجی که انتقال انرژی در آنهـا بدون انتقال ماده صورت می گیرد را امواج غیر مادی می نامند .

امواج مادی در محیط غیر مادی نیز می توانند انتقال یابند ولی امواج غیـر مـادی تنهـا در محـیط مـادی مـی توانند منتقل گردند. از امواج مادی نوررا می توان مثال زد که در خلا نیز می تواند انتقا ل یابدو از امواج غیر مادی صدا را می توان مثال زد که تنها در محیط مادی منتقل می گرددودر خلا قابلیت انتقال ندارد.

امواج را بر حسب فرکانس نیز دسته بندی می کنند. در این دسته بندی از فرکانس هـای شـنوایی انـسان بـه عنوان معیار دسته بندی استفاده می شود. امواج بالاتراز ۲۰ کیلوهرتز که بالای فرکانس شنوایی انسان هـستند وانسان نمی تواند این فرکانس ها را بشنود امواج التراسونیک (Ultrasonic)می گویند. امواج با فرکانس بـین ۱۰هرتـز و ۲۰ کیلـوهرتز را امـواج شـنوایی (Audible)وامـواج بافرکـانس کمتـراز ۱۰ هرتـز را امـواج زیـر شنوایی(Infrasonic) می گویند.

موج ها را ازنظر نحوه انتشار وترکیب به سه دسته تقسیم می کنیم:

امواج آزاد(Free wave) :

موجی است که با موج دیگری ترکیب نشده است وبه همان صورتی که توسط منبع ایجاد شـده منتـشر مـی شود. به عنوان مثال در تست غیر مخرب به روش التراسونیک از امواج آزاد استفاده مـی شـود.در ایـن روش منبع، موج را می فرستد سپس ارسال موج قطع می شود، بعد از رسیدن موج به عیب و بازگـشت ودریافـت

آن و مستهلک شدن موج ، موج بعدی را می فرستد تا با موج های قبلی تداخل پیدا نکند. اگر این امـواج بـا امواج دیگر ترکیب شوند نمی توان محل عیب را تشخیص داد .

امواج ساکن (Standing wave): اگر امواج ایجاد شده توسط یک منبع تولید موج بـه یـک مـانع برخـورد کرده وبرگردد، در موج رفت وبرگشت تعدادی گره وشکم ایجاد مـی شـود یعنـی نقـاطی هـستند کـه هـیچ ارتعاشی ندارد(node یا گره) ونقاطی نیز وجود دارند که حداکثر دامنـه ارتعاشـی را دارنـد(Loop یـا شـکم) چنین موجی که ازترکیب این دو موج بوجود آمده است را موج ساکن می نامند.

اگر موجی که دو منبع تولید می کنند باهم هم فرکانس نباشند پدیده ضربان(Beating) اتفاق می افتد. در این حالت دامنه نوسان نقاط مختلف نسبت به زمان متغیر است واز دامنه صفر تا حداکثر تغییر می کند .[۴]

۴-۱-۲-اجزاء دستگاه التراسونیک

از امواج التراسونیک مکانیکی در زمینه های مختلفی استفاده می شود که از آن جمله مـی تـوان بـه مـواردی همچون ماشینکاری، جوشکاری وتنش زدایی اشاره کرد. اما اجزایی که در این کاربردها استفاده می شوند در تمامی کاربردها وجود دارند وتنها یک یا دو جزء ممکـن اسـت اضـافه گـردد. اجزایـی کـه در کاربردهـا ی مختلف التراسونیک استفاده می شوند عبارتند از:

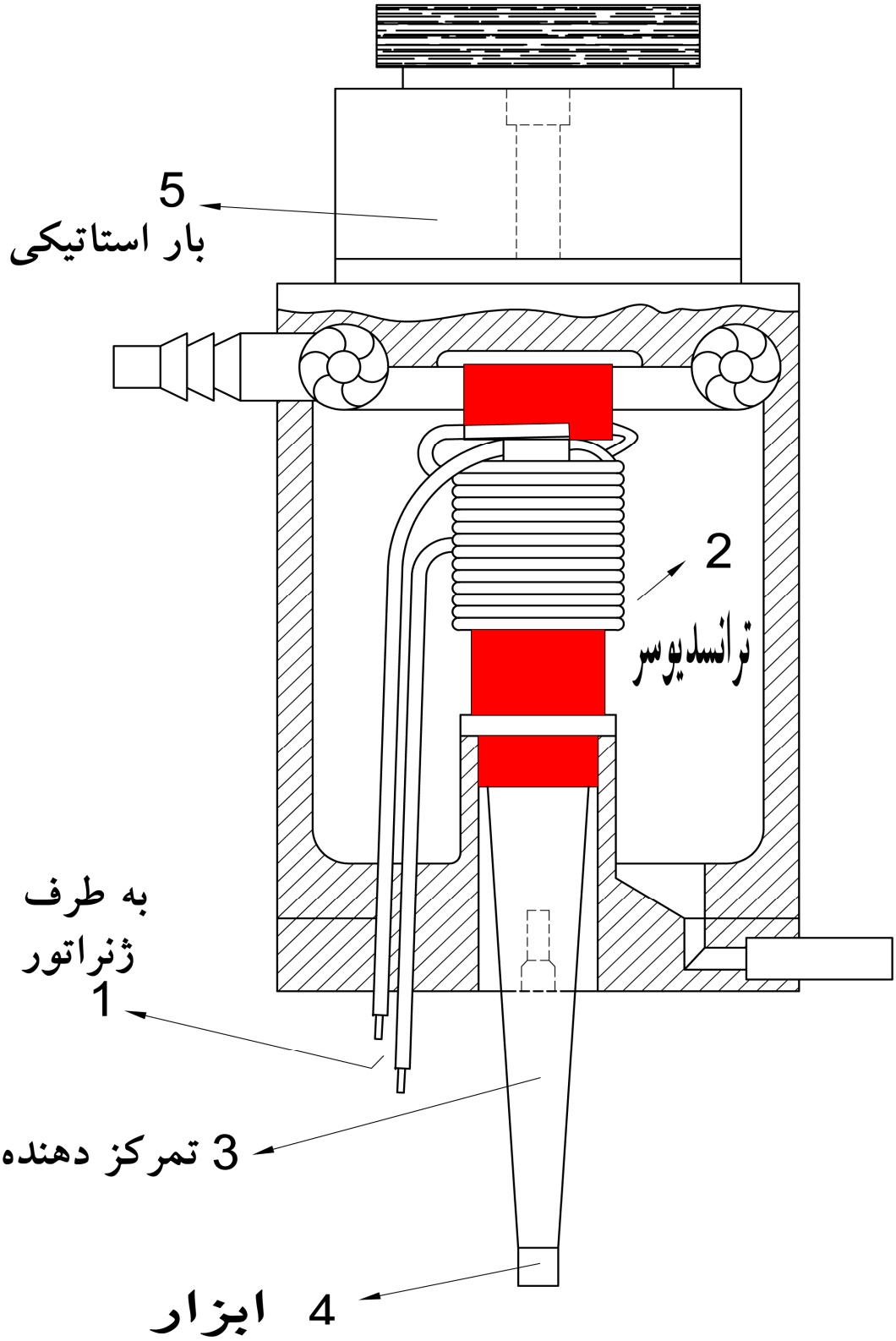
۱-منبع تولید امواج التراسونیک الکتریکی یا ژنراتور (Power supply)

۲- ترانسدیوسر (Transduser)

۳-انتقال دهنده (Transmitter)

۴-ابزار (Tool)

اجزا یک دستگاه التراسونیک در شکل ۱-۴ آمده است



شکل ۱-٤ اجزای یک دستگاه التراسونیک[۴]

ترانسدیوسرعبارت است از وسیله ای که نوعی انرژی را به نوع دیگری از انرژی تبدیل مـی کنـد. در اینجـا ترانسدیوسر انرژی میدان الکتریکی را به انرژی مکانیکی که همـان ارتعـاش اسـت تبـدیل مـی کنـد دونـوع ترانسدیوسر وجود دارد،یک نوع آن ترانسدیوسرمغناطیسی است که میدان مغناطیسی را تبـدیل بـه نوسـانات مکانیکی می کند ونوع دیگرمیدان الکتریکی را به نوسانات مغناطیسی تبدیل می کند.

انتقال دهنده (Transmitter) امواج راگرفته وانتقال می دهد که در حین انتقال باتوجه به نوع آن می تواند آن را پهن کند یا متمرکز کندیا اینکه تنها انتقال دهد. در نوع متمرکز کننده (Concentrator) سطح مقطع موج را کاهش داده و دامنه نوسان آن را افزایش می دهد ودر نوع پهن کننده عکس این است . درنوع انتقـال دهنـده، دامنه وسطح ارتعاشات هیچ تغییری نمی کند .

بعد ازانتقال دهنده (Transmitter) ابزار قرار دارد که برای کاربرد مورد نظر استفاده مـی شـود. بعـد از ابـزار قطعه کار قرار دارد. البته در بعضی از دستگاه های التراسونیک علاوه بر اینها محیط واسطه رسانشی(Media) نیز لازم است که بعنـوان مثـال در ماشـینکاری، گـل سـاینده بـه عنـوان محـیط واسـطه رسانـشی(Media) کارماشینکاری را انجام می دهد.معمولا نیروی استا تیکی نیز برروی سیستم وجود دارد تا با نیروی قطعه کار به ابزار سیستم خیلی عقب نشینی نکند. این نیرو در بعضی از سیستم ها با وزن خـود سیـستم تـا مـین مـی شودودر بعضی سیستم ها توسط یک مکا نیزم دیگری به صورت قابل تنظیم اعمال می گردد. حال به بررسی موضوعی هرکدام از اجزا یک سیستم التراسونیک پرداخته می شود.

ژنراتور (Power Supply)

ژنراتور التراسونیک تامین کننده انرژی ترانسدیوسر است وانرژی نوسانی هسته ترانسدیوسر را تامین می کند این ژنراتور از چند جزء اصلی ساخته شده است که شامل نوسان ساز (Oscillator)، تقویت کننده ولتاژ(Voltage amplifire)تقویت کننده جریان(Current amplifire) وبخش BIOS می باشد

نوسان ساز یک موج سینوسی تولید می کند که براساس فرکانس نامی نوسان ساز در محدوده فرکانس نـامی ژنراتور بایک قلمرو محدود موجی سینوسی راایجاد می کند. جریان خروجی ازنوسان ساز در حد چند میلی آمپرووولتاژخروجی از آن حدودا ۱۵ولت است. جریان وولتاژ خارج شـده از نوسـان سـاز بـرای اسـتفاده در ترانسدیوسر باید تقویت شود. برای این کار از یک تقویت کننده جریان ویک تقویت کننده ولتاژاستفاده مـی شود تا جریان وولتاژ به چند آمپروچندصد ولت افزایش داده شود.

جریانی که توسط منبع نوسان ساز ایجاد شده وتوسط تقویت کننده ها تقویت گردیده است، جریان متنـاوب است. اگربه ترانسدیوسرجریان متغیـر داده شـود بـه علـت مثبـت ومنفـی شـدن متنـاوب میـدان الکتریکـی (درترانسدیوسرالکتریکی) ویا میدان مغناطیسی (در ترانسدیوسر مغناطیسی) باعث افت زیـادی در انـرژی و توان می شودواتلاف زیادی بوجود می آید لذا توسط یک سیستم SBIO الکتریکی که بعد از تقویـت کننـده ها قرار دارد موج متناوب سینوسی را بر یک موج مستقیم DC با ولتاژبرابر با دامنه موج متنـاوب سـوار مـی کنند تا ولتاژ همیشه درآن مثبت(یامنفی) باشد وبه این ترتیب افت توان در ترانسدیوسر کاهش می یابد.

فرکانس نوسان ساز توسط یک باز خوردکه از انتقال دهنده گرفته می شود تنظیم می شود. شود.باز خـوردی که از انتقال دهنده گرفته می شود فرکانس رزونانسی انتقال دهنده رابه نوسان ساز خبرمی دهدتا نوسان سـاز با فرکانس رزونانسی نوسان کند وحداکثر انتقا ل انرژی صورت بگیرد .در بخـش هـای بعـدی ایـن سیـستم فیدبک برای دستگاه ضربات التراسونیک شرح داده خواهد شد .

۲- ترانـسدیوسر (Transduser): هـر وسـیله ای راکـه نـوعی از انـرژی رابـه نـوع دیگـری تبـدیل کنـد ترانسدیوسرمی گویند. ترانسدیوسر مـورد اسـتفاده در دسـتگاه التراسـونیک انـرژی الکتریکـی را بـه انـرژی مکانیکی تبدیل می کند. برای این تبدیل عموما از دو روش استفاده می شود،لذا ترانسدیوسر های موجود نیز به دو نوع تقسیم می شوند :

روش اول این است که انرژی الکتریکی به میدان مغناطیسی (Magneto field) متغیر تبدیل می شود ودر اثـر تغییر متناوب میدان مغناطیسی طول ماده مغناطیسی به طور متناوب تغییر کرده ودر اثر آن ارتعـاش مکـانیکی ایجاد می گردد. به این ترتیب میدان مغناطیسی به ارتعاشات مکانیکی تبدیل می شود ، ترانـسدیوسری را کـه این چنین تبدیلی را انجام می دهد ترانسدیوسر مغناطیسی می گویند.

روش دوم این است که انرژی الکتریکی را به میدان الکتریکی متغییر تبدیل می کنند. وقتی ماده ای که طـول آن در اثر اعمال میدان الکتریکی تغییر می کند. (پیزوالکتریک) درداخـل ایـن میـدان الکتریکـی قـرار بگیـرد تغییرات میدان الکتریکی به تغییردرطول پیزوالکتریک تبدیل شده و ارتعاش مکانیکی ایجاد می گـردد. چنـین ترانسدیوسری راکه تغییرات میدان الکتریکی را به ارتعاشات مکانیکی تبدیل مـی کنـد ترانـسدیوسرالکتریکی می گویند. وجه مشترک این دو نوع ترانسدیوسر در این است که در هر دو نوع ترانـسدیوسر ابعـاد مـاده ای که در میدان قرار می گیرد متناسب با میدان ، تغییر می کند. لذا اگر یک میدان متغییر داشته باشیم باعث تغییر طول ماده موجود در میدان وایجاد ارتعاشات مکانیکی می گردد.

الف- ترانسدیوسر مغناطیسی

میدان مغناطیسی از حرکت بار الکتریکی به وجود می آید. هـر جـا حرکـت بـار الکتریکـی باشـد دراطـراف مسیرحرکت آن میدان مغناطیسی وجود خواهد داشت که میدان مغناطیسی ایجاد شده در هر نقطه بـا فاصـله آن نقطه از مسیر حرکت بار تناسب دارد. جهت میدان مغناطیسی بوجود آمده در اثر حرکت بـارالکتریکی بـا قانون دست راست بدست می آید ،بدین ترتیب که اگـر انگـشت شـست رادرجهـت حرکـت بارمثبـت ودر خلاف جهت حرکت بار منفی در نظر گرفته شود بسته شدن سایر انگشتان جهت میدان مغناطیـسی بوجـود آمده را نشان می دهد.

اتم های مواد نیز در مدارهای خود دارای الکترون هایی هستند که در یک مدار بیضوی فضایی که هسته اتم در یکی از کانون های این بیضی قراردارد حرکت می کنند. لذا از حرکت این الکترون ها در اطراف منطقه حرکت الکترون میدان مغناطیسی بوجود می آید . اگر مدارهای تمام اتم ها شامل جفت الکترون باشند چون جهت حرکت این جفت الکترون ها خلاف جهت هم است میدان های مغناطیسی بوجود آمده توسط هر الکترون توسط میدان مغناطیسی الکترون دیگر که در خلاف جهت آن حرکت می کند خنثی می شود. لذا برای اینکه یک اتم مغناطیسی باشد باید شامل تک الکترون باشد

از طرف دیگر یک الکترون باسرعت زیادی حول هسته می چرخد ،لذا اگر صفحه حرکت آن در هر لحظه جابه جا شود میدان مغناطیسی حاصل نیز به سرعت جابه جا می شود به طوریکه نمی توان اتم را مغناطیس فرض کرد . لذا برای مغناطیس بودن یک اتم باید حرکت تک الکترون های آن به صورت صفحه ای باشد ومیدان های تک الکترون های مختلف همدیگر را تقویت کنند.

هر ماده ای که اتم های مغناطیسی داشته باشد لزوما مغناطیسی نیست.وقتی یک کریستا ل مغناطیسی خواهد بود که میدان مغنا طیسی حاصل از اتم های مختلف آنها در یک راستا قراربگیرند ومیدان آنها باهم ترکیب شود تا کریستال آن حالت مغناطیسی داشته باشد.

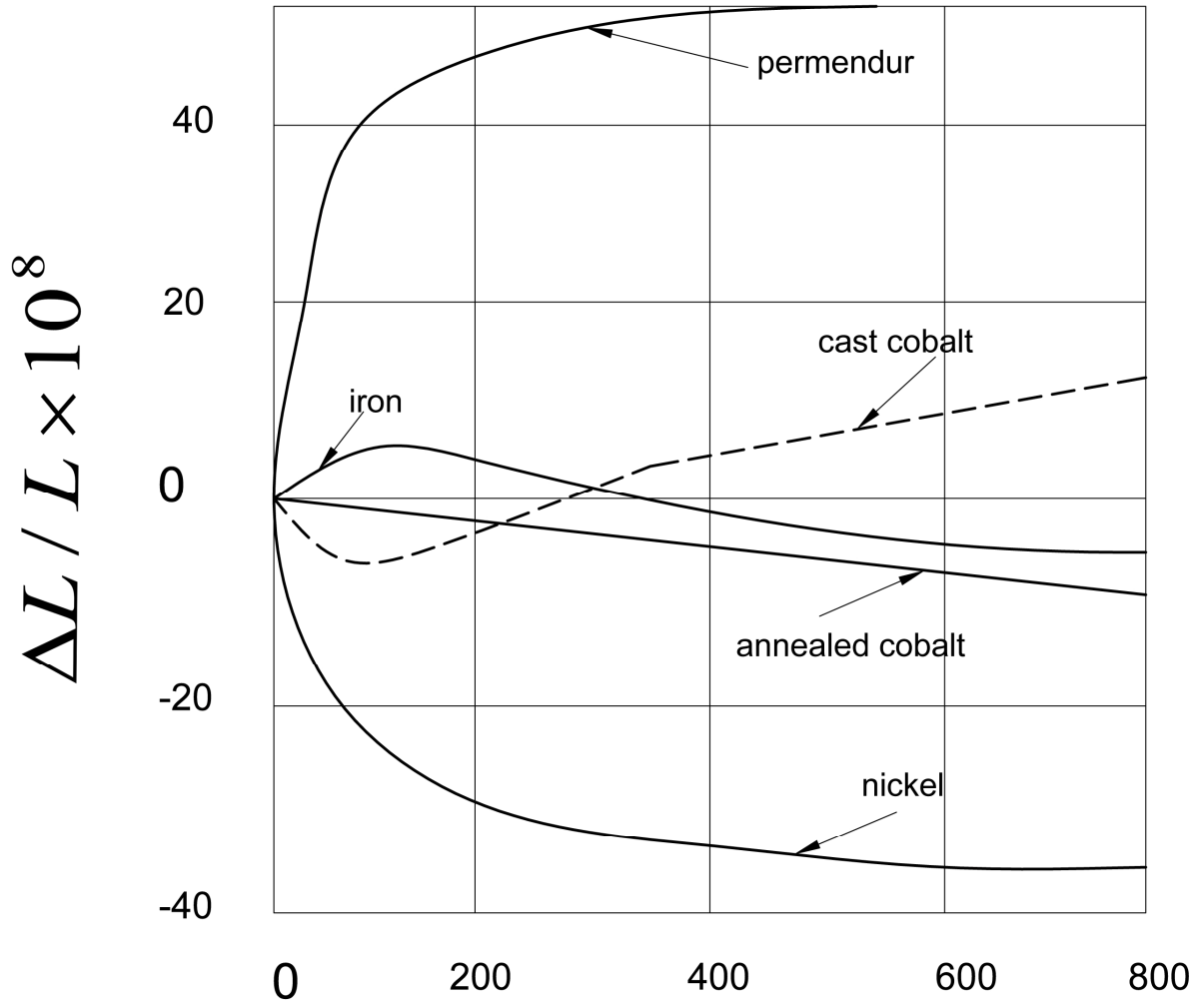
برای مغناطیس بودن یک ماده ،شرط دیگری نیز لازم است.به عنوان مثال ماده ای مانند آهن با وجودی که کریستال های مغناطیسی دارد در حالت عادی مغناطیسی نیست.دلیل آن این است که آهن تک کریستالی نیست ودر نتیجه میدا نهای کریستال های مختلف آنها درراستاهای مختلف جهت گیری کرده ولذا خاصیت مغناطیسی از خود نشان نمی دهد ولی اگر آهن در یک میدان مغناطیسی قرار داده شود میدان کریستال های آنها با چرخش صفحه حرکت تک الکترون ها هم راستا شده وآهن مغناطیسی می گردد. اگر چرخش میدان های کریستال های مختلف ماده ای که کریستال مغناطیسی دارند به سختی صورت بگیرد یا غیر ممکن

باشد،ماده موجود مغناطیسی نخواهد بود. اگر یک میدان مغناطیسی که دارای کریستال های مغناطیسی است را در داخل یک میدان مغناطیسی قرار دهیم میدان کریستال های آن هم راستا گردیده واین ماده مغناطیسی می گردد و خاصیت مغناطیسی از خود نشان خواهد داد.حال اگر با حذف میدان مغناطیسی خارجی میدان های کریستالی مختلف آن به همان راستای قبل از اعمال میدان خارجی برگردند،این ماده حالت مغناطیسی خود را از دست خواهد داد،اما اگر با حذف میدان مغناطیسی خارجی همه یا تعدادی از کریستال ها راستای فعلی خود را حفظ کنند،ماده مغناطیس دائم خواهد گردید.

برای استفاده از میدان مغناطیسی در ترانسدیوسر مغناطیسی این ماده خواص دیگری نیز باید داشته باشدکه عبارتند از:

الف- ماده مغناطیسی موجود باید در اثر اعمال میدان مغناطیسی تغیر طول بدهد واین تغییر طول همواره در جهت افزایش طول یا کاهش طول باشد.

اما مواد مغناطیسی موجود در اثر اعما ل میدان مغناطیسی، تغییر طول های مختلف می دهند.در شکل ۲-۴ تغییرطول تعدادی از مواد مختلف تحت اثر تغییر شدت میدان مغناطیسی نشان داده شده است. بعضی از عناصر مثل آهن در اثر میدان مغناطیسی تغییر طول می دهند اما تغییر طول آنها همواره در جهت انبساط یا انقباض نیست،بلکه در بازه ای از شدت میدان مغناطیسی منبسط ودر بازه ای منقبض می شوند. ماده ای مثل پرمندور در تمام مقادیر شدت مغناطیسی منبسط می گرددوبر عکس ماده ای مثل نیکل در تمام بازه میدان مغناطیسی منقبض می شود.همچنین مشاهده می شود که موادی مثل پرمندور ونیکل بعداز یک شدت میدان مشخص،تغییر میدان، تاثیر چندانی در اندازه آنها نخواهد داشت.

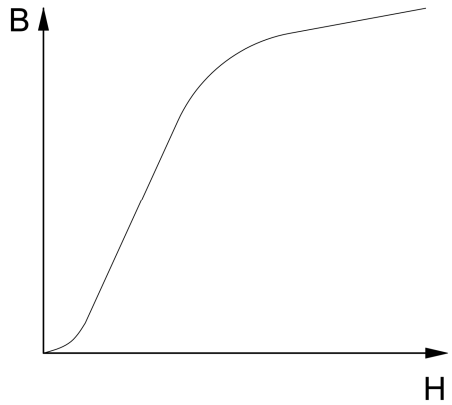


شکل ۲-۴ نمودار تغییر طول چند ماده مختلف تحت میدان مغناطیسی[۴]

ماده مغناطیسی که به عنوان ترانسدیوسر مغناطیسی استفاده می شود ،باید دراثر میدان مغناطیسی دریک جهت تغییر اندازه دهد یعنی یامنبسط یا منقبض شود ،لذاماده ای مثل آهن که در بازه ای رشد کرده ودر بازه ای منقبض می گردد برای استفاده به عنوان ترانسدیوسر مغناطیسی در دستگاه التراسونیک مناسب نیست.

نکته دیگر این است که چنین ماده ای باید درصد تغییرات نسبی بالایی داشته باشد ودر شدت میدان مغناطیسی کمتری به تغییر طول حداکثر برسد. یعنی هرچه منحنی به محورعمودی نزدیک تربباشدوازمحورافقی فاصله داشته باشد برای استفاده در ترانسدیوسرمغناطیسی مناسب تراست.

ب- میدان مغناطیسی ایجاد شده در یک ماده مغناطیسی با شدت میدان مغناطیسی تغییر می کند (شکل۳-۴). علت اینکه مواد در مقابل شدت میدان مغناطیسی رفتاری مطابق شکل ۳-۴ نشان می دهنداین است که در اثر اعمال شدت مغناطیسی به یک ماده مغناطیسی صفحات دورانی اتم های کریستال های آن به سمتی جهت گیری می کنند که میدان حاصل با میدان القا شده هم جهت گردد این هم جهت شدن به این صورت است که در شدت میدان مغناطیسی کم اتم هایی که دوران صفحه آنها به راحتی صورت می گیرد دوران می کنند. در شدت میدان مغناطیسی متوسط آنهایی که کمی سخت تر دوران می کنند می چرخند. ودر شدت میدان های مغناطیسی بالا اتم هایی که دوران آنها سخت است نیز دوران کرده و میدان آنها با میدان مغناطیسی هم جهت می گردد. وقتی که میدان مغناطیسی تمامی کریستال ها با میدان خارجی هم راستا شدند افزایش بیشتر شدت میدان مغناطیسی تاثیری درمیدان مغناطیسی القا شده نخواهد داشت. در نتیجه اتم های منحنی مغناطیس شوندگی به یک خط افقی مجانب خواهد شد . لذا منحنی مطابق شکل ۳-۴ بدست می آید. اگر میدان مغناطیسی حداکثر در شدت مغناطیسی کمتری اتفاق بیافتد. یعنی منحنی قائم تر گردد برای ترانسدیوسر مناسب تر است.



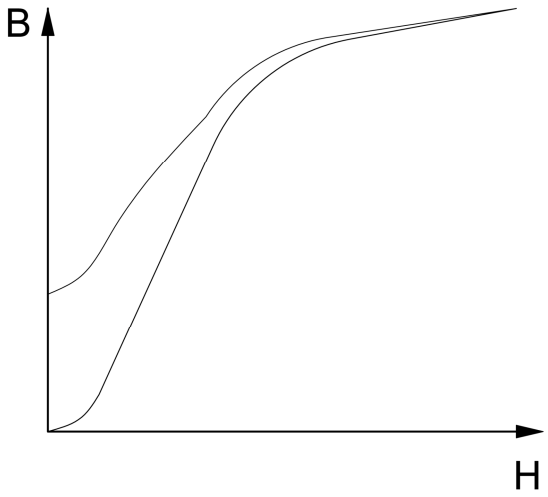
شکل ۳-۴ میدان مغناطیسی القا شده در اثر شدت مغناطیسی[۴]

ج-در منحنی شکل ۳-۴ همانطوری که مشاهده می شود در یک محل قابلیت نفوذ پذیری مغناطیسی از ۱ کمتر می شود. اگر از مبدا خطی با زاویه ۴۵ درجه رسم شود محل تلاقی آن با منحنی مغناطیس شوندگی محلی است که بعد ازآن قابلیت نفوذ پذیری از یک کمتر خواهد بود. هرچه این نقطه در شدت میدان مغناطیسی بالاتری اتفاق بیافتد مناسب تراست.

د- هنگام حذف شدت میدان مغناطیسی میدان مغناطیسی مطابق با همان منحنی مغناطیس شوندگی در هنگام مغناطیس شدن کم نمی شود. اگر موقع حذف میدان مغناطیسی ترتیب برگشتن اتم ها به وضعیت اولیه شان به این ترتیب بود که اول اتم هایی که دوران صفحه حرکت الکترون آنها سخت است بچرخند وسپس آنهایی که دوران صفحه آنها نیمه سخت وبعد آنهایی که دوران صفحه آنها آسان است بچرخند ،در این صورت منحنی مغناطیس شوندگی درافزایش شدت مغناطیسی وسپس کاهش آن بر روی هم منطبق می گردید.اما هنگام کاهش شدت مغناطیسی ، این بارنیز ابتدا اتم هایی که دوران آنها آسان است صفحه حرکت الکترون های خود را عوض می کنند وسپس نیمه سخت ها و سخت ها صفحه دوران الکترون خود را عوض می کنند ، تا به حالت تعادل برگردند ودر انتها نیز با صفر شدن شدت میدان مغناطیسی اتم هایی وجود خواهند داشت که به علت مشکل بودن تغییر صفحه دورانی الکترونها، حالت موجود خود را حفظ

می کنندودر نتیجه در ماده مغناطیسی، مغناطیس پسماند وجود خواهد داشت. در نتیجه این مساله، بین منحنی رفت وبرگشت فاصله ای بوجود خواهد آمد ودر جایی که شدت میدان مغناطیسی صفر می شود میدان مغناطیسی صفر نخواهد شد (شکل ۴-۴)

انجام کار سرد بر روی ماده وآلیاژ کردن، هردو باعث می شود که دوران صفحه الکترون مشکل تر گردیده ودر نتیجه منحنی رفت و برگشت از هم فاصله بگیرند. انجام کار سرد باعث اعمال تنش پسماند به ماده می گردد که این تنش پسماند مانع دوران صفحه حرکتی الکترون ها در اتم ها می گردد. آلیاژی کردن نیز اتم های بیگانه وارد محیط می کند. که مانع چرخش صفحه الکترون می گردد. لذا این دوعامل عواملی هستند که باعث فاصله گرفتن بیشتر دو منحنی می گردند. استفاده از مواد خالص و همچنین آنیل کردن باعث نزدیک شدن منحنی رفت و برگشت می شود.



شکل ۴-۴ افزایش شدت میدان مغناطیسی و سپس کاهش آن برای یک ماده مغناطیس[۴]

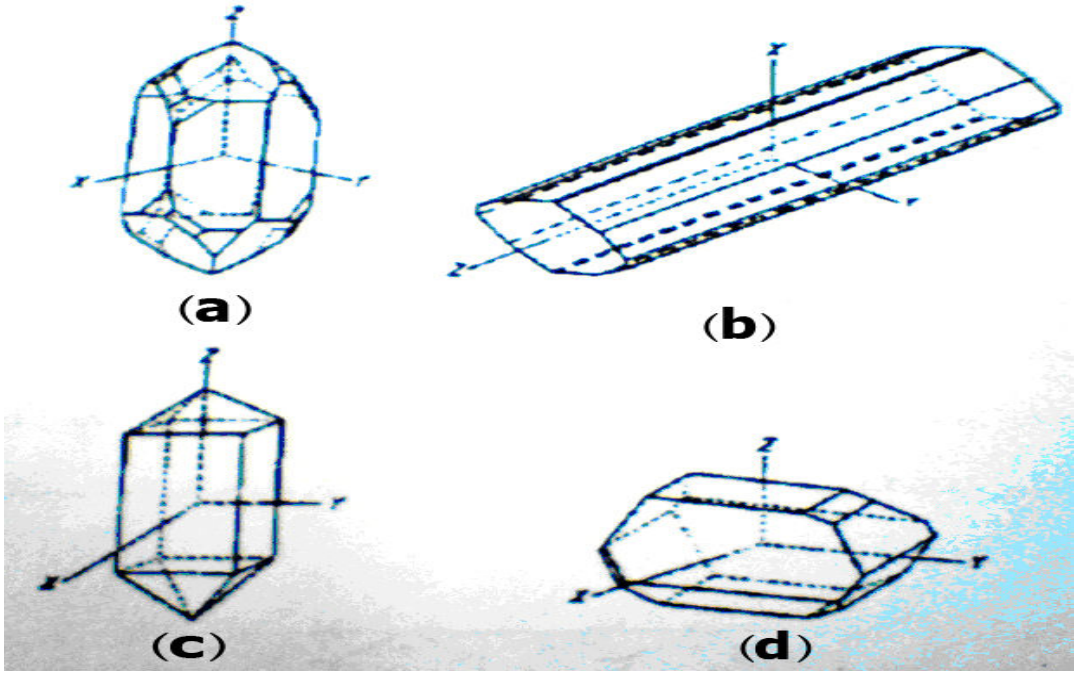
هرچه فاصله این دو منحنی از هم کمتر باشد ، برای کاربرد در ترانسدیوسر التراسونیک مناسب ترخواهد بود. زیرا فاصله این منحنی نشان دهنده میزان اتلاف است زیرا مقداری از انرژی داده شده به ترانسدیوسر بجای تبدیل شدن به ارتعاشات مکانیکی به مغناطیس دایم وحرارت که غیر مفید است تبدیل شده است. هرچه این اتلاف بیشتر باشد باعث گرم شدن بیشتر هسته می گردد که باید توسط خنک کار این حرارت را از محیط خارج کرد. از طرفی ایجاد میدان مغناطیسی پسماند در هسته باعث می گردد که در سیکل های بعدی دامنه تغییر طول کمتر شودو دامنه نوسانات کاهش یابد. ماده مغناطیسی که این ۴ خاصیت راداشته باشد ماده مغناطیسی نرم (Soft magnetic material) می گویند. ماده ای که به عنوان ترانسدیوسر استفاده می شود باید این خاصیت ها را داشته باشد،تا بازدهی وتوان آن افزایش یابد. نکته ای که لازم است بیان شوداین است که ماده ایده آلی که تمام این شرایط را به طور کامل داشته باشد وجود ندارد. به عنوان مثال در تمامی هسته های ایجاد ارتعاشات التراسونیکی در اثر اتلافات موجود حرارت بوجود خواهد آمد که در نتیجه این مساله نیاز به یک سیستم خنک کاردر سیستم های التراسونیکی احساس می شود.این مساله در شکل ۱-۴ که یک ترانسدیوسر التراسونیک را نشان می دهد دیده می شود که مایع خنک کار از ورودی بالای محفظه التراسونیک واردشده وازخروجی پایین آن خارج می شود.

ب- ترانسدیوسرالکتریکی

یکی از روش های تولید امواج التراسونیکی استفاده از میدان الکتریکی متغیر می باشد. بعضی مواد هستند که وقتی در میدان الکتریکی قرار می گیرند تغییر ابعاد می دهند که چنین موادی را پیزوالکتریک

(Piezo electeric) می گویند . اگر به این مواد یک میدان الکتریکی متغیر که بافرکانس التراسونیک تغییر می کند اعمال شود، ابعاد آنها با فرکانس التراسونیک تغییر کرده وبدین ترتیب امواج التراسونیک ایجاد می گردد. پدیده تغییر طول مواد در مقابل میدان الکتریکی را (Electro striction) می گویند . مواد متعددی هستند که خاصیت پیزوالکتریکی ازخود نشان می دهند که بعضی ازاین مواد در حالت طبیعی چنین خاصیتی را از خود نشان می دهند و بعضی نیز باید عملیات خاصی به آنها اعمال شود تا چنین خاصیتی را به دست آورند. یکی از کریستال هایی که در زمینه تولید امواج التراسونیک از آن استفاده می شود کریستال کوارتز است . در گذشته کریستال های کوارتز به طور وسیعی برای ایجاد ارتعاشات التراسونیکی در جامدات و مایعات استفاده می شد که هنوز نیز به طور وسیعی در تولید امواج با توان کم استفاده می شود.تلاش برای استفاده از کوارتز در توان های بالا موفق نبوده است که علت آن مشکلات موجود در گیره بندی (Holdering) آن در ولتاژهای کاری بالا است ،روش های موجود امکان گیره بندی مناسب برای کوارتز در ولتاژهای بالا را نمی دهد.

فرکانس هایی که توسط کریستال کوارتز ایجاد می شود از فرکانس های چند صد هزار هرتز تا ۲۵ مگاهرتز را شامل می شوند و وقتی تحت یک ارتعاش هارمونیک استفاده شود رنج فرکانسی از این نیز بالاتر می رود. کریستال های کوارتز این خاصیت را دارند که وقتی ولتاژی به آنها القا می شود منبسط ومنقبض شده وهمچنین وقتی تحت انبساط و انقباض مکانیکی قرار می گیرند سیگنال الکتریکی تولید می کنند. از دیگر موادی که در اثر اعمال میدان الکتریکی به آنها تغییر شکل می دهند عبارتند از نمک (Rochelle) ،فسفات آمونیوم دی هیدروژن (Ammonium dihydrogen phosphate) ،باریم تیتانات(Barium titanate) وسولفات لیتیوم (lithium sulfate) که استفاده دو ماده آخر به عنوان تولید کننده امواج التراسونیک جدید آغاز شده است. شکل کریستال های تعدادی از این مواد در شکل ۵-۴ آمده است.

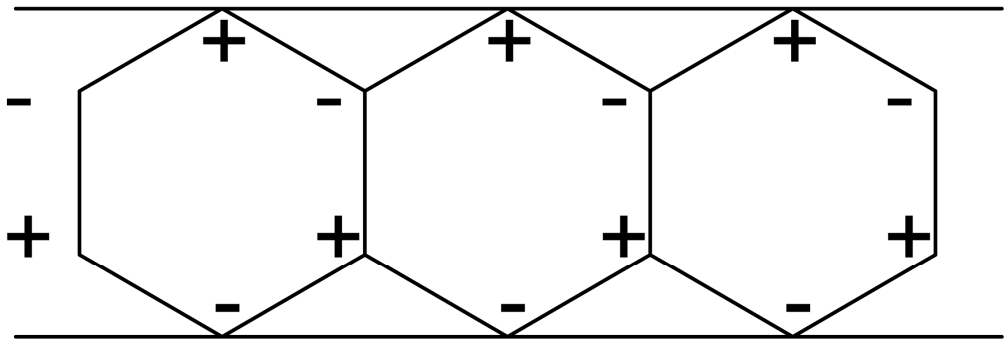


شکل ۵-۴ شکل کریستالی تعدادی از موادپیزوالکتریک:[۴]

a)کوارتز b)نمک Rochelle c) فسفات آمونیوم دی هیدروژن d) سولفات لیتیم

چون کوارتز پایه ایجاد امواج التراسونیک با روش میدان الکتریکی بوده است ودر حال حاضر نیز به طور وسیعی کاربرد دارد،نحوه تغییر ابعاد در کریستال کوارتز در اثر اعمال میدان الکتریکی توضیح داده می شود، تغییر ابعادی دربقیه کریستال ها در اثر میدان الکتریکی نیزمانند کوارتزاست. کریستال کوارتز همانطور که در شکل ۵-۴ نشان داده شد یک حالت شش ضلعی مانندارد و توزیع بارهای الکتریکی مطابق شکل ۶-۴ در آنها ایجاد می شود . در حالت عادی اجزای این کریستال ها در تعادل بوده وازنظرابعادی یون های آن به گونه ای قرار می گیرند که در نهایت برآیند نیروهای حاصل از بارهای الکتریکی در بین آنها صفر باشد. حال وقتی چنین کریستالی در یک میدان الکتریکی قرار می گیرد تعادل بار الکتریکی در آنها با افزایش الکترون ها در یک سمت وکاهش آنها در سمت دیگر به هم خورده وکریستال از حالت تعادل خارج می

شود . در چنین حالتی ابعاد کریستال تغییر خواهد کرد . حال اگر میدان الکتریکی در صفحات متصل به این کریستال متناوبا تغییر کند این تغییرات باعث تغییرات متناوب در ابعاد کریستال شده ودر نهایت در صورتیکه تغییر میدان الکتریکی با فرکانس التراسونیک صورت بگیرد ،امواج التراسونیک ایجاد خواهد شد.

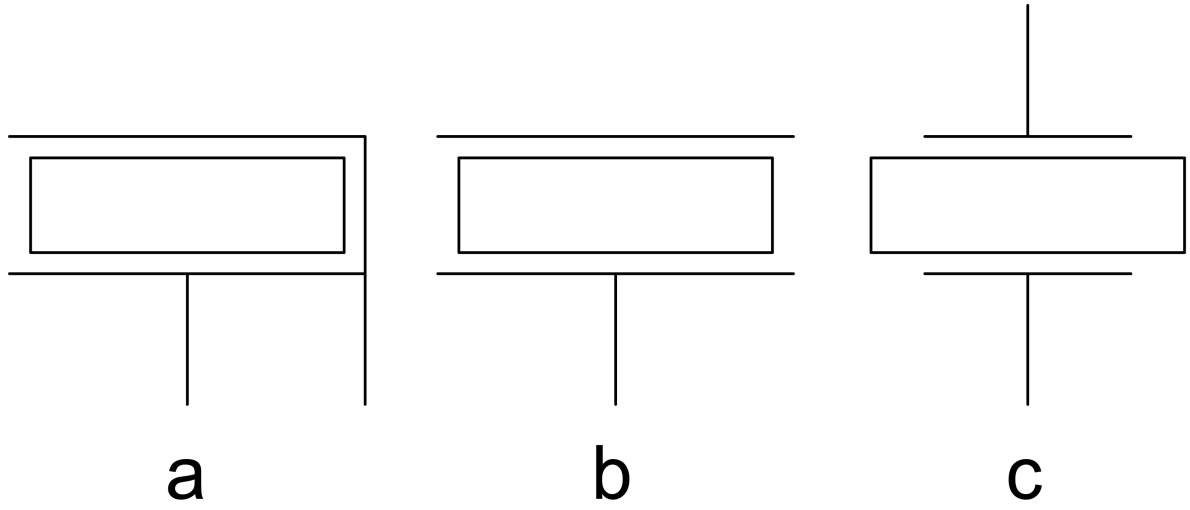


شکل ۶-۴ نمای شماتیک کریستال کوارتز[۴]

.

یکی دیگر از موادی که اخیرا به عنوان پیزوالکتریک در زمینه تولید امواج التراسونیک با توان بالا کاربرد دارد، باریم تیتانات (Barium titanate) است. کریستال این ماده به خودی خود پیزو الکتریک نیست وبرای تبدیل آن به یک کریستال پیزوالکتریک باید کارهایی روی آن انجام داد. برای این منظور آن رادر یک میدان الکتریکی که در جهت عرض کریستال اعمال می شود قرارمی دهند که این کار تحت دمایی بالاتر از۱۲۰ درجه سانتی گراد و در کوره صورت می گیرد. ولتاژ میدان الکتریکی به ازای واحد ضخامت تقریباً ۲۰۰۰ولت بر سانتیمتر(V/CM) است. سپس این کریستال را به سرعت سرد می کنند درنتیجه این عملیات کریستالی بوجود می آید که خیلی از کارهای کوارتز را می تواند انجام دهد درحالی که ولتاژ مصرفی آن خیلی پایین است ولتاژ مصرفی باریم تیتانات برای تولید یک توان برابر با ولتاژ مصرفی کوارتز ۰/۰۱ است. باریم تیتانات را می توان از روش های مختلف مثل ریخته گری،فورج ،نورد و اکستروژن بدست آورده و لذا

شکل های متنوعی را می تواند به خود بگیرد. برای القای میدان الکتریکی در این کریستال ها به آنها پوشش های رسانایی می دهند که در دو سطح روبروی کریستال انجام می شود با اعمال کردن جریان الکتریکی به این ضخامت،در کریستال میدان الکتریکی القا می شودبه این ترتیب میدان الکتریکی باعث تغییر ابعاد کریستال می گردد. پوشش دهی کوارتز عموماً با آلومینیوم می باشد.این پوشش دهی علاوه بر ایجاد میدان الکتریکی در زمینه برای حفظ کریستال نیز مناسب است . پوشش دهی کریستال ها باید به گونه ای باشد که باعث نزدیک شدن بیش از حد صفحات وجرقه زدن نگردد. صفحه جلویی کریستال می تواند به زمین وصل شود. اشکال مختلف پوشش دهی کریستال در شکل۷-۴ آمده است.



شکل ۷-۴ پوشش دهی کریستال پیزوالکتریک[۴]

شکل کریستال نیز در تولید موج موثر است . برای ایجاد موج های باشکل های پیچیده از شکل های مختلف برای پیزو الکتریک استفاده می شود ومی توان موج های مختلفی را به این روش ایجاد کرد. نکته ای که در اینجا لازم است بیان شود این است که سیستم ترانسدیوسر مکانیکی به الکتریکی نیز مثل ترانسدیوسر الکتریکی به مکانیکی است.به عبارت بهتر اگر وسیله ای از یک ماده مغناطیسی که در داخل

یک سیم پیچ می گردد و یا اگر یک پیزو الکتریک تحت فشار قرار گیرد از سیستم های متصل بـه صـفحات آنها جریان الکتریکی عبور خواهد کرد.از این مساله درتعیین فرکانس نوسانی ترانـسدیوسر ودامنـه ارتعاشـی آن،به منظور کنترل فرکانس نوسانی نوسان ساز استفاده می شود. یعنی توسط سنسوری کـه فرکـانس ودامنـه نوسانی انتقال دهنده وترانسدیوسر را تعیین می کند ،فرکانس نوسان ساز تنظـیم مـی شـود تـا حالـت دامنـه نوسانی انتقال دهنده وترانسدیوسر راتعیین کند. فرکانس نوسان ساز تنظیم مـی شـود تـا حالـت تـشدید در ارتعاشات ابزار بوجود آید وهمواره ابزار با حد اکثر دامنه ارتعاشی نوسان کند .

انتقال‌دهنده (Transmitter) : انتقال‌دهنده ارتعاشات مکانیکی ترنسد یوسر را گرفته و به ابزار منتقل می‌کنـد. و این انتقال ممکن است با افزایش یا کاهش سطح انرژی همراه باشد و یا اینکه سطح انرژی ارتعاشی ثابـت باقی بماند. با توجه به آنچه بیان گردید انتقال‌دهنده به سه نوع مختلف می‌تواند باشد.

الف- متمرکزکننده(Concentrator) : این نوع انتقال‌دهنده ارتعاشات را در سطح بـزرگ خـود از ترنـسیدیو سرگرفته و آن را متمرکز کرده و از یک سطح کوچکتر با دامنه ارتعاشات بالاتر به ابزار می‌دهد در این انتقـال دانسیته انرژی افزایش می‌یابد ولی مساحتی که انرژی اعمال می‌گردد کاهش می‌یابد.

ب- انتقال‌دهنده(Simple transmitter) : این نوع انتقال‌دهنده تنها ارتعاشات را انتقال می‌دهد و در سـطح و دامنه ارتعاشی تغییری ایجاد نمی‌کند.

ج- گسترش‌دهنده(Expander) : این نوع انتقال‌دهنده ارتعاشـات را از یـک سـطح کوچـک بـه یـک سـطح بزرگتر منتقل می‌کند و دامنه ارتعاشات را کم می‌کند و دانستیه انرژی را کاهش می‌دهد.

در انتقال‌دهنده و ترانسدیوسر موج ارتعاشی بعد از برخورد به سطح انتهای آنهـا مـنعکس مـی‌شـود و مـوج رفت و موج بازگشتی از سطح انتهایی در طول انتقال‌دهنده و ترانسدیوسر با هـم ترکیـب مـی شـوند. بـرای اینکه ارتعاشات ابزار در خلأ یاهوا قرار داشته باشد و کل موج رسیده به آن بعد از برخورد بـه سـطح مقطـع

انتهای آن بازگشت بکندحالت انتها آزاد(Free End) و در صورتی که این سطح بر روی فلزی از جنس دیگر قرار داده بشود خواص آن ماده و محیط نیز در این فرکانس تشدید و تغییر آن تأثیر می‌گذارد که باید فرکانس تشدید دوباره تنظیم شود. تا حالت روزنانسی به وقوع بپیوندد. لذا ابعاد انتقال‌دهنده و ترانسدیوسر تابعی از سرعت موج در ماده مربوطه و فرکانس نوسانی ارتعاشات خواهد بود. و در طراحی با ثابت گرفتن فرکانس برابر با فرکانس نامی و حالت انتها آزاد طراحی ابعادی آن انجام می‌شود. اما چون تنظیم دقیق طول ممکن نیست و همچنین حالت آن انتها آزاد نیست بعد از طراحی با تغییر فرکانس کاری توسط پیچ تنظیم دستگاه ژنراتور یا توسط سیستم فیدبک فرکانس تشدید جدید را بدست می‌آورند تا بهترین حالت رزونانسی بوجود آید و انتهای ابزار روی شکم ارتعاشی قرار گیرد.

ابزار:

ابزاری که استفاده می‌شود، به نوع کاربرد دستگاه التراسونیک بستگی دارد. به عنوان مثال در دستگاه التراسونیک ماشین‌کاری که این ابزار با برخورد به ساینده ها آنها را به سطح قطعه کار پرتاب می‌کند باید از جنس نرمی باشد تا برخورد ذرات از آن باربرداری نکند، ولی در دستگاه ضربات التراسونیکی که در مباحث بعدی توضیح داده خواهد شد جنس آن باید سخت باشد تا قطعه کار را تغییر شکل دهد و خود دچار تغییر شکل پلاستیک نشود.[۴]

۴-۲-تنش‌زدایی به روش التراسونیک(Ultrasonic impact treatment)

۴-۲-۱-مقدمه

روشی است که برای حذف تنش های کششی پسماند و ایجاد تنش فشاری بر روی فولاد، برنز و یا پلاستیک استفاده می‌شود. از این روش بویژه برای سازه‌های جوش فولادی و به منظور افزایش زمان مورد انتظار تا شکست استفاده می‌شود.

عملیات تنش زدایی التراسونیکی در یکی از مراحل زیر بر روی قطعه یا سازه ممکن است صورت بگیرد:

الف- در حین عملیات ساخت قطعه یا سازه

ب- در حین زمان فعال کاری قطعه یا سازه

ج- بعد از شکست در مرحله تعمیر قطعه یا سازه

این روش باعث ایجاد تنش فشاری در سطح قطعه و در پاشنه جوش می‌شود که تنش کششی موجود قبل از عملیات را خنثی می‌کند. این روش همچنین با ضربه‌هایی که به سطح وارد می‌کند باعث گرم شدن و همچنین پلاستیک شدن موقت داخل قطعه می‌شود که در اثر تنش پسماند موجود این لایه‌ها حرکت کرده و منجر به آزاد شدن تنش پسماند خواهد شد. همچنین تغییر شکل پلاستیکی که روی سطح ایجاد می‌شود باعث ایجاد تنش های فشاری در سطح می‌گردد.

۴-۲-۲-زمینه‌های شکل‌گیری روش تنش زدایی التراسونیک :

در صنعت شکل‌دهی فلزات و جوشکاری، قطعه یا سازه تولید شده، بعد از فرآیند تولید قطعه تحت نیروهایی قرار می‌گیرد که این نیروها با توجه به طبیعت آنها یا در همان لحظه ابتدای وارد شدن به قطعه به علت بالاتر بودن از حد تحمل سازه موجب شکست آن می‌شوند، یا اینکه با توجه به پدیده خستگی، بعد از مدتی موجبات شکست سازه را فراهم می‌کنند. این مسأله در جوش ها که به علت وجود ترک ها در آنها عموماً دارای عمر خستگی کمتری هستند بیشتر نمود می‌کند. لذا سعی می‌شود با روش هایی که در فصل ۲ اشاره شد عمر خستگی جوش ها را افزایش دهیم.

در روش های سنتی جوشکاری قبل و بعد از انجام جوشکاری به منظور رسیدن به عمر بیشتر محصول عملیات مختلفی صورت می‌گیرد بعضی از این عملیات تکنیکی عبارتند از:

الف) آماده کردن سطح محل جوش با مواد ساینده و مواد شوینده شیمیایی قبل از عملیات جوش.

ب) عملیات بعد از جوش شامل تمیز کردن سطح جوش از سرباره و شکل‌دهی سطح به منظور کم کردن فاکتور تمرکز تنش.

ج) عملیات سطحی سازه جوش داده شده با پوشش سطحی مقاوم در مقابل خوردگی.

د) عملیات مغناطیس‌زدایی به منظور جلوگیری از اثر آن بر روی قوس الکتریکی در جوشکاری چند پاسه

گاهی مواقع بین تعدادی از این مراحل که در تولید یک اتصال جوشی بهینه لازم است، تداخل هایی وجود دارد که در نتیجه افزایش عمر خستگی در زمان استفاده مفید از عمر قطعه با استفاده از روش‌های قبلی که تاکنون انجام شده است اساساً دارای محدودیت هایی در بازدهی بوده و یا غیرقابل پیش‌بینی هستند، بنابراین با استفاده از روش های سنتی، تولید قطعه با کیفیت اصلح و خواسته شده برای کار اجرایی مورد نظر بعید به نظر می‌رسد. تلاشی که صورت گرفته است این است که روشی بدست آید که بتواند تعدادی از مراحل بالا را در یک مرحله انجام بدهد و در عین ساده‌سازی و کاهش قیمت تمام شده محصول به خواسته‌های مورد نظر ما نزدیک باشد و مزایای ظرفیت تحمل بار بالا، کاهش تنش های پسماند داخلی و بهبود عمر خستگی را نیز در برداشته باشد.

مسأله دیگر این است که در روش های قبلی، تولید محصولات و سازه‌های جوشی و تعمیر آنها، نیاز به اضافه کردن و یا برداشتن ماده‌ای که در فرآیند تولید مصرف شده است دارد. به عنوان مثال فرآیند جوشکاری پوشش‌دهی به منظور افزایش مقاومت درز جوش، نیاز به ماده خام اولیه بیشتر و همچنین عملیات اضافی از قبیل سنگ‌زنی، برداشتن فلاکس، تمیز کردن مکانیکی و شکل‌دهی سطح دارد و بدونانجام این کارها ممکن نیست به محصول مورد نظر از لحاظ مقاومت و طول عمر برسیم، به عبارت دیگر چنین

اقداماتی قیمت محصول را افزایش داده و باعث پیچیده شده فرآیند ساخت می‌شوند. لذا به دنبال روشی بوده‌ایم که بدون انجام چنین اقداماتی به نیازهای خواسته شده برسیم.

یکی دیگر از مسائلی که نیاز به روش بهینه‌ای برای بهبود کیفیت جوش را موجب شده است مسئله تعمیر قطعات و سازه‌های جوشی است. مرسوم است که قطعه‌ای از سازه که عمر خستگی آن به پایان رسیده است را تعویض می‌کنند. مانند فولادهایی که در سازه‌هایی مثل پل ها استفاده می‌شود یا قطعاتی که بخاطر خستگی تحمل خود را از دست می‌دهند یا قطعاتی که به علت تنش های موجود در معرض خوردگی تنشی قرار گرفته‌اند و یا در معرض تنش های داخلی که منجر به ایجاد ترک و در نهایت شکست قطعه می‌شوند. این مسایل به علت اینکه عمر قطعه را کاهش می‌دهند و در نتیجه نیاز است که در فواصل زمانی کمتری این قطعات تعویض شوند مهم است. از طرف دیگر به علت هزینه‌بر بودن مسأله تعویض یک عضو از سازه (که ابتدا باید سازه را توسط میله‌های دیگری تقویت کرد و بعد آن قطعه را تعویض کرد سعی می‌شود تا با روش هایی عمر خستگی را افزایش دهیم تا هزینه تعویض کرد.) سعی می‌شود تا با روش هایی عمر خستگی را افزایش دهیم تا هزینه تعویض قطعه کمتر شود یعنی به دنبال روشی هستیم که منجر به افزایش و بهبود ظرفیت تحمل بار قطعه کاری که کار کرده است شود و منجر به کاهش پسماند در طی فرآیند نگهداری شود. در نتیجه همین سازه مدت زمان بیشتری می‌تواند تحت کاربرد و استفاده قرار گیرد.

در روش های مرسوم بهبود جوش، روشی که به طور غیر مخرب و بدون تغییر شکل و بازکردن قطعه معیوب، بتواند کیفیت و عمر آن را افزایش دهد و ظرفیت تحمل بار آن را که به علت خستگی و تنش های موجود و ترک های ایجاد شده کاهش یافته است را افزایش دهد وجود ندارد. به عنوان مثال توانایی روش های سنتی برای تعمیر قطعات سازه‌های جوشی وقتی است که شکست اتفاق افتاده است و یا به صورت

ترک و غیره آشکار شده است. همچنین در بیشتر قطعات به علت محدودیت در قرار دادن پایه‌های حمـایتی و سایر انواع سازه‌های کمکی که در ناحیه معیوب وجود دارد، این نوع تعمیر امکان‌پذیر نیست.

مسأله دیگری که اشاره شد مسأله تمرکز تنش پسماند در منطقه Haz است. این منطقه بـه علـت طبیعـت آن می‌تواند شامل ترک های مختلفی باشد که در اثر تنش پسماند کششی می‌تواند منجـر بـه شکـست سـازه از منطقه Haz شود. در روش های سنتی از عملیات آنیل کـردن بـرای تغییـر توزیـع تـنش و آزادسـازی تـنش پسماند استفاده می‌شده است. اما عموماً این روش در سازه‌های بزرگ مثل لوله‌های طویل و .... با مـشکلاتی مواجه است. علاوه بر این،این روش ها بستگی فراوانی به مهارت و تجربه اپراتور دارد. بنـابراین روشـی کـه به دنبال آن هستیم باید بتواند این مشکل را نیز برطرف کند. روش ضربات التراسـونیک اکثریـت قریـب بـه اتفاق این معایب را حذف کرده و مزایای زیر را موجب شده است:

۱–حذف تنش کششی پسماند و جایگزین کردن آن با تنش فشاری پسماند که موجب افزایش عمر خـستگی و استحکام کششی جوش می‌گردد.

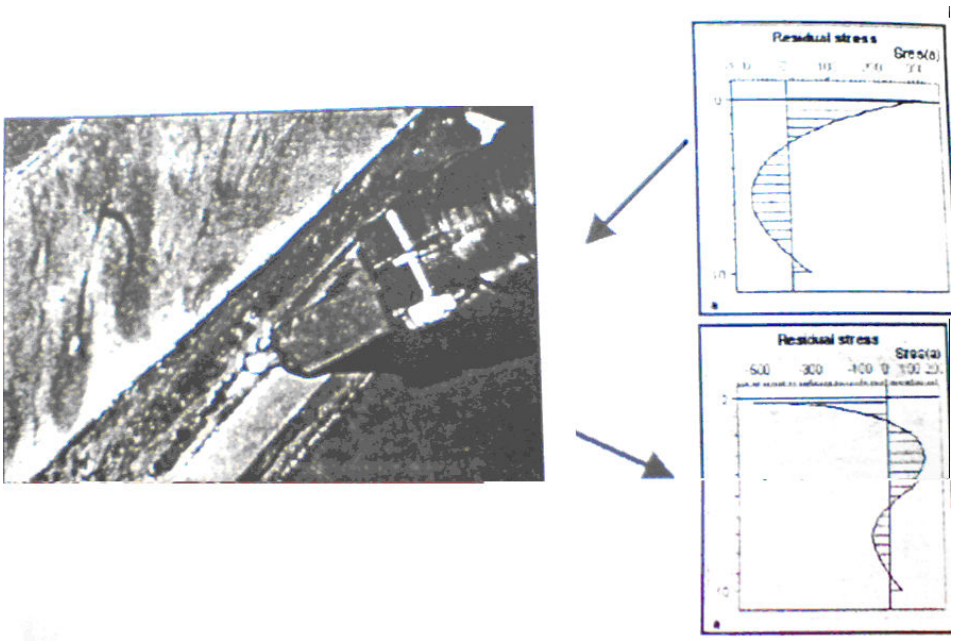
۲– افزایش عمر قطعات سازه با تعمیر آنها بدون اینکه نیاز به باز کردن قطعه از سازه گردد.

۳– کاهش هزینه تمام شده برای بهبود کیفیت جوش.

۴– افزایش استحکام در مقابل خوردگی تنشی، سایشی، خستگی و ....

۵– ترکیب مراحل مختلف لازم برای بهبود کیفیت جوش در مقابل خوردگی، سـایش، خـستگی و ... کـه در روش های قبلی برای هر کدام از این موارد عملیات خاصی لازم بود ولی در این روش تمام مراحل در یـک مرحله قابل اجرا است در نتیجه زمان انجام کار کمتر می‌شود.

در شکل ۸-۴ ، یک سازه جوشی مشاهده می‌شود که توزیع تنش قبل از عملیات ضربات التراسونیک و بعد از آن در جوش نشان داده شده است در این شکل به خوبی مشاهده می‌شود که توزیع تنش از حالت کششی در سطح که تا حد تنش تسلیم فلز می‌تواند باشد. به حالت فشاری تبدیل شده است که در افزایش استحکام سازه جوشی خیلی مؤثر است.[۳]

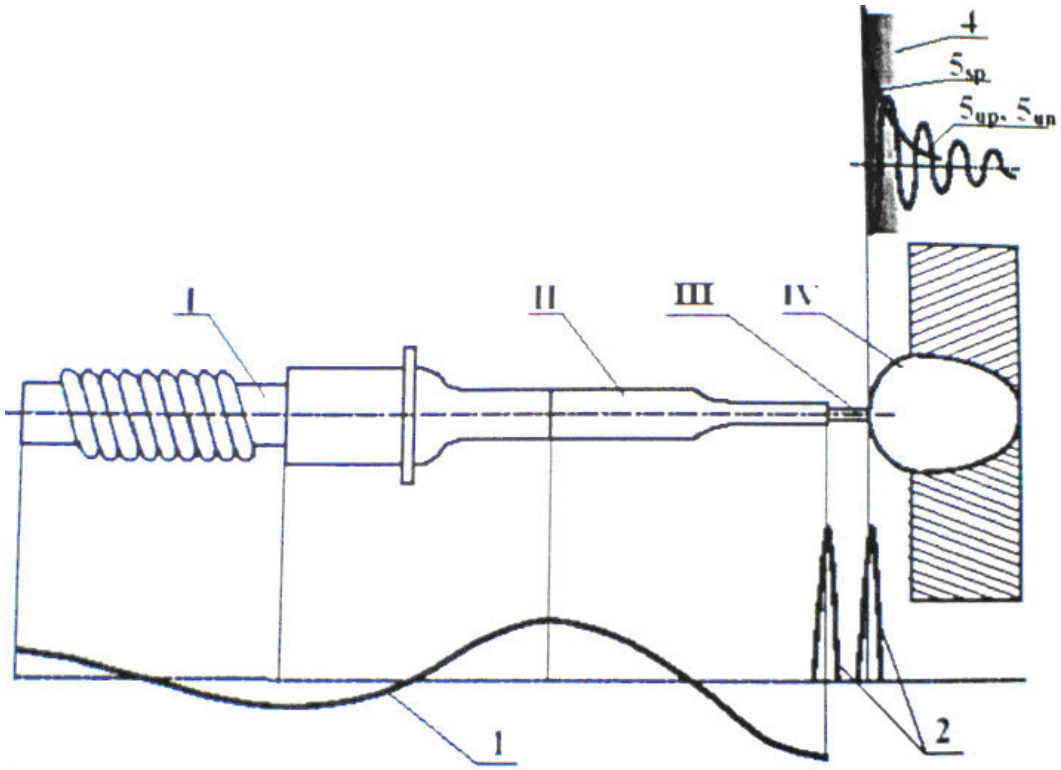


شکل۸-۴ ایجاد تنش پسماند فشاری بر اثر اعمال ضربات التراسونیک[۳]

۴-۲-۳-مکانیزم عملکردتنش زدایی با ضربات التراسونیک(UIT)

مکانیزم عملکردتنش زدایی التراسونیک در شکل ۹-۴ نشان داده شده است. در هنگام اعمال ضربات التراسونیک بر یک قطعه فرآیندهای زیر را خواهیم داشت.

با روشن کردن ژنراتور دستگاه ارتعاشات مکانیکی ترنسیدیوسر التراسونیک (I) آغاز می‌شود که با فرکانس التراسونیک اسمی ۲۷ کیلوهرتز شروع به نوسان می‌کند این ارتعاشات التراسونیک سینوسی از طریق متمرکزکننده (IT) بر روی ابزار متمرکز می‌شوند، یعنی چون انرژی ورودی به متمرکزکننده در سمت چپ آن در سطح بیشتری توزیع شود در صورتی که در داخل متمرکزکننده افت انرژی نداشته باشیم باید در انتهای خروجی متمرکزکننده دامنه ارتعاشی کم ترانسدیوسر I توسط متمرکزکننده IT به دامنه ارتعاشی بزرگتری تبدیل شود. متمرکزکننده با دامنه ارتعاشی خود به انتهای سوزنIII ضرباتی با فرکانس التراسونیک وارد می‌کند که سوزن III این ضربات را به سطح قطعه‌کار منتقل می‌کند و در طی این مراحل ارتعاشات متناوب و سینوسی به ضربات پالسی در انتهای تمرکزدهندهII و همچنین سطح قطعه‌کار IV منتقل می‌شود. به این ترتیب ضرباتی با فرکانس التراسونیک به سطح قطعه‌کار وارد می‌شود.[۱]

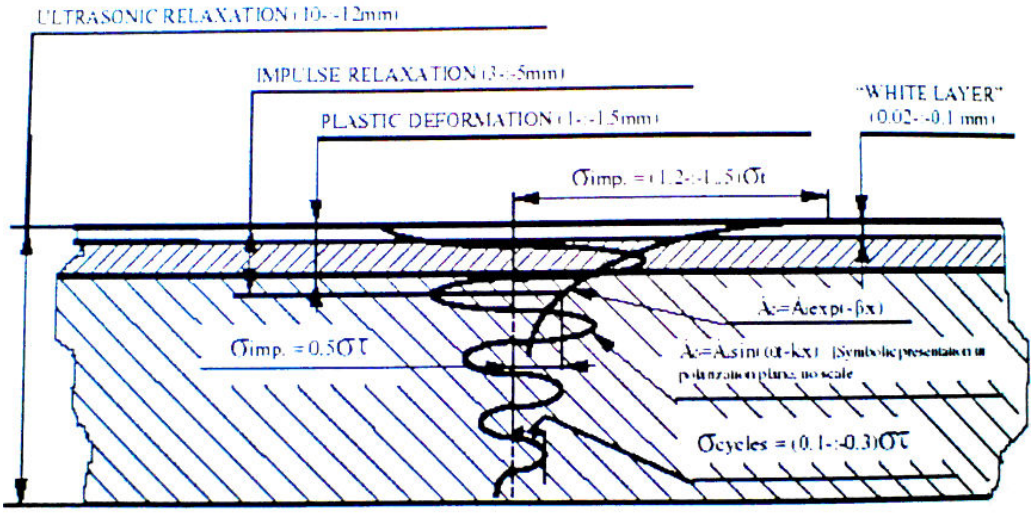


شکل ۹-۴ مکانیزم تنش زدایی با ضربات التراسونیک [۱]

I – ترانسدیوسر II- انتقال‌دهنده III- ابزار IV – قطعه‌کار

انرژی ضرباتی که توسط ابزار به سطح وارد می‌شود، ابتدا صرف تغییر شکل پلاستیک سطح قطعه‌کار می‌گردد. در منطقه تغییر شکل پلاستیک تنش فشاری پسماند درسطح قطعه کار القا می‌شود که با نفوذ در عمق قطعه‌کار کاهش می‌یابد. از طرف دیگر خود لایه تغییر شکل پلاستیک یافته در سطح قطعه‌کار با فرکانس التراسونیک مرتعش می‌گردد که در نتیجه این ارتعاشات، امواج تنشی در حجم ماده القا می‌شود. ته این تنش ها به تنش های پسماند قبلی اضافه شده و موجب حرکت لایه‌های سطحی و آزادسازی تنش پسماند می‌گردند. از طرف دیگر با برخورد ابزار التراسونیک با سرعت و فرکانس بالا به سطح، انرژی جنبشی آن در سطح قطعه‌کار تبدیل به انرژی گرمایی می‌شود که این انرژیدمای نقطه حرارت دیده (محل ضربه) را تا دمای تغییر فاز بالا می‌برد و به علت بزرگ بودن حجم قطعه به سرعت سرد می‌شود که

اگر جنس قطعه از فولادهای کربن‌دار باشد ممکن است تبدیل به مارتنزیت می‌شود که در آن صورت لایه‌ای مقاوم در مقابل سایش و خوردگی ایجاد می‌گردد. پس از اینکه سطح مقطع قطعه‌ای را که تحت عملیات التراسونیک قرار گرفته برش داده و تحت متالوگرافی قرار می‌دهیم، این لایه مقاوم به شکل لایه‌ای سفید نمایان می‌گردد (white layer). در شکل ۱۰-۴ این لایه نشان داده شده است. همچنین در این شکل تغییر فرم پلاستیک و لایه‌ای در زیر آن که تحت تنش‌زدایی قرار گرفته به همراه حدود ابعاد آنها نشان داده شده است.

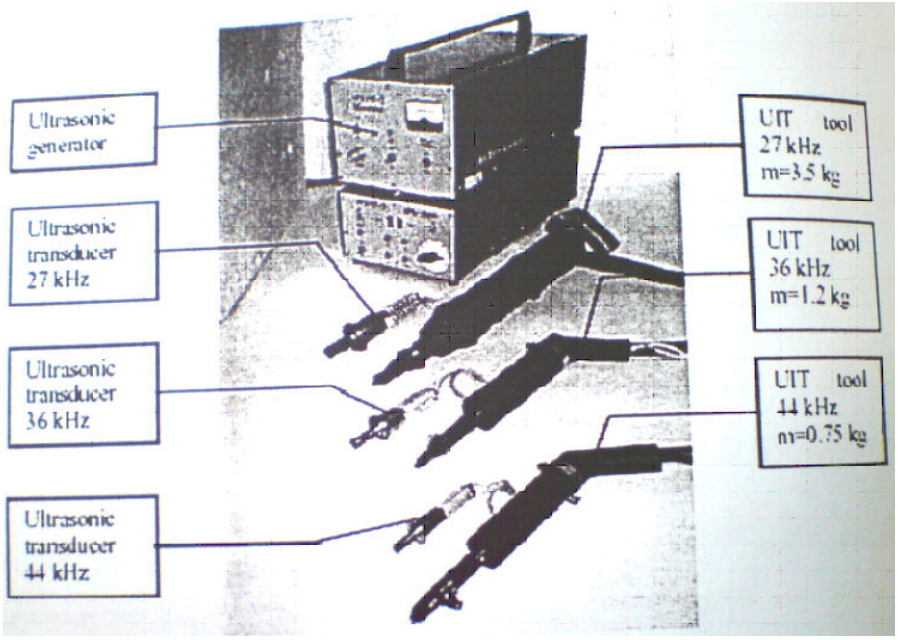


شکل ۱۰-۴ نواحی و لایه‌های فیزیکی بدست آمده از ضربات التراسونیک(UIT) [۱]

منطقه تغییر شکل پلاستیک به علت تنش پسماند فشاری بالایی (در حدی بیش از تنش تسلیم فلز) که به آن اعمال شده است می‌تواند مانع از باز شدن و رشد ترک ها شده و حد دوام خستگی را بهبود می‌دهد و در نهایت لایه‌ای که تنش پسماند کششی در آنها در حد مقبولی کاهش یافته است بوجود می‌آید. منطقه تغییر شکل پلاستیک به علت تنش پسماند فشاری بالایی (در حدی بیش از تنش تسلیم فلز) که به آن اعمال شده است می‌تواند مانع از باز شدن و رشد ترک ها شده حد دوام خستگی را بهبود می‌دهد و در نهایت لایه‌ای که تنش پسماند کششی در آنها در حد مقبولی کاهش یافته است بوجود می‌آید.

۴-۲-۴-مشخصات یک دستگاه ضربات التراسونیکی(UIT)

در فصل قبل اجزای لازم برای یک دستگاه التراسونیک(UIT) که شامل منبع تغذیه(Power supply)، ترانسدیوسر(Transduser) ، انتقال‌دهنده(Transmitter) که در اینجا از نوع متمرکزکننده(Concentrator) است و ابزار می‌باشد شرح داده شد . نمونه‌ای از این دستگاه که با فرکانس ۲۷ کیلوهرتز کار می‌کند موجود است که آزمایش هایی توسط این دستگاه صورت گرفته است. البته دو نمونه ابزار برای فرکانس کاری۳۶ و ۴۴ کیلوهرتز نیز در دست تحقیق می‌باشد. در شکل ۱۱-۴ شکل ژنراتور و ابزارهای التراسونیک برای این فرکانس ها نشان داده شده است.



شکل ۱۱-۴ ژنراتور و ابزارهای دستگاه ضربات التراسونیکی برای سه فرکانس ۲۷و۳۲ و ۴۴کیلوهرتز[۱]

ژنراتور مورد استفاده برای این دستگاه ژنراتور UIT Msp- 5 بوده است که مشخصات آن در جدول ۱-۴ آمده است.

جدول۱-۴ مشخصات نمونه‌ای از منبع تغذیه دستگاه التراسونیک (UIT)[۱]

توان خروجی دستگاه	۱۸۰-۶۰۰VA
ولتاژ مصرف اصلی	۱۱۰/۲۲۰ V
فرکانس برق مصرفی	۵۰-۶۰ HZ
حداکثر ولتاژ خروجی	۱۰۰V
رنج فرکانس کاری	۲۵- ۲۸KHZ
ابعاد کلی	۵۲۰× ۲۴۰×۷۴۰ mm
وزن ژنراتور	۱۲/۵ Kg
وزن منبع تغذیه	۱۸ Kg
حداکثر طول کابل برای اتصال ژنراتور و ابزار	۸۰ Kg
خنک‌کار	هوا
تنظیم اتوماتیک فرکانس	در تمام رنج کاری
تشخیص رزونانس مکانیکی	توسط نور
اندازه‌گیری نسبی دامنه جابجایی انتهای خروجی تمرکزدهنده	با نشانگر سوزنی

طراحی ابزارها برای سه فرکانس ۲۷و۳۲ و ۴۴ کیلوهرتز صورت گرفته است که فرکانس های ۳۶ و ۴۴ به عنوان نمونه(Prototype) می‌باشند. این ابزارها هم برای انجام فرآیند به صورت دستی و هم برای حالت اتوماتیک قابل استفاده می‌باشند. ابزارهای التراسونیک دستی اگر بر روی ماشین های اتوماتیک و متحرک

جوشکاری سوار شوند می‌توانند برای عملیات اتوماتیک ضربات التراسونیک نیز استفاده شوند. در جدول ۲-۴ مشخصات این ابزارها آمده است :

جدول۲-۴ مشخصات ابزار دستگاه التراسونیک(UIT) [۱]

پارامتر	فرکانس کاریKHZ		
	۲۷	۳۶	۴۴
طراحی	برای کاربرد اتوماتیک و غیر اتوماتیک		
توان مصرفی،VA	۶۰۰-۱۲۰۰	۳۰۰-۸۰۰	۲۰۰-۵۰۰
ولتاژ تحریک ترانسدیوسر، V	۶۰-۱۱۰		
جریان	۱۰-۱۵	۶-۱۰	۵-۸
دامنه نوسانی انتهای ترانسدیوسر،mm	۳۵-۴۰	۳۰-۳۵	۲۵-۳۰
سرعت خطی حرکت ابزار در کاربرد دستی، $\mathrm{m/min}\ (\frac{m}{n})$	۰/۳(۱۸)-۱۰۵(۹۰)		
ابعاد کلی ابزار دستی، mm	۴۵۵×۸۵×۸۰	۳۸۰×۱۱۰×۵۰	۳۳۰×۱۰۰×۴۰
وزن ابزار دستی، kg	۰/۷۵	۱/۲	۰/۷۵
خنک‌کار	هوا		
نحوه گرفتن کلگی	به طول		
قطر سوزن، mm	۲/۵		
سختی سطح تماس سوزن با سطح قطع کار	۶۲-۶۴HRC		

۴-۳-طراحی نحوه اجرای عملیات ضربات التراسونیک(UIT)

۴-۳-۱-مقدمه:

انتخاب دستگاه مورد استفاده برای عملیات ضربات التراسونیک ، تنظیم پارامترهای آن و نحوه اجرای عملیات به عوامل مختلفی از قبیل هندسه جوش و نحوه بارگذاری اتصال بستگی دارد. برای اینکه این عملیات به نحوی اجرا می‌شود که ضمن رعایت مسأله زمان کم و هزینه کم، بهبود لازم در خصوصیات اتصال جوشی را موجب شود لازم است که ابتدا نکات و مسائلی که در اجرای این عملیات برای تنش‌زدایی مطرح می‌شوند، شناسایی شود چرا که از نظر تئوری می‌توان کل منطقه جوش را تحت عملیات ضربات التراسونیک قرار داد و از بهبود کیفیت جوش اطمینان حاصل کرد، ولی این مسأله از نظر هزینه‌های اضافی که صورت گرفته است. قابل توجیه نیست، حداکثر بهبودی که به جوش داده می‌شود باید در حدی باشد که احتمال شکست سازه از منطقه جوش با سایر مناطق یکسان گردد. در فصل اول راجع به انواع مختلف اتصالات جوشی توضیح داده شد و نحوه‌های مختلف اجرای اتصالات جوشی توضیح داده شده و در مراحل بعدی راجع به فرآیند نحوه دسته‌بندی اتصالات جوشی توضیح داده شده و در مراحل بعدی راجع به فرآیند ضربات التراسونیک برای انواع مختلف اتصالات صحبت خواهد شد.

.

4-۳-۲- مراحل طراحی عملیات ضربات التراسونیک(UIT) برای یک اتصال جوشی

در طراحی یک عملیات تنش زدایی التراسونیک(UIT) ،طراح باید ابتدا یک تحلیل نیرویی برای تمامی اتصالات انجام دهد و تنش های متوسط وارده به اتصالات جوشی را بدست آورد و با مقایسه این تنش ها با تنش های مجاز جوشی، جوش های بحرانی(یعنی جوش هایی که تنش های وارده به آنها نزدیک به تنش مجاز می‌باشد) را بدست آورد. این جوش ها، محل هایی هستند که در نتیجه وجود عیوبی مثل ترک و سایر

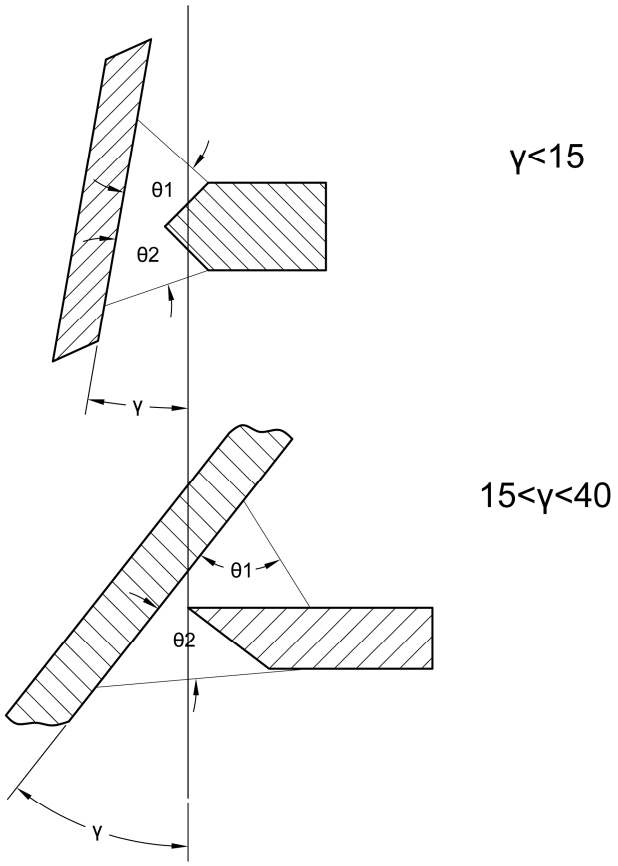
مسائل با وجود رعایت مسأله تنش مجاز احتمال شکست دارند. لذا باید این جوش ها بهبود یابند. از طرف دیگر، طرح باید جوش هایی که دارای شکل های جوشی بحرانی هستند را بدست آورد، چون شکل جوش در تمرکز تنش نقش بزرگی ایفا می‌کند و جوشی که از نظر تنش، حد تنش آن خیلی کمتر از تنش مجاز باشد در اثر مسأله تمرکز تنشی که بخاطر شکل جوش بوجود می‌آید، ممکن است موجب شکست سازه از محل جوش گردد. لذا مسأله تمرکز تنش با توجه به شکل جوش باید تا حد امکان کاهش یابد. بحرانی‌ترین اتصالات جوشی، آنهایی هستند که هم از نظر مسأله نیرویی در حد بحرانی هستند و هم از نظر شکل اتصالات بحرانی هستند.

عملیات تنش زدایی با ضربات التراسونیک(UIT) بر حسب شرایط بارگذاری روی اتصالات جوشی را می‌توان به دو گروه تقسیم کرد:

گروه اول: اتصالات جوشی که در شرایط بارگذاری کاملاً نامساعد هستند.

گروه دوم: اتصالات جوشی که شرایط بارگذاری آنها نامساعد و خطرناک نیست.

برای شکل اتصالات نیز زاویه گره جوش با سطح فلز به عنوان یک پارامتر در طراحی نحوه عملیات استفاده می‌شود. این پارامتر در شکل ۱۲-۴ نشان داده شده است. هر چه زوایه A کوچکتر باشد تمرکز تنش به علت یکنواخت بودن و تدریجی بودن تغییر شکل، کمتر بوده و لذا مساعدتر است و هر چه A بزرگتر باشد شرایط هندسی جوش نامساعدتر است، زوایهٔ A بالای ۶۰ درجه بیشترین هندسه نامساعد را دارد و دارای ضریب تمرکز تنش‌بالایی است. در روش های عمومی، چنین هندسه جوشی، با سنگ زدن و یا عملیات پوشش دهی با جوش آرگون(Tig dressing) بهبود می‌یابد تا تمرکز تنش کمتر گردد. [۱]



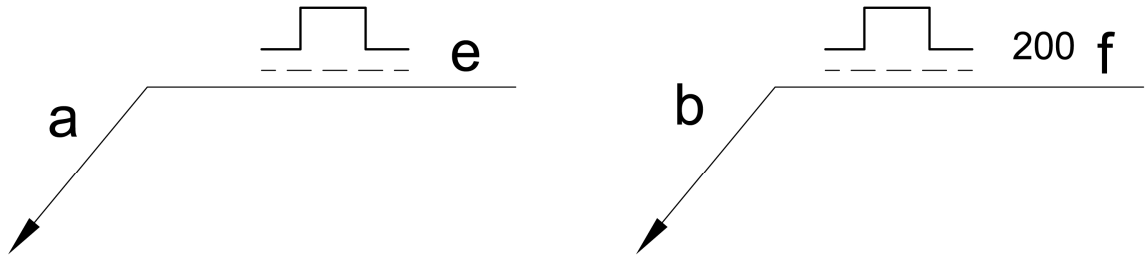
شکل ۱۲-۴ زاویه گره جوش با سطح فلز(Flank angle) در طراحی UIT نقش مهمی دارد.[۱]

این دو تقسیم‌بندی در مراحل بعدی طراحی عملیات تنش زدایی با التراسونیک(UIT) استفاده خواهد شد. آنچه که در اینجا از طراحی تنش زدایی التراسونیک (UIT) گفته می‌شود بخشی از استفاده آن است. اصولاً طراح باید با توجه به شرایط بارگذاری و هندسه جوش و با مراجعه به آزمایش هایی که قبلاً در زمینه استفاده از تنش زدایی التراسونیک (UIT) در این شرایط داشته است و همچنین تجربیات خویش و با توجه

بـه ارزیـابی حـد خـستگی و اسـتحکام شکـست ایـن اتـصالات جوشـی بعـد از تـنش زدایـی التراسـونیک (UIT)،نسبت به طراحی اجرای عملیات بر روی این جوش ها اقدام نماید.

۴-۳-۳-نماد عملیات تنش زدایی با فرآیند التراسونیک(UIT):

برای نشان دادن اتصال جوشی که باید عملیات تنش زدایـی التراسـونیک (UIT) بـر روی آن اجـرا گـردد از نمادی خاص استفاده می‌گردد این نماد مطابق شکل ۱۳-۴ بر روی یک خط مرجع نـشان داده مـی‌شـود. در صورتی که تنش زدایی با ضربات التراسونیک باید در تمام اتصال جوشی اعمال گردد از نماد شـکل ۱۳a-۴ استفاده می‌شود و در صورتی که باید بر جزئی از جوش اعمال شود، طولی که تنش زدایی التراسونیک بر آن اعمال می‌شود نیز بر روی خط مرجع نشان داده می‌شود. به عنوان مثال شکل ۱۳b-۴ نشان می‌دهد کـه ایـن عملیات باید در طول ۲۰۰ میلیمتر از جوش اعمال گردد.

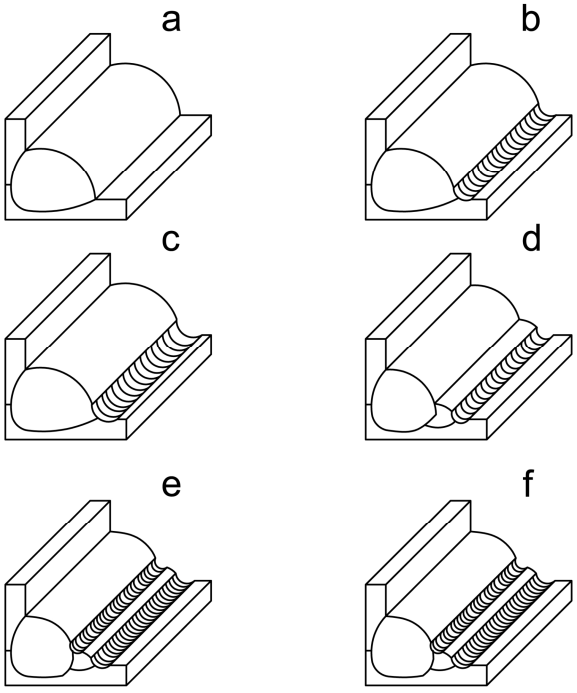


شکل ۱۳-۴ نماد عملیات ضربات التراسونیک برای مشخص کردن محل انجام آن[۱]

۴-۳-۴-نحوه اجرای عملیات تنش زدایی با فرآیند التراسونیک(UIT):

عملیات تنش زدایی با فرآیند التراسونیک(UIT) باید در محل عبور از جوش بـه عـضو تحمـل‌کننـده نیـرو صورت بگیرد، یعنی باید در محل خطی که جوش را از فلز پایه جدا می‌کند انجام شود. در اتصالات لب بـه لب عملیات تنش زدایی التراسونیک(UIT) باید در هر دو طرف پای جوش و در هر دو روی جوش انجـام شود(شکل۱۴a-۴) و در اتصالات لب بر لب و T شکل نیز این عملیات باید در هر دو طرف جـوش انجـام

شود.(شکل ۱۴b-۴). با توجه به گروه‌بندی نیرویی و شکلی جوش که در بخش قبل گفته شد نحـوه اجـرای عملیات تنش زدایی التراسونیک (UIT) روی جوش،متفاوت خواهد بود. نحوه و ترتیب انجام ایـن عملیـات باید در نقشه‌های جداگانه‌ای نشان داده شده و ترتیب مراحل آن بیان گردد. به عنوان مثال شکل ۱۵-۴ روش های مختلف انجام این عملیات برای یک اتصال T شکل را بیان می‌کند که با توجه به نیروها و شکل جوش یکی از این حالت های انجام عملیات باید انتخاب گردد تا شرایط بهینه حاصل شود.



شکل ۱۵-۴ تنوع عملیات تنش‌زدایی به روش التراسونیک با توجه به نیروی بارگذاری و شکل جوش[۱]

اجزاء مختلف این شکل مطابق زیر است:

a) در حالت بدون انجام عملیات تنش‌زدایی.

b) ایجاد یک شیار ۵-۳ میلیمتر در پای جوش توسط روش التراسونیک

c) ایجاد شعاع بزرگتر در پای جوش(۸-۵ میلیمتر) توسط روش ترکیبی (TIT و UIT).

d) جوش دادن یک خط جوش فرعی در کنار جوش اصلی برای بهتر شدن نحوه تغییر شکل و سپس انجام عملیات تنش زدایی التراسونیک در پای آن بین فلز پایه و خط جوش اضافه شده

e) جوش دادن خط جوش فرعی هم در محل گذار خط جوش اضافه و هم در محل گذار از خط جوش فرعی به فلز جوشی.

f) خط جوش فرعی بعد از اجرای جوش اصلی صورت گرفته است و تنش زدایی التراسونیک در هر دو طرف آن اجرا شده است.

در روش اجرای(b) تنها عملیات ساده تنش زدایی التراسونیک را در پای جوش انجام می‌دهیم این حالت هنگامی است که شرایط شکل جوش و بارگذاری آن چندان حاد نباشد.در روش(c)قبل از انجام عملیات تنش زدایی التراسونیک در پای جوش، عملیات پوشش دهی با جوش آرگون در این محل صورت گرفته است.

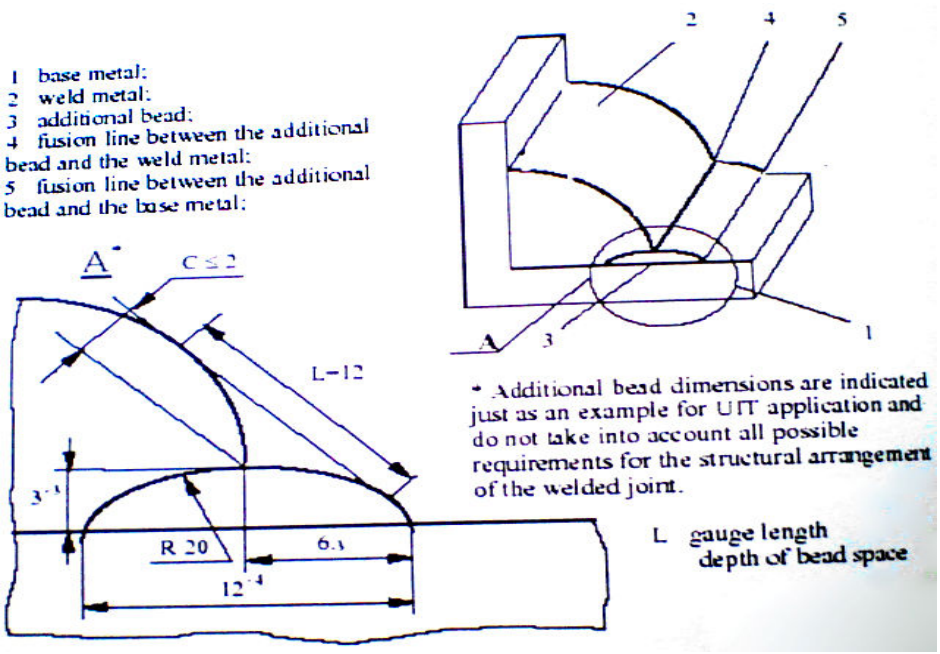
در روش اجرای(d) قبل از انجام جوش اصلی، ابتدا یک خط جوش فرعی(Additional bead) در کنار محل جوش اصلی صورت گرفته است و سپس جوش اصلی انجام شده است و بدین ترتیب شکل جوش در پای جوش از نظر زاویه آن مناسب‌تر شده است، سپس عملیات تنش زدایی التراسونیک بین خط جوش فرعی فلز پایه انجام شده است این حالت هنگامی که شرایط بارگذاری نامساعد است و یا اینکه شرایط هندسی جوش نامساعد است انجام می‌شود. روش اجرای(e) مشابه روش (d) می‌باشد و تنها تفاوت این است که بین خط جوش فرعی و جوش اصلی نیز باید عملیات تنش زدایی التراسونیک صورت گیرد.تفاوت روش اجرای(f) با روش اجرای(e) این است که در روش اجرای(f) ابتدا جوش اصلی صورت گرفته و سپس جوش فرعی انجام می‌شود. عملیات تنش زدایی آن مشابه حالت(e) بوده و در دو طرف جوش

فرعی انجام می‌شود. در جدول۳-۴ نحوه انتخاب هر کدام از این حالت ها با توجه به نحوه بارگذاری و شکل جوش نشان داده شده است.

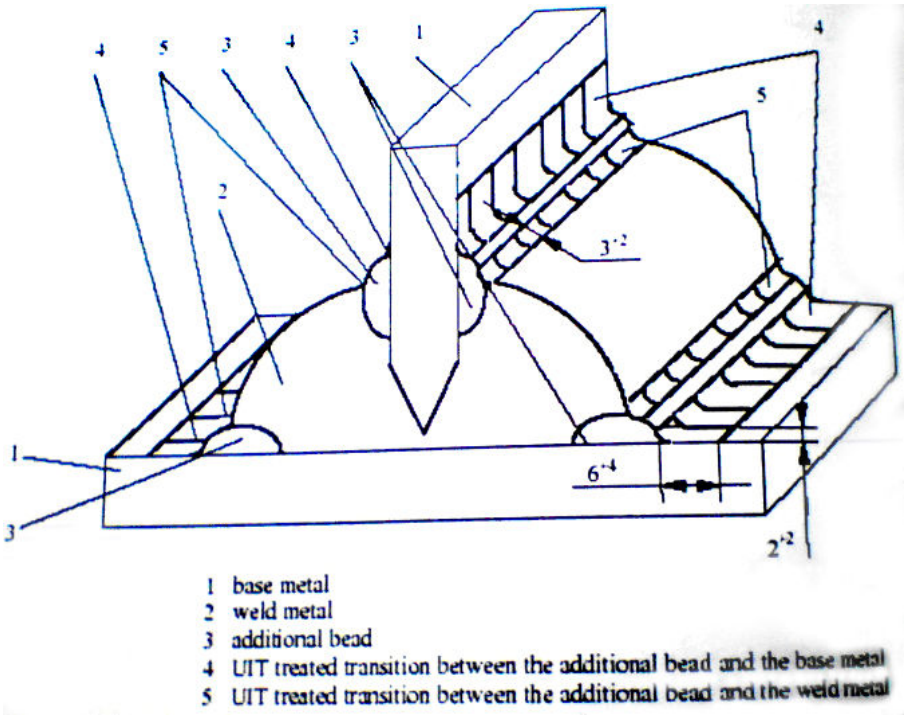
جدول۳-۴ نحوه انتخاب نوع عملیات تنش زدایی التراسونیک برای حالت های مختلف بارگذاری در اتصال T شکل[۱]

گروه جوش	نوع عملیات UIT (بر اساس شکل ۱۵-۴)	
	$a \subset bo$	$a \supset bo$
گروه اول	انواع d و f	انواع e و f
گروه دوم	انواعb	انواعe و f

در این جدول گروه جوش همان است که در ابتدای فصل توضیح داده شده و بر اساس نیروی وارده بر جوش تعیین می‌گردد. خط جوش فرعی باید با استفاده از پارامترهای جوشکاری و الکترود یکسان با آنچه که برای جوش استفاده می‌شود صورت می‌گیرد. نمونه‌ای از ابعاد آن در شکل ۱۶-۴ آمده است در حالتی که شرایط سازه جوشی و نیروهای وارده بر آن و شکل و هندسه آن بسیار بحرانی باشد عملیات تنش زدایی که برای جوش به منظور تنش‌زدایی و بهبود جوش توصیه می‌شود مطابق شکل ۱۷-۴ آمده است. در این حالت ابتدا خط جوش های اصلی برای اتصال دو قطعه انجام شده است و سپس جوش فرعی در دو طرف پای جوش اصلی صورت گرفته است و عملیات تنش زدایی التراسونیک در تمام محل های گذر از جوش اصلی به جوش فرعی و یا از فلز پایه به جوش فرعی صورت می‌گیرد.



شکل ۱۶-۴ اتصال جوشی با جوش فرعی قبل از عملیات جوش اصلی[۱]



شکل۱۷-۴ نحوهٔ انجام عملیات تنش زدایی التراسونیک در حادترین شرایط هندسی و بارگذاری جوش[۱]

۴-۳-۵- پارامترهای تنش زدایی التراسونیک برای فولاد:

پارامترهای بهینه تنش زدایی التراسونیک که برای جنس فولاد بدست آمده است به صورت زیر می‌باشد که در این شرایط بهترین شرایط تنش‌زدایی را با مصرف کمتر انرژی خواهیم داشت.

فرکانس نوسانی التراسونیک ۲۷کیلوهرتز

قطر سوزن ۵-۲ میلیمتر

سرعت انجام عملیات (سرعت حرکت ابزار) $\frac{m}{n}$ ۹۰-۱۸

البته این مقادیری که گفته شد دامنه کلی را نشان می‌دهد که در بعضی موارد مثل سرعت حرکت ابزار این دامنه بسیار وسیع است و باید با آزمایش های اضافی برای یک عملیات خاص این محدوده را کوچکتر کرده تا شرایط کاری بهینه بدست آید. در انجام فرآیند تنش زدایی التراسونیک ابزار التراسونیک عمود بر خط جدایش و قطعه‌کار قرار می‌گیرد و باید نیروی محور ۴۰-۲۰نیوتن(۴kg-۲) به سطح فشرده شود که این نیرو توسط وزن خود ابزار تأمین شود. تنش زدایی التراسونیک به صورت حرکت انتقالی و یا رفت و برگشتی در طول پاشنه جوش صورت می‌گیرد تا اینکه هندسه خواسته شده سطح فرآیند بدست آید. شکل ابزاری که برای سوزن استفاده می‌شود باید به گونه‌ای باشد که امکان دسترسی به پای جوش را فراهم سازد سوزن های با قطر ۲-۱ میلیمتر برای داشتن دسترسی به پاشنه جوش قابل استفاده هستند همچنین می‌توان از سوزنهای با قطر ۳ میلیمتر با تیزی مخروطی ۲-۱ میلیمتر نیز استفاده کرد.[۱]

۴-۳-۶- جمع‌بندی:

مطابق آنچه گفته شد برای ایجاد یک اتصال خوب با روش تنش زدایی التراسونیک، ابتدا باید پارامترهای جوشکاری اتصال مربوطه مشخص شده، ترتیب و مراحل جوشکاری و پاس های مختلف آن تعیین گردد، سپس بار وارده به اتصال و شکل و هندسه آن مشخص شود. و با توجه به آن کلاس کاری جوش و نحوه انجام عملیات تنش زدایی تعیین شده و در صورت نیاز به جوش فرعی (قبل و یا بعد از خط جوش اصلی) این جوش نیز می بایست با همان پارامترهای جوشکاری خط جوش اصلی انجام شود. در انتها عملیات تنش زدایی التراسونیک مطابق آنچه که تعیین شده است در محل های مربوط صورت می‌گیرد.

در صورتی که از جوش چند پاسه استفاده می‌شود، تنش زدایی باید بعد از هر پاس جوش انجام شود. در بین این پاس های جوش دیگر نیازی به برداشتن سرباره نمی‌باشد، چرا که عملیات تنش زدایی التراسونیک خود باعث حذف سرباره و .... می‌گردد. در حین انجام عملیات تنش زدایی التراسونیک شیاری در پاشنه جوش ایجاد می‌گردد که کنترل کیفیت این شیار و پروفیل شیار با توجه به استانداردهای کیفیتی صورت می‌گیرد. آزمایش های خواص مکانیکی نیز قبل از جوشکاری و عملیات تنش زدایی و همچنین بعد از جوشکاری و عملیات تنش زدایی انجام می‌شود تا خواص مکانیکی اتصال جوشی را تعیین کرده و تأثیر و بازدهی فرآیند تنش زدایی التراسونیک در افزایش و بهبود خواص مکانیکی بررسی شود.

فصل پنجم:

کاربرد فرآیند ضربات التراسونیکی

در بخش اول از این فصل با آزمایش نمونه‌های استاندارد، بهبود استحکام خستگی اتصالات جوشی در اثر اعمال ضربات التراسونیک بررسی شده و با روش های دیگر مقایسه می‌گردد. در بخش دوم نیز کاربردهایی از تنش زدایی التراسونیک بیان شده و آزمایش هایی برای تعیین میزان بهبود اتصال جوشی در اثر اعمال ضربات التراسونیک در این کاربردها بیان شده است.

۵-۱- تست خستگی اتصالات جوشی فولاد و آلومینیوم بهبود یافته با فرآیند التراسونیک

۵-۱-۱- مقدمه:

بعد از آشنایی با یک دستگاه التراسونیک و نحوه کارکرد این دستگاه، لازم است که با انجام یک سری آزمایش هایی بر روی اتصالات جوشی تأثیر عملیات ضربات التراسونیک، در افزایش استحکام جوش بررسی گردد و مقایسه‌ای بین این روش و روش های دیگر. بهبود استحکام جوش انجام شود.

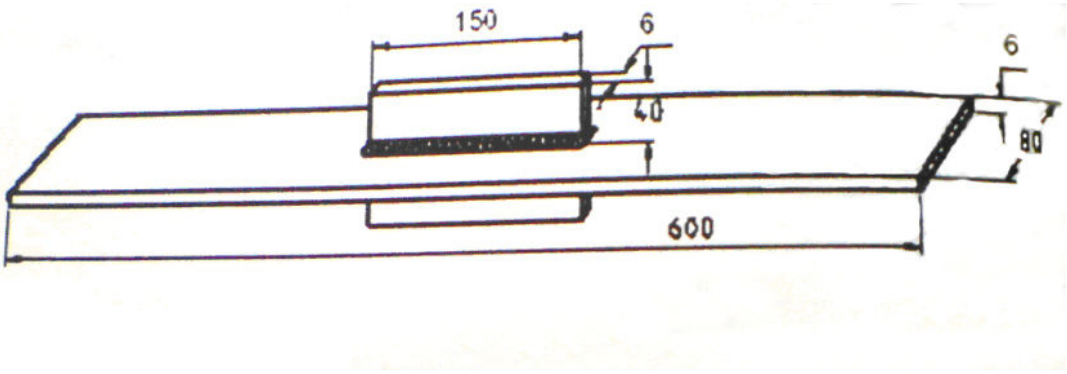
در آزمایش اول تأثیر ضربات التراسونیک بر روی نمونه‌های فولادی استحکام بالا بررسی می‌شود. و افزایش استحکام نمونه‌ها در سه حالت اعمال ضربات التراسونیک، استفاده از روش پوشش دهی با جوش آرگون و ترکیب این دو روش با هم مقایسه می‌شود. در آزمایش دوم نتایج اعمال ضربات التراسونیک بر اتصال Tشکل ورق های آلومینیومی بیان شده و در آزمایش های سوم و چهارم یک اتصال لب بر لب (Lap joint) ورق آلومینیومی با ضخامت های ۶ و ۸ میلیمتر در حالت های تنش‌زدایی شده با چکش کاری (Hammer peening)، ضربات سوزنی(Needle peening) ، سنگ‌زنی و روش ضربات التراسونیک با یکدیگر مقایسه می‌شود.[۲]

۵-۱-۲- نمونه‌های آزمایشات:

نمونه‌های فولادی مورد استفاده در این آزمایش از فولاد با استحکام بالا، است که حداقل تنش تسلیم این جنس ۷۰۰ مگاپاسکال می‌باشد. استحکام تسلیم،متوسط آن به طور تقریبی ۷۸۰ مگاپاسکال بوده و استحکام کششی نهایی آن تقریباً ۸۰۰ مگاپاسکال می‌باشد.

نمونه‌های آلومینیومی که در این آزمایش ها به کار رفته است از ورق هایی است که عموماً در ساخت کششی استفاده می‌شوند.(از جنس AA5083یا Almg 4.5 mn). حداقل حد تسلیم این جنس ۲۵۰ مگاپاسکال و استحکام کششی نهایی آن ۳۵۵ مگاپاسکال می‌باشد (Ductility آن برابر با ٪۱۰=as) ورق های آلومینیومی در ضخامتهای ۶ و ۸ میلیمترانتخاب شده‌اند.

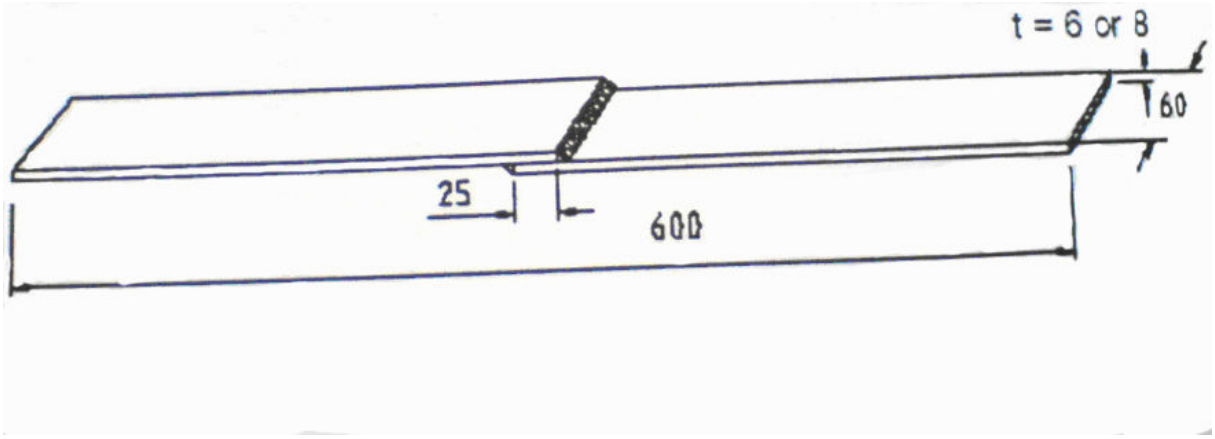
شکل نمونه فولادی در شکل۱-۵ نشان داده شده است. این نمونه در تحقیقات بسیاری مورد استفاده قرار گرفته است، لذا اطلاعات بسیاری برای مقایسه وجود دارد.



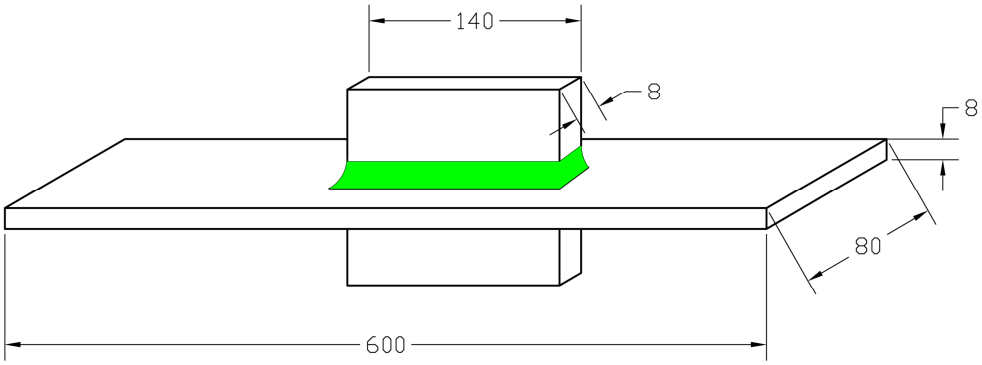
شکل ۱-۵ نمونه فولادی تست خستگی[۲]

در نمونه‌های آلومینیومی ۲گروه شکل از آنها مورد آزمایش قرار گرفته‌اند. یک گروه نمونه‌های اتصال لب بر لب مطابق شکل ۲-۵ است که از ورق های با ضخامت ۶ و ۸ میلیمترساخته شده‌اند گروه دیگر نمونه

آلومینیومی مشابه نمونه فولادی است که از ورقهای ۸ میلیمترآلومینیوم ساخته شـده اسـت و در شـکل ۳-۵ نشان داده شده است.



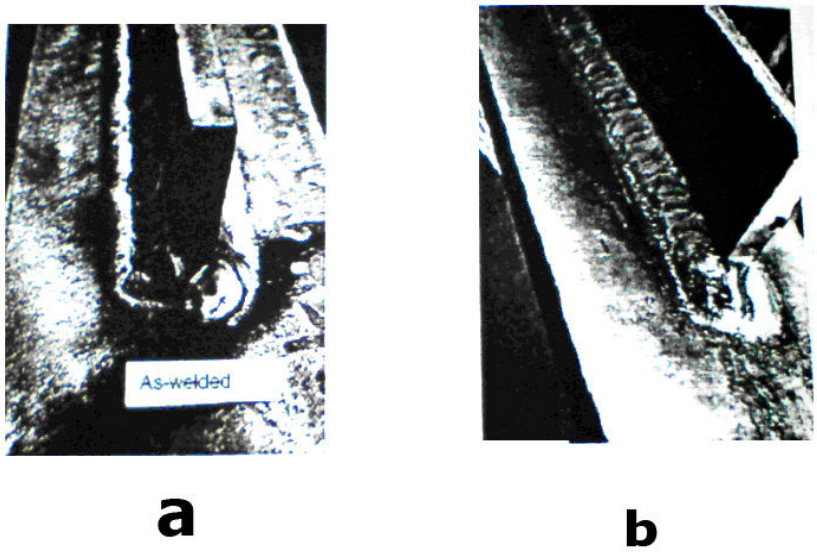
شکل ۲-۵ نمونه آلومینیومی با اتصال لب به لب[۲]



شکل۳-۵ نمونه آلومینیومی با ورق های تقویت شده[۲]

نمونه‌های جوش داده شده دارای سطح جوش قوس‌دار می‌باشند. جوش های نمونه‌های فـولادی از کیفیـت مطلوب برای این نوع از جوش برخوردار بوده و با یک تغییر آرام بین جوش و ورق همراه است. اتـصالات جوشی لب بر لب در ورق های آلومینیومی نیز از کیفیت جـوش مناسـب برخـوردار بودنـد. در نمونـه‌هـای

زیادی برای رسیدن به شکل مناسب، جوش داده شده است ولی با ایـن وجـود بـاز هـم در محـل انتهـایی، جوش شکل مناسبی ندارد که نمونه‌ای از آن (شکل ۴a–۵) بهبود می‌یابد.



شکل۴–۵ شکل جوش در نمونه های آلومینیومیa)درحالت جوش تنها بدون هیچ نوع عملیات اضافیb)درحالتی که جوش توسط عملیات UIT بهبود یافته است[۲]

۵–۱–۳– شرایط آزمایش:

تمام آزمایش‌ها در شرایط آزمایشگاهی و در هوا صورت گرفته است. همه نمونه‌ها تحت بارگـذاری متغییـر محوری تست شده‌اند و تحت بارگذاری با دامنه ثابت بوده‌اند و فرکانس آزمایش ها در دامنـه ۳ و ۱۰ هرتـز بوده است. شکست قطعات به صورت وقوع جدایش کامل در قطعات تعریف می‌شود.

۵–۱–۴– آزمایش اول: بررسی بهبود استحکام نمونه‌های فولادی در اثر اعمال ضربات التراسونیک

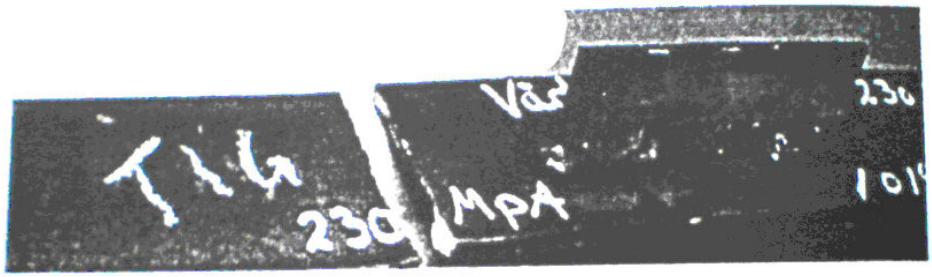
روش آزمایش:

نحوه انجام آزمایش به این صورت است که ابتدا نمونه‌های فولادی را به چهار دسته تقسیم می‌کنیم. دسته‌ای از نمونه‌های فولادی ایجاد شده را تحت عملیات تنش زدایی التراسونیک قرار می‌دهیم و دسته دیگر را

تحت عملیات بهبود کیفیت با پوشش جوش آرگون و سری سوم را نیز تحت عملیات ترکیبی ضربات التراسونیک و سپس عملیات پوشش دهی با جوش آرگون قرار می‌دهیم. یعنی در این نمونه‌ها ابتدا عملیات ضربات التراسونیک را در پای جوش اجرا کرده و سپس عملیات پوشش دهی با جوش آرگون را بر روی آنها اجرا می‌کنیم. تعدادی از نمونه‌ها هم بدون انجام هیچ نوع عملیات اضافی در حالت اولیه باقی می‌مانند. بعد از ایجاد نمونه‌ها آزمایش تست خستگی را بر روی هر سری از نمونه‌ها انجام می‌دهیم. نحوه انجام آزمایش به این صورت است که نمونه‌ها را تحت نیروهای بارگذاری هارمونیک مختلف قرار داده و بارگذاری را تا شکست کامل قطعه انجام می‌دهیم و تعداد کل سیکل‌ها تا شکست را شمارش می‌کنیم. از اطلاعات بدست آمده نمودار S.N را رسم می‌کنیم که در این نمودار محور عمودی تنش اعمالی به نمونه را نشان می‌دهد و محور افقی تعداد سیکل کاری در مقیاس لگاریتمی را نشان می‌دهد. این آزمایش را برای هر چهار دسته از نمونه‌ها انجام می‌دهیم و نمودار S.N را برای هر دسته رسم می‌کنیم.

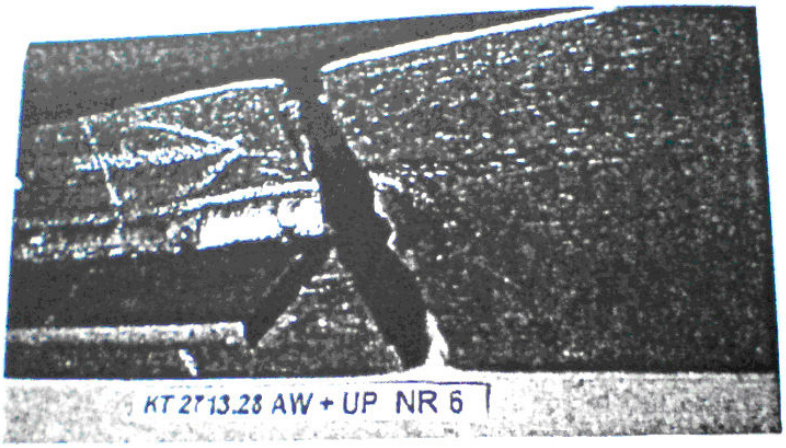
نتایج آزمایش:

در تست خستگی نمونه‌هایی که تحت عملیات بهبود کیفیت با ضربات التراسونیک، یا ترکیب عملیات التراسونیک و جوش آرگون قرار گرفته‌اند سه نوع شکست مشاهده می‌شود. در اکثریت تست ها شکست با ترک هایی که در پای جوش ایجاد شده بود آغاز می‌شود ولی بعضی از شکست ها در ورق و در جایی دور از جوش اتفاق افتاده است که نمونه‌ای از آن در شکل ۵-۵ نشان داده شده است. این نمونه تحت فرآیند ترکیبی التراسونیک و جوش آرگون قرار داشته است.



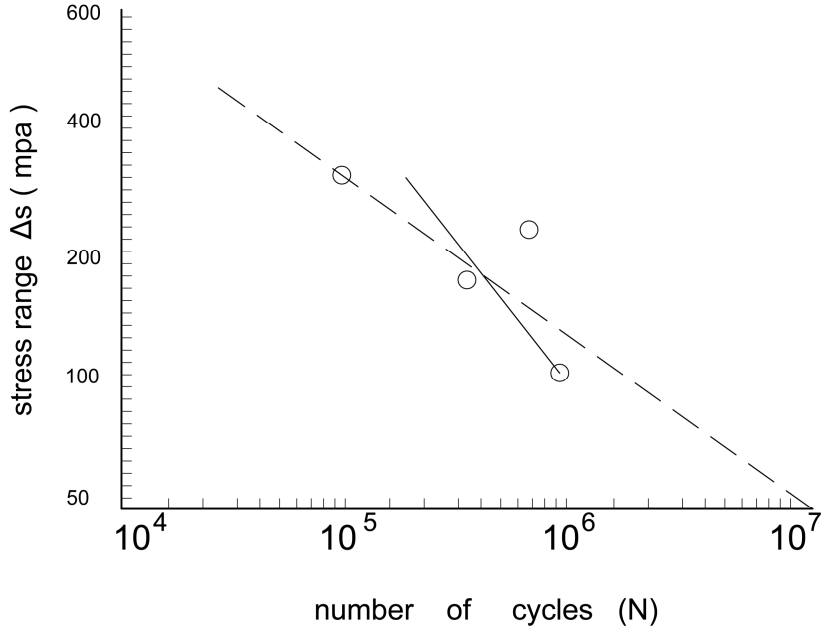
شکل۵-۵ نمونه ای از شکست نمونه در ورق و در محلی دور از جوش[۲]

در نوع دیگر شکست، ترک در ریشه جوش و در انتهای ورق تقویتی مطابق شکل ۶-۵ شروع شده است.



شکل ٦- ٥ نمونه ای از شکست در ریشه جوش[۲]

در شکل ۷-۵ نمودار S-N برای حالت نمونه‌های جوشی بدون عملیات بهبود کیفیت در کنار نمودار مرجع برای فولاد با استحکام تسلیم ۳۵۰ مگاپاسکال که از مراجع معتبر بدست آمده است رسم شده است تا مقایسه‌ای بین نتایج تست‌های قبلی با نتایج این آزمایش صورت گیرد مشاهده می‌شود که با تنها چهار نمونه‌ای که در این آزمایش تست شده است انطباق بین دو سری از اطلاعات خوب است.

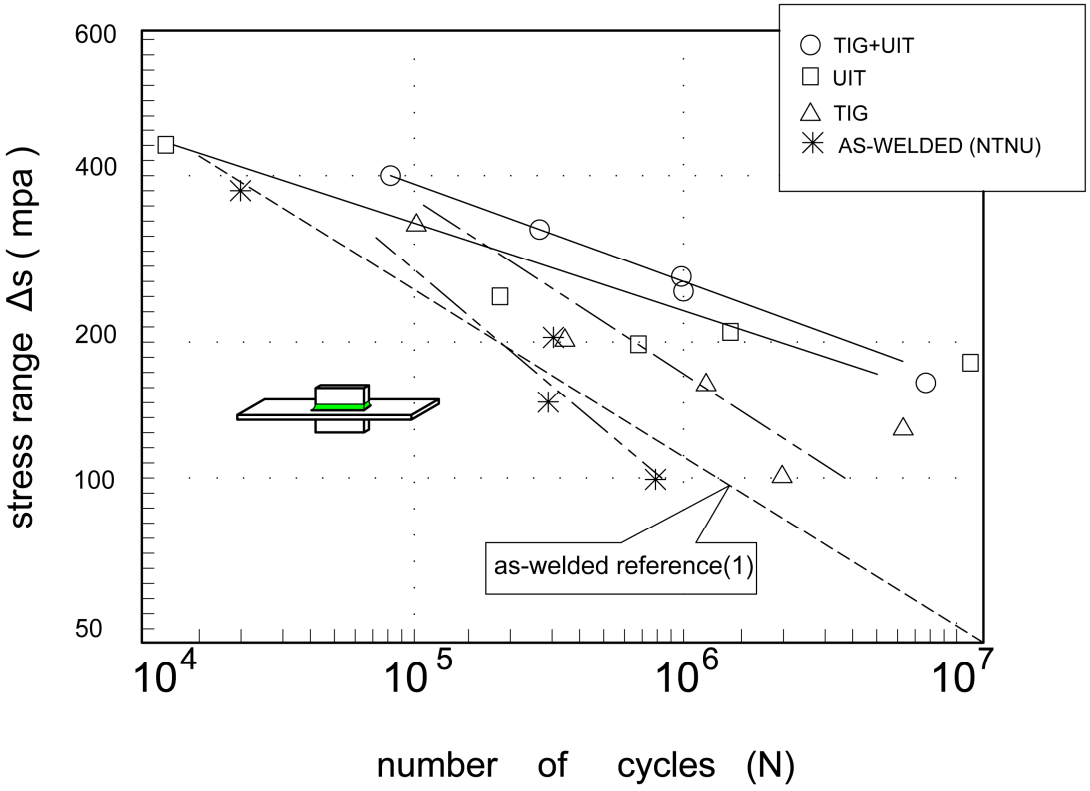


شکل ۷–۵ مقایسه بین نمونه های جوشی این آزمایش با نمودار S-N استاندارد[۲]

در شکل ۸–۵ نمودار S-N برای چهار دسته نمونه مورد آزمایش در کنار نمودار مرجع برای نمونه‌های جوشی بدون عملیات اضافی که از مراجع معتبر بدست آمده است نشان داده شده است. نتایج آنالیز رگرسیون خطی در جدول ۱–۵ بدست آمده است.

جدول ۱–۵ نتایج آنالیز رگرسیون خطی بامدل ns=c [۲]

Sn curve	Slope m	Intercept c	Standard Deviation s	Stress range (mpa) at N=2mill cycles	Improvement At N=2mill cycles (percent)
Aw (for t =6mm.from ref.1)	3.02	1.39×10^{12}	-	86	-
Ultrasonic impact treatment (uit)	6.54	1.66×10^{12}	0.452	100	121
Tig dressing	3.05	5.93×10^{12}	0.397	132	53
Tig +uit	5.14	1.45×10^{18}	0.133	202	135



شکل ۸-۵ نتایج آزمایش خستگی فولاد های با استحکام بالا در حالت بهبود یافته و بهبود نیافته در کنار نمودار مرجع[۲]

نتیجه‌گیری:

آزمایشات نشان می‌دهد که اعمال عملیات ضربات التراسونیک نسبت به عملیات پوشش دهی با جوش آرگون تأثیر بیشتری در بهبود استحکام خستگی دارد و اگر افزایش استحکام خستگی این دو را در تعداد سیکل کاری ۲ میلیون سیکل مقایسه کنیم. می‌بینیم که استحکام خستگی نمونه‌هایی که تحت روش تنش زدایی با ضربات التراسونیک قرار گرفته‌اند تقریباً ۱/۵ برابر استحکام خستگی نمونه‌هایی است که تحت پوشش دهی با جوش آرگون بهبود یافته‌اند.[۲]

نتایج آزمایشات نشان می‌دهد که اعمال ترکیب عملیات تنش زدایی التراسونیک و پوشش دهی با جوش آرگون نسبت به اعمال ضربات التراسونیک به تنهایی بهبود بیشتری در عمر خستگی جوش ایجاد می‌کند. ولی این مسئله در عمرهای کم بیشتر نمود پیدا می‌کند و در عمرهای بالاتر اختلاف این دو حالت به قدری کم است که از نظر آماری اختلاف معناداری نیست و می‌توان ادعا کرد که تأثیری که این دو حالت در بهبود استحکام خستگی در سیکل‌های کاری بالا دارند یکسان است.

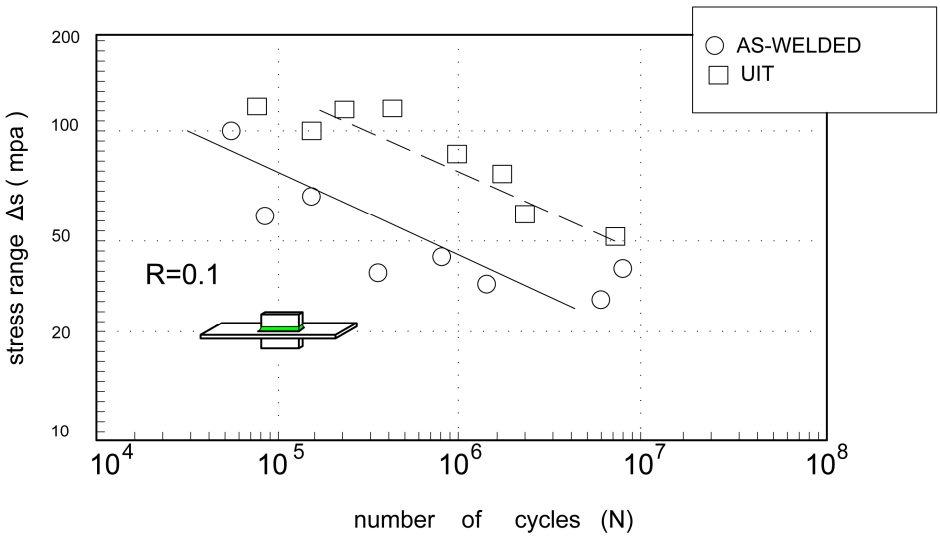
۵-۱-۵- آزمایش دوم: بررسی بهبود استحکام نمونه‌های آلومینیومی با اتصال T شکل در اثر اعمال ضربات التراسونیک

در این آزمایش تأثیر اعمال ضربات التراسونیک بر روی نمونه آلومینیومی مشابه نمونه‌های فولادی بررسی می‌گردد و با نمونه‌های آلومینیومی بهبود نیافته مقایسه می‌گردد. نمودار S-N نیز برای این نمونه‌ها بدست آمده است.

در شکل ۹-۵ نمودار S-N نمونه آلومینیومی در دو حالت «بهبود نیافته» و «بهبود یافته با ضربات التراسونیک» نشان داده شده است. جوش هایی که تحت فرآیند تنش زدایی التراسونیک قرار نگرفته‌اند در انتهای جوش‌دارای وضعیت(Additional) نامناسبی بوده‌اند. ولی اعمال ضربات التراسونیک به این نمونه‌ها باعث بهبود شکل جوش در انتهای آن می‌گردد. لذا نمودار S-N برای جوش های« بهبود یافته با ضربات الترلسونیک) کاملاً بالاتر از نمودار S-N نمونه‌های بهبودنیافته است. در دو نمونه از هشت آزمایش انجام شده شکست در خارج از جوش اتفاق افتاده است که این مسأله نشان دهنده این است که بهبود کاملی در کیفیت جوش وجود داشته است و جوش تا حد استحکام خستگی فلز بدون جوش بهبود یافته است. اگر در عمر ۲ میلیون سیکل استحکام خستگی نمونه‌های «بهبود نیافته» و «بهبود یافته با التراسونیک) مقایسه شود افزایش ۹۰٪ در بهبود استحکام خستگی مشاهده می‌گردد.(جدول۱-۵)

جدول ۱-۵ نتایج آنالیز رگرسیون خطی برای نمونه آلومینیومی در حالت «بهبود نیافته» و «بهبود یافته با UIT »[۲]

Sn curve	Slope m	Intercept c	Standard Deviation s	Stress range (mpa) at N=2mill cycles	Improvement At N=2mill cycles (percent)
As- weld	4.48	1.59×10^{13}	0.387	35	-
Ultrasonic impact treatment (uit)	4.48	3.26×10^{14}	0.345	68	94

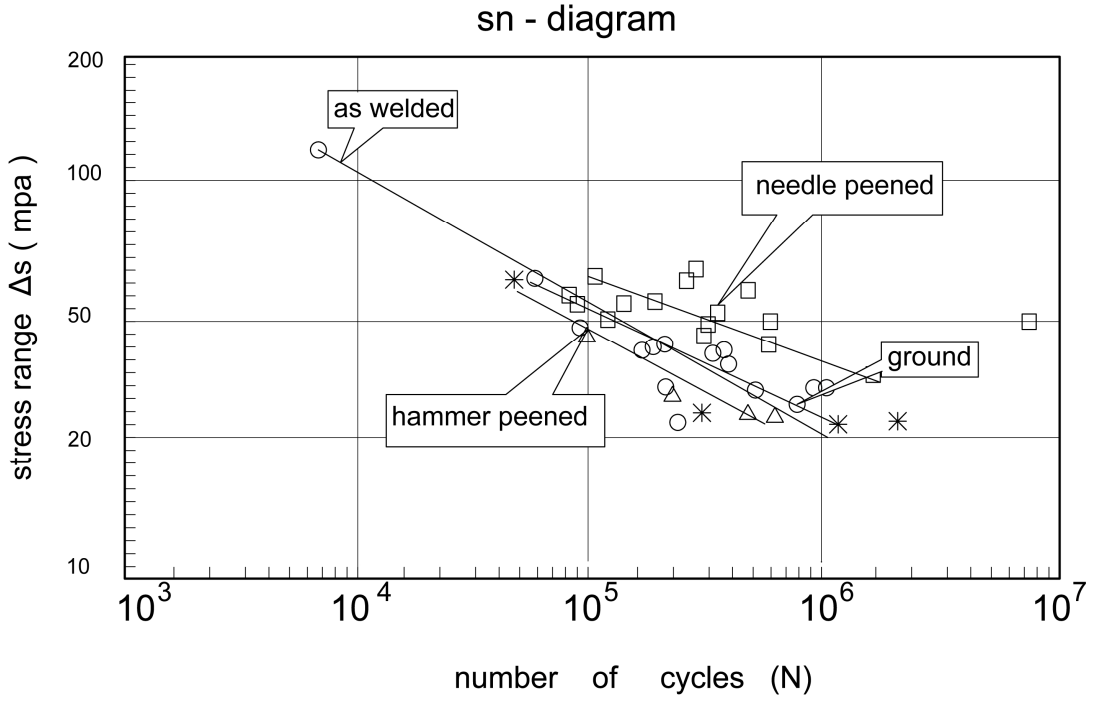


شکل ۹- ۵ نمودارS-N برای نمونه آلومینیومی در حالت«بهبود نیافته»و «بهبود یافته باUIT»[۲]

۵-۱-۶- آزمایش۳: بررسی نمونه آلومینیومی اتصال لب بر لب (Lap joint) ورق ۶ میلیمتر

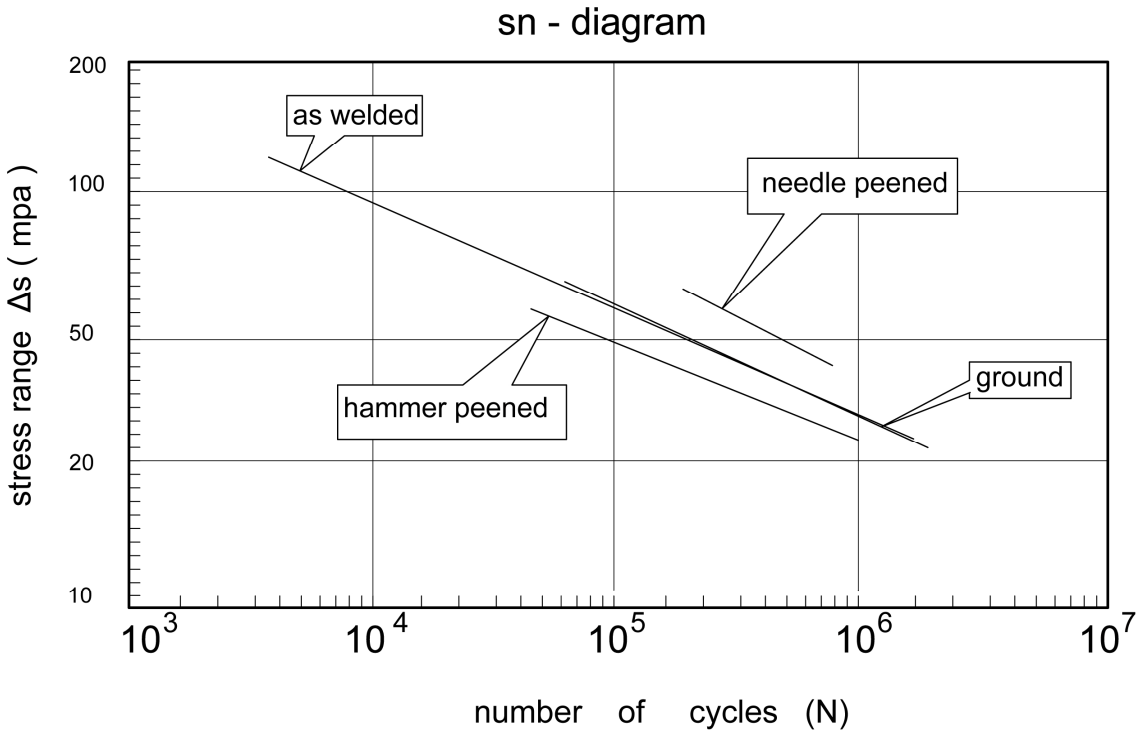
در این آزمایش تأثیر عملیات تنش زدایی التراسونیک در بهبود استحکام خستگی نمونه آلومینیومی با اتصال لب بر لب بررسی شده است و همچنین با روش های دیگر بهبود استحکام خستگی مقایسه شده است. ضخامت ورق آلومینیومی مورد استفاده ۶ میلیمتر بوده است. و استحکام خستگی و نمودار S-N برای این نمونه‌ها در حالت های بدون عملیات بهبوددهنده و همچنین حالت های بهبود کیفیت جوش با عملیات

مختلف چکش زنی (Hammer peening) وضربات سوزنی(Needle peening) و سنگ‌زنی بدست آمده است. نتایج آزمایشات و نمودار S-N آنها برای فرآیندهای مختلف چکش زنی (Hammer peening) وضربات سوزنی(needle peening) و سنگ‌زنی در شکل ۱۰-۵ آمده است.



شکل ۱۰-۵ نتایج تست ورق ۶ میلیمتر آلومینیومی با اتصال لب بر لب تحت فرآیند های مختلف بهبود جوش[۲]

از آنجائیکه نتایج شکل ۱۰-۵ به دامنه نسبتاً باریکی از عمر خستگی تعلق دارد. (عموم آزمایشات در دامنه تعداد سیکل کاری صد هزار و یک میلیون سیکل می‌باشند.) شیب منحنی‌های S-N تا حدودی غیرواقعی هستند و قابل اطمینان نیستند لذا اطلاعات با شیب اجباری۴ (m=۴) برای تمام منحنی‌ها آنالیز می‌شوند. در شکل ۱۱-۵ این منحنی‌ها با شیب اجباری۴ (m=۴)رسم شده است.



شکل۱۱-۵ نتایج بهبود استحکام خستگی نمونه های آلومینیومی با روش های مختلف، شیب نمودار ها به m=۴ فیکس شده است[۲]

نتیجه‌گیری:

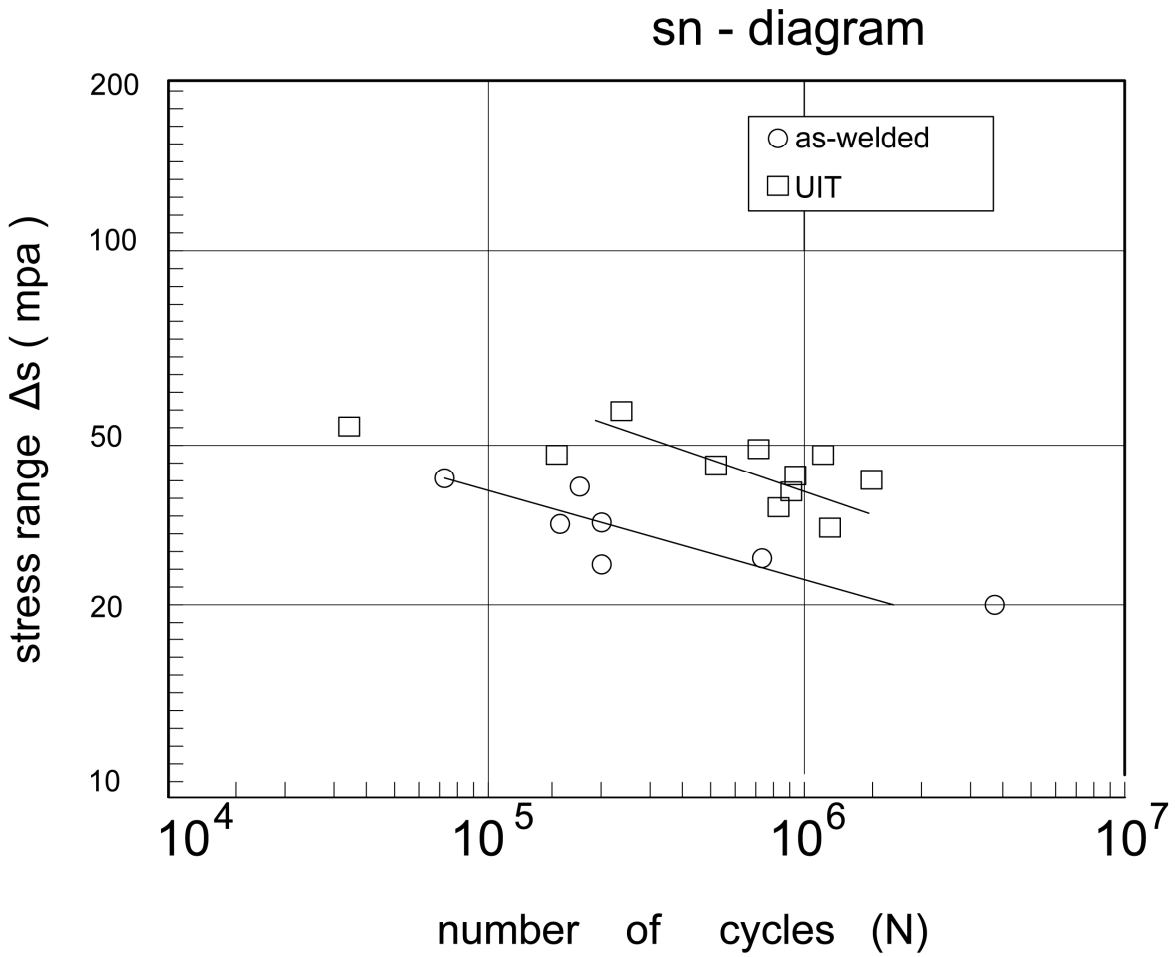
در جدول ۳-۵ نتایج آنالیز آماری و رگرسیون خطی این اطلاعات در دو حالت با شیب واقعی اطلاعات و شیب اجباری m=۴ آمده است. اطلاعات این جدول اینگونه نشان می‌دهد که ضربات سوزنی (Needle peeninig) باعث بهبود ۷۰٪ در استحکام خستگی این نوع اتصال آلومینیومی می‌گردد، سنگ‌زنی این اتصال آلومینیومی تأثیری در افزایش استحکام خستگی آن ندارد و تأثیرچکش زنی (Hammer peening) در افزایش استحکام خستگی این اتصال آلومینیومی معکوس بوده است و باعث کاهش استحکام خستگی این اتصال می‌گردد.[۲]

جدول ۳-۵ جزئیات آنالیز رگرسیون خطی نمونه های آلومینیومی با مدل $NS^m = C$ [۲]

Sn-curve	Slope m	Intercept c ($\times 10^{10}$)	Standard deviation s	Stress range at $N=2\times10^6$ (mpa)	Strength improvement (percent)at $N=2\times10^6$ (mpa)
As-welded.6mm	3.40	6.91×10^{10}	0.203	21.7	-
Needle-peened	5.90	359000	0.444	37.0	70.5
Hammer peened	3.86	2.77×10^{11}	0.149	21.5	-1.0
ground	4.32	2.09×10^{12}	0.169	24.8	14.3
As-welded.6mm fixed slope	4.0	6.48×10^{11}	0.217	23.9	-
Hammer peened fixed slope	4.0	1.90×10^{12}	0.441	31.2	30.5
Needle-peened fixed slope	4.0	4.62×10^{11}	0.141	21.9	-8.3
Ground fixed slope	4.0	6.77×10^{11}	0.163	24.1	1
As-welded.6mm two points left out	4.04	7.79×10^{11}	0.138	24.3	-

۵-۱-۷- آزمایش ۴. بررسی بهبود استحکام نمونه‌های اتصال آلومینیومی با اتصال لب بر لب بـا ورق ۸ میلیمتردر اثر اعمال ضربات التراسونیک .

در آزمایش دیگری اتصال لب بر لب آلومینیومی با ضخامت ورق ۸ میلیمترتحت تست خستگی قرار گرفتـه است و نتایج آن برای حالت جوش بهبودنیافته و بهبود یافته با عملیات تـنش زدایـی التراسـونیک در شـکل ۵-۱۲ آمده است و نتایج رگرسیون خطی مربوط به این نمودارها نیز در جدول ۴-۵ آمده است.

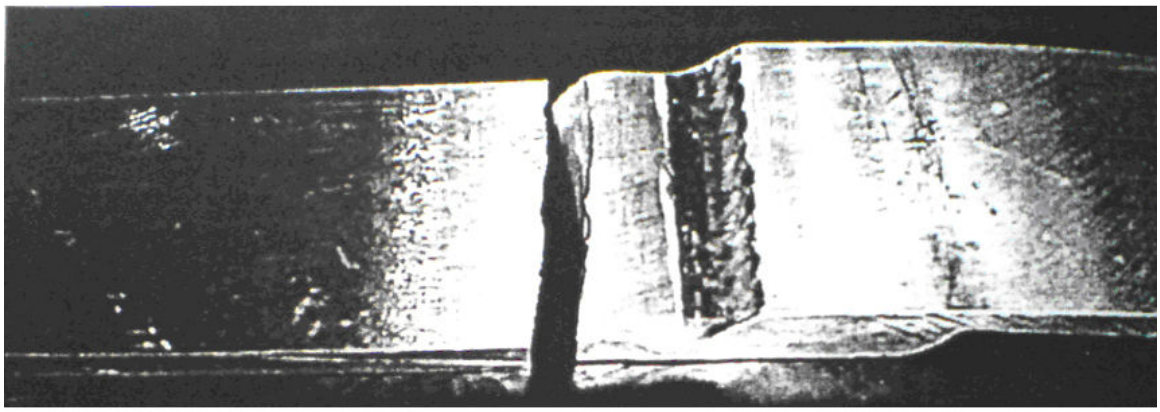


شکل۱۲-۵ نمودارS-N برای اتصال لب بر لب آلومینیومی در حالت بهبود نیافته و «بهبود یافته باUIT »[۲]

جدول۴-۵ جزئیات آنالیز رگرسیون خطی نمونه های آلومینیومی با مدل $NS^m = C$ [۲]

Sn-curve	Slope m	Intercept c ($\times 10^{10}$)	Standard deviation s	Stress range at $N=2\times10^6$ (mpa)	Strength improvement (percent)
AW	4.81	3.43×10^{12}	0.253	19.8	-
UIT	5.40	4.37×10^{14}	0.360	35.1	77

از جدول ۴-۵ بدست می‌آید که درصد بهبود استحکام خستگی توسط فرآیند ضربات التراسونیک در این نوع اتصال برابر با ۷۷٪ می‌باشد که در مقایسه با میزان بهبودی اتصال نسبت به اتصال فولادی که با ورق تقویت شده بودند درصد بهبود استحکام خستگی کمتر بوده است. دلیل این امر شاید این باشد که نمودار S-N در حالت بهبود یافته در این نوع از اتصال کاملاً بالا است و بهبود بیشتر در استحکام خستگی ممکن نیست. این فرض با این حقیقت که تعدادی از شکست‌ها در این آزمایش در خود ورق اتفاق افتاده اثبات می‌گردد. یکی از این شکست ها به عنوان مثال در شکل ۱۳-۵ نشان داده شده است.



شکل ۱۳-۵ نمونه ای از شکست در داخل ورق برای اتصال «بهبود یافته با UIT»[۲]

لذا مشاهده می‌گردد که استحکام خستگی این اتصال تا حد استحکام خستگی آلومینیوم افزایش پیدا کرده است و در نتیجه شکست در خود ورق اتفاق افتاده است.

۵-۱-۸-نتیجه‌گیری:

از آزمایشات انجام شده با توجه به محدویت آزمایشات نتایج زیر حاصل می‌گردد.

۱)فرآیند تنش زدایی التراسونیک باعث افزایش قابل ملاحظه‌ای در استحکام خستگی اتصالات برای نمونه‌های فولادی پراستحکام و هم برای ورق های آلومینیومی AA5083 می شود.

۲)بهبود استحکام خستگی در عمرهای بالا (حدود ۲ میلیون سیکل) با ضربات التراسونیک از ۱۲۰٪ برای فولادهای پراستحکام با نمونه مشابه شکل ۱-۵ و تا ۸۰٪ بر اتصال لب به لب ورق های ۸ میلیمتر آلومینیوم و نمونه‌های آلومینیومی مشابه شکل ۳-۵ متغیر است، این تغییرات به جنس و شکل اتصال بستگی دارد.

۳) در بهبود استحکام خستگی اتصال لب بر لب ورق آلومینیوم ۶ میلیمتر سنگ زنی پای جوش بهبود قابل توجهی در استحکام خستگی ندارد. در حالی که ضربات سوزنی (Needle peening) استحکام خستگی را تا ۷۰٪ افزایش می‌دهد وچکش کاری (Hammer peening) نیز استحکام خستگی را تا ۸۰٪ کاهش می‌دهد. کاربرد ضربات التراسونیک استحکام خستگی این اتصال را ۷۷٪ افزایش علت این که استحکام خستگی مانند اتصال فولادی افزایش پیدا نمی‌کند این است که با همین درصد افزایش، استحکام خستگی آن به استحکام خستگی ورق آلومینیومی بسیار نزدیک می‌شود و جایی برای افزایش ندارد.

۴)بیشترین افزایش در استحکام خستگی نمونه‌های فولادی در ۲ میلیون سیکل با ترکیب فرآیندهای ضرباتت التراسونیک و پوشش جوش آرگون بدست می‌آید که ۱۳۵٪ افزایش در استحکام خستگی را موجب می‌گردد.[۲]

۵-۲- کاربرد فرآیند ضربات التراسونیک در تولید و تعمیر اتصالات جوشی

۵-۲-۱- مقدمه

اولین نتیجه تحقیق در مورد اثر التراسونیک در خواص نرمی (Ductility) و استحکام آلیاژ فولادی در دهه ۵۰ و ۶۰ قرن بیستم انتشار یافت و تأثیر التراسونیک در خواص مکانیکی آنها مشخص گردید. در همین زمان تلاش های اولیه برای جلوگیری از شکست اتصالات جوشی در اثر تغییر شکل آنها توسط فرآیند التراسونیک انجام شد تا به این روش استحکام خستگی جوش ها را افزایش دهند. در ادامه تحقیقات از این فرآیند در ساخت ماشین های صنعتی ایجاد تنش های پسماند فشاری در قطعات ماشین ها استفاده شد. اما تلاش ها به منظور کاربرد التراسونیک در جوش در آن زمان موفقیت‌آمیز نبود.

مشکل اصلی طراحی یک ابزار کاربردی صلب برای هدایت موج و همچنین تغییر شکل پای جوش در قطعه‌کار بود. (سوزن یا همان Indenter) تا زمان حل این مشکل امکان تغییر شکل های مؤثر بر روی سطح جوش های ناهموار محدود شد. بعلاوه شرایط منبع قدرت لازم برای این تجهیزات و باردهی کم و وزن زیاد آن موجب شکست در توسعه این فرآیند برای استفاده در جوش شد.

در دهه ۷۰ هنگامی که بر روی مسأله آزادسازی تنش‌های پسماند و افزایش استحکام شکست در محیط خورنده اتصالات جوشی کار می‌شد. با بهینه کردن قدرت و کاراکترهای اندازه و وزن تجهیزات التراسونیک و همچنین توسعه طرح ارتباط مؤثرتر بین عضو تغییر شکل دهنده قطعه‌کار (Indenter) و هدایتگر موج به تدریج کاربرد ضربات التراسونیک افزایش یافت تا اینکه امروزه از این فرآیند برای کنترل جلوگیری از شکست ، افزایش استحکام خستگی در محیط خورنده و مقاومت شکست سرد استفاده می‌شود. در این بخش اطلاعاتی در مورد کاربرد التراسونیک برای کنترل تنش های کششی جوش ها و همچنین افزایش

استحکام خستگی در محیط خوررنده و افزایش مقاومت شکست سرد آنها ارائه می‌گردد و آزمایش هایی که برای بررسی میزان کارایی تنش زدایی التراسونیک در این کاربردها انجام شده است بیان می‌شود. اکثر مطالب این فصل از مراجع ۱ و ۲ بوده و سعی شده است که مطالب بدون هیچ دخل و تصرفی بیان شود. نتایجی نیز که از این آزمایش ها گرفته شده است صرفاً نتایجی است که در این مقالات آمده است و صحت و سقم آنها در این فصل بررسی نمی‌گردد.

۵-۲-۲- روش های مختلف برای رسیدن به کیفیت مورد نظر اتصالات جوشی

تجربیاتی که در زمینه تولید و استفاده از سازه‌های جوشی وجود داشته است نشان داده است که موارد زیر در تعیین کیفیت اتصالات جوشی تأثیر دارد:

- قابلیت تحمل بار به عنوان معیار اصلی
- استحکام شکست یا حد خستگی اتصالات جوشی
- پایداری اندازه و مقدار تنش های پسماند جوشی و تغییر فرم اتصالاتی
- خوردگی و مقاومت خستگی در اثر نیروهای مختلف
- مقاومت در مقابل شکست سرد

مطالعاتی که در پنج سال گذشته صورت گرفته است نشان داده است که عملیات بعد از جوشکاری در تولید اجزا و سازه‌های جوشکاری با کیفیت بالا از نظر رسیدن به خواص اشاره شده نقش مهمی دارند. برای رسیدن به کیفیت مورد نظر جوش از فرآیندهای مختلفی استفاده می‌شود. از این فرآیندها می‌توان فرآیندهای حرارتی بعد از جوش (که برای کاهش تنش ها و کرنش‌ها پسماند استفاده می‌شود و مهمترین آنها آنیل کردن است)، فرآیندهای مکانیکی جوش ها و اجزای سازه، پاس های جوشکاری اضافی یا جوشکاری مجدد، پاس های جوش لبه‌ها برای تشکیل پخ و کاهش تمرکز تنش ها و ایجاد تنش های فشاری مناسب

در لایه‌های سطحی از طریق تغییر فرم پلاستیک در سطح توسط فرآیندهایی مثل چکش کاری وضربات سوزنی را نام برد.

روش تنش زدایی التراسونیک که در این مبحث بررسی می‌شود مزایای روش های بالا را ترکیب کرده و اکثر مزایایی را که روش های بالا دارند را شامل می‌شود. این روش باعث آزادسازی تنش های پسماند و کاهش تمرکز تنش در سازه‌های جوشکاری شده و با ایجاد کرنش پلاستیک، تنش فشاری در سطح ایجاد می‌کند. در اثر اجرای فرآیند ضربات التراسونیک بر سطح جوش لایه‌های مختلفی در محل ضربات التراسونیک بوجود می‌آیند که هر کدام در رسیدن به مزایای گفته شده مؤثر است. در شکل ۱۱-۴ لایه‌های مختلف که در اثر ضربات التراسونیک بوجود می‌آید و همچنین توزیع تنش فشاری ایجاد شده بر روی قطعه‌ای که قبل از اعمال ضربات التراسونیک تنشی نداشته نشان داده شده است.

اثر ناحیه‌هایی که در شکل ۱۱-۴ نشان داده شده‌اند در جدول۵-۵ زیر آمده است:

جدول ۵-۵ اثر ناحیه های شکل ۱۱-۴[۳]

ناحیه	اثر
لایه سفید	مقاوم در مقابل سایش، مقاوم در مقابل خوردگی
تغییر فرم پلاستیک	افزایش حد دوام و استحکام شکست در محیط خورنده
Impulse relaxation	کاهش تنش های پسماند جوشی و کرنش تا ۷۰% حالت اولیه
Ultrasond relaxation	کاهش تنش های پسماند جوشی و کرنش تا ۵۰% حالت اولیه

مطالعه ناحیه فیزیکی تحت اثر ضربات التراسونیک با استفاده از نمونه‌های میله‌ای، از جنس آلیاژ فولاد و تیتانیوم با استحکام بالا و ابعاد طول تا ۱۵ میلیمتر و قطر ۲۰ میلیمتر صورت گرفته است. ابعاد لایه‌های موجود با استفاده از روش های متالوگرافی و روش آنالیز اشعه ایکس بدست آمده است. به این ترتیب که

ابتدا نمونه‌های موجود تحت عملیات آنیل قرار گرفته‌اند و تنش های موجود در آنها و ضخامت این لایه‌ها و تنش فشاری اعمال شده در این نمونه از روش های متالوگرافی و روش آنالیز اشعه ایکس بدست آمده است. در عمل وقتی این عملیات بر روی سازه با تنش کششی اعمال می‌شود تنش فشاری ایجاد شده تنش کششی موجود را خنثی کرده و حتی تنش فشاری پسماند در سطح باقی می‌گذارد که باعث افزایش استحکام خستگی می‌گردد.

۵-۲-۳- استفاده از تنش زدایی التراسونیک در تعمیر و نگهداری سازه‌های جوشی

مقدمه:

یکی دیگر از مشکلاتی که عموماً در سازه‌ها با آنها مواجه می‌شویم، تعمیر قطعاتی از سازه است که ترک خورده‌اند و احتمال شکست آن در هر لحظه وجود دارد. این مسأله در پل ها و سازه‌های بزرگ که خرابی آنها معضلات بزرگی را بوجود می‌آورد مهم است. لذا باید این سازه‌ها در مدت زمان های مشخصی بازرسی شوند تا در صورت وجود عیوب برطرف گردد.

مسأله دیگر نحوهٔ تعمیر چنین قطعاتی از سازه است. قطعاتی که ترک برداشته است موقع طراحی برای تحمل نیرو استفاده شده است و در صورتی که این قطعه که تحت بار است را برای تعمیر و تعویض خارج کنیم احتمال شکست کل سازه وجود دارد.

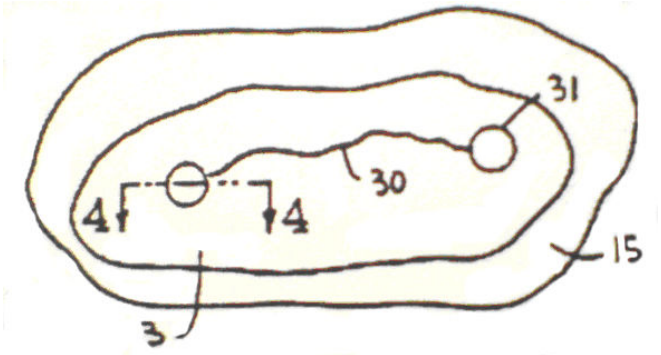
لذا باید با تمهیداتی، ابتدا این سازه را در محل قطعه معیوب تقویت نموده و سپس نسبت به تعمیر و یا تعویض قطعه معیوب اقدام نمود. مسأله تقویت سازه در محل مورد نظر نیز مشکل دیگری است، لذا سعی می‌شود تا روشی پیدا کنیم که بدون نیاز به باز کردن قطعه معیوب از سازه و در حالی که قطعه تحت بار است قطعه معیوب را تعمیر کنیم. روش تنش زدایی التراسونیک قابلیت این را دارد که برای تعمیر ترک های خطرناک درمحصولات جوشی و یا غیرجوشی بدون اینکه قطعه باز شود استفاده شود. مزایایی که استفاده از

ضربات التراسونیک در چنین قطعاتی دارند عبارتند از: قیمت کاری کمتر، اصلاح شکل قطعه جوشی، نیاز کم به ابزار«ویژه بودن ابزار» و همچنین حذف تنش های پسماندی که می‌تواند منجر به بازشدن ترک ها شوند. این روش با اعمال توزیع تنش های فشاری مناسب در ناحیه‌ای که از پتانسیل مناسبی برای ایجاد ترک برخوردار است، مانع باز شدن ترک شده، امکان شکست را کاهش می‌دهد و باعث افزایش عمر قطعه می‌گردد.

نمونه‌هایی از کاربرد ضربات التراسونیک در تعمیر سازه‌های جوشی:

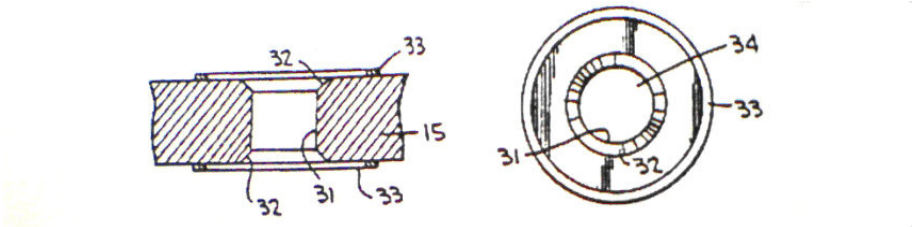
در این بخش به دو نمونه از کاربرد و روش انجام تنش زدایی التراسونیک در جلوگیری از رشد ترک و تعمیر سازه اشاره می‌شود.

شکل ۱۴-۵ عضوی از سازه را نشان می‌دهد که ترک ۳۰ در آن آشکار شده است. بعد از تشخیص چنین ترکی برای جلوگیری از رشد این ترک در انتهای این ترک سوراخ هایی زده می‌شود تا با افزایش شعاع انحای انتهای ترک از رشد ترک جلوگیری شود. محلی که سوراخکاری صورت می‌گیرد باید به صورت دقیق انتخاب شود تا کاملاً انتهای ترک را شامل شود و اگر سوراخکاری در محل درست صورت نگیرد و انتهای ترک حذف نشود. (مانند سوراخ سمت راست)، ترک دوباره امکان رشد خواهد داشت و باعث شکست سازه می‌گردد.



شکل ۱۴-۵ ایجاد سوراخ در انتهای ترک به منظور جلوگیری از رشد ترک[۳]

از طرف دیگر با ایجاد سوراخ هایی در دو انتهای ترک اگر لبه‌های بالا و پایین سوراخ به صورت تیز باقی بمانند همین محل ها می‌توانند محل تمرکز تنش بوده و باعث ایجاد ترک و شکست قطعه گردند. لذا در بالا و پایین لبه‌های سوراخ ها پخ های مخروطی برای حذف تمرکز تنش در این محل های تیز زده شده است. اگر این پخ های مخروطی توسط روش ضربات التراسونیک ایجاد شود، خود به میزان قابل توجهی احتمال شکست را کاهش می‌دهد. زیرا تنش های کششی متغیری که در اثر اعمال بار خارجی به قطعه بوجود می‌آیند. شکست قطعه را از محل های تمرکز تنش آغاز می‌کنند. لذا اگر به روشی با اعمال بار فشاری در محل های تمرکز تنش این تنش های کششی جبران شود، احتمال شکست کاهش می‌یابد. بنابراین وقتی از روش ضربات التراسونیک استفاده می‌شود، امکان ایجاد ترک در محل های مخروطی انتهای سوراخ ها و انتهای ترک ها کاهش یافته و عمر خستگی به میزان قابل توجهی افزایش می‌یابد. (شکل۱۵-۵)

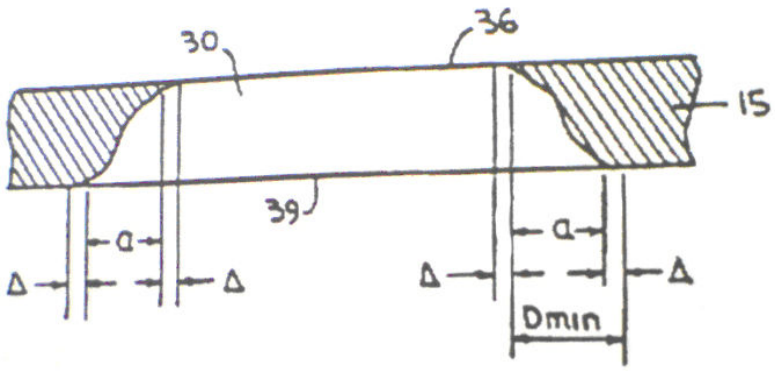


شکل ۱۵-۵ ایجاد گوشه‌های مخروطی در لبه‌های سوراخ توسط روش التراسونیک

برای ایجاد تنش پسماند فشاری در محل های تمرکز تنش[۳]

در شکل ۱۶-۵ نیز سطح مقطع ترک ۳۰ به صورت باز شده نشان داده شده است. لبه‌های بالا و پایین این ترک یعنی ۳۵ و ۳۶ به علت تیز بودن می‌توانند محل تمرکز تنش و ایجاد ترک های جدید و شکست قطعه شوند. لذا لازم است که ضربات التراسونیک بر روی این دو لبه ترک نیز اعمال گردد، تا با اعمال تنش فشاری از باز شدن ترک یا ایجاد ترک های جدید جلوگیری گردد. در این شکل همچنین حداقل قطر

سوراخی که برای حذف انتهای ترک ها ایجاد می‌شود نمایش داده شده است. این قطر عبارت است از تصویر انتهای ترک بر صفحه ورق بعلاوهΔ که برای اطمینان بیشتر از اینکه انتهای ترک حتماً حذف شده به دو طرف این قطر اضافه می‌گردد. همچنین مطابق شکل ۱۵–۵ در سوراخ های انتهای ترک ها پرچ ۳۳ قرار داده می‌شود تا تنش فشاری به این منطقه از ترک اعمال کند و مانع باز شدن ترک شود. علاوه بر این از این پرچ به عنوان میله راهنمای موج برای انجام عملیات ضربات التراسونیک در سمت دیگر سازه که در دسترس نیست استفاده می شود.

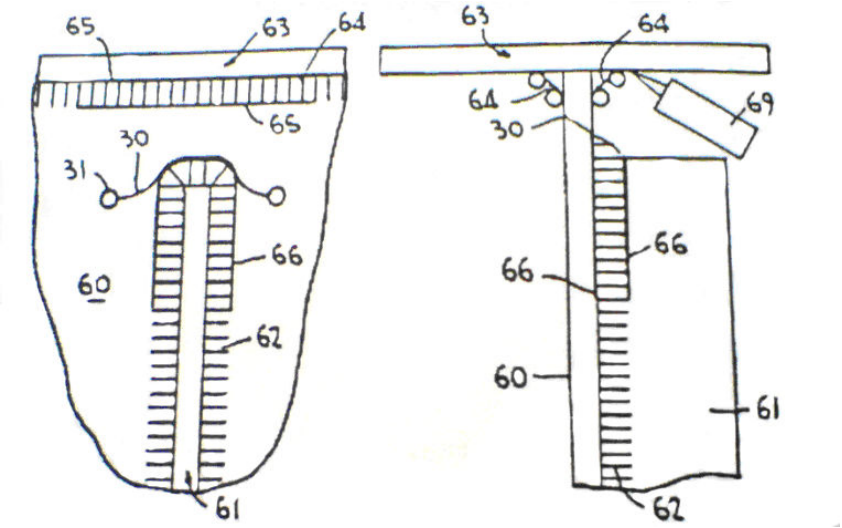


شکل۱۶–۵ برش مقطعی ترک و تعیین قطر حداقل سوراخ های برای عملیات تعمیر ترک[۳]

نمونه دیگری از استفاده ضربات التراسونیک و نحوه انجام آن در شکل۱۷–۵ نشان داده شده است. این مثال تیری از یک پل است که توسط تقویت‌کننده ۶۱ در صفحه تیر ۶۰ با فاصله‌ای از فلنج ۶۳ تعریف شده است. مشاهده می‌شود که ترک ۳۰ در صفحه ۶۰ و در مجاورت جوش ۶۲ بوجود آمده است. می‌خواهیم به روش ضربات التراسونیک این سازه را تعمیر کنیم تا مانع شکست سازه شویم.

ابتدا مطابق آنچه گفته شد انتهای ترک ها را به طور دقیق پیدا کرده و سوراخ ها را به گونه‌ای که انتهای ترک را حذف کند ایجاد می‌کنیم. (سوراخ های ۳۱). ابزار التراسونیک ۶۹ مطابق شکل به خط جوش ۶۴ اعمال

می‌گردد که ممکن است توسط ابزار دستی انجام شود. خط های پر ۶۵ و ۶۶ مسیری را که باید تحت فرآیند التراسونیک قرار گیرد تا تنش های فشاری پسماند ایجاد کرده و تنش های کششی را آزاد کند، نشان می‌دهد. همچنین فاصله بین فلنج ۶۳ و صفحه تقویتی ۶۱ در بالا و پایین ترک ۳۰ باید تحت فرآیند ضربات التراسونیک قرار بگیرد تا یک ناحیه تنش فشاری در سطح ترک ایجاد شود. [۳]



شکل ۱۷-۵ اعمال ضربات التراسونیک بر یک جوش شامل ترک برای جلوگیری از شکست جوش[۳]

۵-۲-۴- نتیجه‌گیری کلی :

نتیجه کلی که از فرآیند تنش زدایی التراسونیک و کاربرد آن در هنگام ساخت، تعمیر و نگهداری بدست می‌آید به صورت زیر است:

۱. اعمال ضربات التراسونیک در سازه‌های جوشی بعد از عملیات جوشکاری باعث بهبود کیفیت و افزایش قابلیت اطمینان جوش می‌شود.

۲. تنش زدایی با فرآیند التراسونیک باعث کاهش تنش‌های پسماند کششی و ایجاد تنش های پسماند فشاری مناسب، افزایش استحکام خستگی در محیط خورنده و افزایش حد دوام اتصالات جوشی تحت شرایط بارگذاری نوسانی(Ramp) در دمای پایین می‌گردد.

۳. در جوش های چند پاسه چون اعمال ضربات التراسونیک سرباره را حذف می‌کند، نیازی به عملیات اضافی حذف سرباره وجود ندارد.

۴. استفاده از تنش زدایی التراسونیک در تعمیر سازه‌های جوشی و جلوگیری از گسترش ترک ها، کم‌هزینه بوده و بازدهی بالایی دارد.

فصل ششم:

تنش زدایی قالب ها

۶-۱-مقدمه

در فصول گذشته با تکنولوژی های تنش زدایی، مخصوصا تنش زدایی با ضربات التراسونیک آشنا شدیم. در آن فصول قسمت اعظم بحث را بر روی حذف تنش های پسماند ناشی از جوشکاری قرار دادیم. اما تنش های پسماند تنها مختص به جوش ها نبوده و می تواند در انواع فرآیندهای عملیات حرارتی، ماشین کاری سنتی، ذوب فلزات، روش های نوین ماشین کاری، فرآیند های مختلف شکل دهی همچون نورد و اکستروژن و... ایجاد گردد. برخی از این تنش های ایجاد شده ممکن است کششی و برخی دیگر فشاری باشند. برخی از این تنش های ایجاد شده نه تنها نیاز به حذف شدن ندارند بلکه می توانند مفید هم باشند. به عنوان مثال تنش های پسماند کششی ایجاد شده ناشی از ماشین کاری با فرآیند تخلیه الکتریکی در قالب های فرجینگ در هنگام کار این قالب ها سبب افزایش قابلیت تحمل فشاری آنها می گردد. اما تنش های ایجاد شده در حین فرآین های تولید همیشه هم مفید نیستند. در این فصل ما می خواهیم تنش های پسماند که در حین فرآیند تولید بسیاری از قالب ها ایجاد می گردد را بررسی کرده و راهکارهای مختلفی که می تواند این تنش ها را حذف و یا تعدیل کند را با هم مقایسه کرده و ببینیم که آیا می توان از ضربات التراسونیک در این مورد هم استفاده کرد یا نه.

به طور یقین کیفیت قالب ها در عمل و در حین کار مشخص می گردد . حتی دو قالب که فرضا به طور یکسان هم ساخته شده باشند با یکدیگر متفاوتند. کیفیت قالب ها موجب حفظ شدن شکل قالب ها در دوره زمانی طولانی شده و مقاومتشان را در برابر ایجاد ترک ها در حین کار افزایش می دهد. کیفیت قالب ها از چندین عامل تاثیر می پذیرد که عبارتند از: ترکیب شیمیایی ، عملیات حرارتی ، سرعت برش ، نرخ پیشروی، تیزی ابزارهای برشی و مواردی از این قبیل. ولی احتمالا مهمترین عاملی که بر روی پایداری و عملکرد قالب ها تاثیر می گذارد تنش های پسماند است. تنش های پسماند فشارهای داخلی هستند که پس

از عملیات حرارتی یا مکانیکی در جسم باقی می مانند و حاصل کرنش های حرارتی و مکانیکی هستند . تنش های حرارتی ناشی از اعمال حرارت های حادی همچون جوشکاری ، ریخته گری ، نورد گرم ، ماشین کاری ، سنگ زنی ، ماشین کاری تخلیه الکتریکی و عملیات حرارتی می باشد. هر چه حرارت اعمال شده حادتر باشد تنش های پسماند ایجاد شده بیشتر خواهد بود. تنش های مکانیکی ناشی از تغییرات اجباری شکل دانه ها می باشد که در اثر عواملی چون نورد سرد ، خم کاری ، استامپ زدن و قالب گیری بوجود می آید.

۶-۱-۱-مشکلات ناشی از تنش های حرارتی

۱- شکست ناگهانی در اثر ماشین کاری و یا سنگ زنی

۲- شکست پس از یک دوره کاری

۳- ترک های نا بهنگام

تنش های مکانیکی به سادگی قابلیت محاسبه دارند. و می توان با محاسبه دقیق محدوده خستگی ناشی از تنش های مکانیکی و پیش بینی معقول ظرفیت عملکردی ، طراحی بهینه تری را ارائه نمود. ولی این قضیه در مورد تنش های پسماند حرارتی صادق نیست. محاسبه تنش های ناشی از حرارت کار بسیار مشکلی می باشد . و اکثر مهندسان قادر به درک آن نیستند. تنش های حرارتی می تواند از یک مقدار ناچیز تا مقداری که برابر با تنش تسلیم ماده است متغییر باشد. بنابراین تنش های حرارتی به عنوان کلید اصلی در دستیابی به کیفیت بالا در قالب ها و حفظ این کیفیت مطرح شده است.

۶-۲-راهکار های برخورد با تنش های حرارتی

۱- این تنش ها را نادیده گرفته و عواقب آن را تحمل کنیم. این عواقب شامل مواردی همچون اتلاف بیشتر موجودی ، نرخ تولید قراضه و ضایعات بیشتر ، تعمیرات گسترده و مکرر ، اتلاف مواد خام و نارضایتی مشتری و... می باشد.

۲- به حداقل رساندن هر نوع شوک حرارتی بر روی بلوک قالب در صورت امکان . بدین منظور هر مرحله از تولید را در حین فرآیندبازرسی کنید. در هر قسمت که حرارت بحرانی رخ می دهد سعی شود نرخ سرد شدن آهسته باشد. مگر آنکه نرخ سرد کردن برای بدست آوردن مشخصه مکانیکی ضروری باشد. برای مثال اگر یک بیلت فولادی که برای استفاده در قالب است برای خنک شدن بر روی زمین قرار داده شده باشد بهتر است آن را به آهستگی از زمین جدا کرده و یا حتی بهتر است تا آن بیلت را در یک پوشش عایق کرد تا به آهستگی سرد شود.

۳- تنش زدایی بلوک های قالب با یکی از روش های مرسوم . برای این کار معمولا از فرآیند عملیات حرارتی استفاده می گردد. علی رغم موثر بودن این روش معایبی را نیز به دنبال دارد که از آن جمله می توان به مواردی همچون زمان بر بودن ، هزینه نسبتا زیاد، ایجاد اعوجاج ، اکسیداسیون سطح ، تغییر در خواص مکانیکی و محدودیت ابعادی و وزنی اشاره کرد. فرآیند های دیگری نیز وجود دارند که به دلیل برخی مشکلات کاربرد چندانی ندارند. مثلا فرآیند پیر سختی طبیعی بسیار زمان بر است و یا فرآیند تبرید فوق العاده گران قیمت بوده و از لحاظ ابعاد قطعات محدودیت وجود دارد. و فرآیند های کشش و فشار مستلزم ساده بودن شکل هندسی قطعات است.

با توجه به برخی مشکلات موجود در فرآیند های ذکر شده پیشنهاد ما برای حذف این تنش های پسماند استفاده از ضربا ت التراسونیک می باشد . این فرآیند همانند روش تنش زدایی با عملیات حرارتی دارای سطوح انرژی مختلف برای رسیدن به هدف می باشد . و مزایای بالقوه ای نسبت به سایر فرآیند ها دارد که می توان به مواردی همچون صرفه جویی در زمان و هزینه ، جلوگیری از تخریب سطح ، پایین بودن هزینه هاو.. اشاره کرد. اما این فرآیند تنها زمانی می تواند موفقیت آمیز باشد که بر مبنای یک سری اصول و قواعد هماهنگ باشد.

۶-۳-چگونگی اجرای فرآیند

تمام قطعات دارای یک ارتعاش طبیعی با فرکانس مشخص هستند. اگر قطعه کار در معرض شوک های حرارتی ناشی از تولید قرار گرفته باشد فرکانس ارتعاشات طبیعی قطعه کار به یک فرکانس غیر طبیعی تبدیل خواهد شد. حال اگر برای تنش زدایی از ضربات التراسونیک استفاده شود ، فرکانس موجود قطعه کار تغییر کرده و سرانجام در یک فرکانس جدید و مشخص ثابت می شود این فرکانس جدید همان فرکانس ارتعاشات طبیعی قطعه کار است. و زمانی که به این مرحله رسیده باشیم عملا قطعه به حالت نرمال و طبیعی برگشته و عاری از تنش می باشد. به عنوان مثال می توان این فرآیند را همانند یک آلت موسیقی در نظر گرفت که خارج از دستگاه می نوازد و همان طور که نواختن آن وارد دستگاه می شود (تنش زدایی می شود) موسیقی طبیعی تر به گوش می رسد. قابل ذکر است موضوع تغییرات فرکانس ناشی از تنش در سال ۱۹۸۷ توسط پروفسور وانگ و جانسون از دانشگاه برکلی انتشار یافت. (Professors T.E. Wong and G.C. Johnson of the University of California – Berkeley)

توجه گردد که پس از هر ۱۰-۵ دقیقه بلوک قالب بررسی گردد و زمانی که فرکانس ارتعاشات بلوک تغییر کرد می بایست فرکانس ارتعاشات دستگاه مجدد تنظیم شود.

۶-۴-اختلاف های موجود بین تنش زدایی التراسونیک و تنش زدایی با عملیات حرارتی

۱- هزینه: هزینه فرآیند تنش زدایی بوسیله ضربات التراسونیک عموما در محدوده بین ۱۰-۵ درصد هزینه تنش زدایی بوسیله عملیات حرارتی است.

۲- زمان: زمان صرف شده برای فرآیند تنش زدایی بوسیله ضربات التراسونیک کمتر از ۵٪ زمان صرف شده برای فرآیند تنش زدایی به روش عملیات حرارتی است.(تنش زدایی التراسونیک ۶۰-۳۰ دقیقه – تنش زدایی با روش عملیات حرارتی ۵-۳ روز)

۳- تاثیرات جانبی : فرآیند تنش زدایی التراسونیک هیچ یک از معایب تنش زدایی با عملیات حرارتی را که قبلا ذکر شد را ندارد ندارد.

۴- مراحل کمکی: فرآیند تنش زدایی با ضربات التراسونیکی بسیاری از مراحل کمکی و فرعی که در فرآیند تنش زدایی بوسیله عملیات حرارتی وجود دارد را حذف می کند. که از آن جله می توان به موارد زیر اشاره کرد: حمل و نقل ، تمیز کاری ، ماشین کاری مجدد و...

۵- تضمین کیفیت و آسودگی: تنش زدایی التراسونیک در هر زمانی و در بین مراحل مختلف کار می تواند استفاده شود که این مزیت استفاده از این فرآیند در مراحل پرداخت و نیمه پرداخت را تسهیل می کند و می توان از آن برای بهبود کیفیت قالب های مونتاژ شده نیز بهره گرفت.

۶-۵-موارد مهم در عملیات تنش زدایی با ضربات التراسونیک

در هر مرحله از فرآیند تولید قالب که ترک ها و یا اعوجاج می تواند باعث ایجاد ضایعات و تعمیر گردد توصیه می شود از این فرآیند استفاده گردد. استفاده از این فرآیند در بین مراحل خشن کاری و پرداخت کاری به منظور حفظ کیفیت و کنترل شکست و اعوجاج می تواند مفید باشد. استفاده از این فرآیند در حین

جوشکاری قالب به منظور تعمیر و بازسازی سبب ایجاد جوش با ساختار ظریف تر شده و به جوشکار اجازه می دهد تا از آمپر کمتری استفاده کند.

نتیجه گیری و پیشنهادات :

با در نظر گرفتن اهمیت قالب ها در صنایع و هزینه های بالای تولید آنها و انتظاراتی که از آنها برای عمر بالا می رود حذف تنش های پسماند اهمیتی دوچندان می یابد. چون در قالب های بزرگ استفاده از روش های عملیات حرارتی مانند آنیلینگ نیاز به کوره و تجهیزات بزرگ دارد و استفاده از این روش پس از هر مرحله تولید عملا امکان پذیر نیست، ما برای تنش زدایی پس از هر مرحله و یا قبل از مرحله پرداخت روش ضربات التراسونیک را پیشنهاد می کنیم. چون می توان هر نقطه ای را که مورد نظر ماست بدون تحت تاثیر قرار دادن سایر نقاط تنش زدایی کرد. البته یک مبحث مجهول در این میان وجود دارد و آن هم فرکانس ضربات التراسونیک است زیرا اگر این فرکانس با فرکانس ارتعاشی موجود در قالب برابر باشد ممکن است پدیده تشدید رخ دهد. ولی ما در اینجا پیشنهاد می کنیم که فرکانس این ضربات از فرکانس ارتعاشی موجود در قالب کمتر باشد چون این احتمال را می دهیم که فرکانس بالاتر سبب ایجاد تنش پسماند فشاری در کار گردد. و عملا تحمل فشاری قالب کم گردد. و از طرفی با توجه به اینکه قالب ها دارای جنس سخت و نسبتا ترد هستند ممکن است فرکانس های بالاتر سبب ایجاد ترک های ریز در بلوک قالب گردد. چون به نظر می رسد مقداری از این فرکانس بالاتر که برابر با فرکانس موجود در قالب است صرف حذف ارتعاشات قالب گردد و فرکانس مازاد سبب مشکلات ذکر شده شود. البته تمام این مطالب فرضیات ما بوده و برای رسیدن به جواب های دقیق برای اثبات این مطلب و یا نقض آن نیاز به آزمایشات دقیق در شرایط مشابه می باشد تا بتوان در شرایط واقعی از آنها استفاده بهینه نمود.

با توجه به مطالب ارائه شده و استدلال های موجود فرآیند تنش زدایی التراسونیک نه تنها در مورد بهینه سازی جوش ها می تواند مفید باشد بلکه در اکثر قطعات و تجهیزاتی که فرآیندهای تولید سبب ایجاد تنش های پسماند در آنها می شود، می تواند مفید باشد . و با معقول ترین هزینه، کمترین زمان و حداقل تاثیرات جانبی کیفیت و امنیت کار را به مقدار قابل توجهی بالا می برد.

منابع وماخذ:

1-E.S.Stanikov Guide for application of ultrasonic Impact Treatment Impoving fatigue life of welded structure

2- E.S.Stanikov Application of operational ultrasonic Impact Treatment Technologies in production of welded joints

۳- دکتر ایرج ستاری فر، مبانی تکنولوژی جوشکاری ،انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر، ۱۳۶۷

۴- دکتر امیر عبدالله ،روشهای نوین تولید ، ،انتشارات دانشگاه تربیت مدرس، ۱۳۷۳