انجمن جوشکاری و آزمایشهای غیرمخرب ایران
۵ الی ٦ دی ماه ۱۳۹۱- دانشگاه باهنر کرمان

بررسی علل ایجاد ترک گرم در جوش داخلی لوله‌های اسپیرال فولادی

محمد هادی کاکایی[۱]، میلاد اشرف زاده[۲]
[۱و۲] شرکت لوله‌سازی ایران اسپیرال

چکیده

یکی از روش‌های تولید لوله‌های انتقال آب و گاز، روش اسپیرال به صورت پیوسته است. در این روش همزمان با فرم‌دهی، لوله از داخل و خارج با روش زیرپودری جوشکاری می‌شود. به دلیل همین ماهیت فرایند تولید، لوله‌های اسپیرال مستعد به ترک گرم هستند و جلوگیری از ایجاد ترک مستلزم تنظیم دقیق پارامترهای شکل‌دهی و جوشکاری این لوله‌هاست. در این پژوهش عوامل مؤثر بر ایجاد ترک گرم در تولید لوله‌های اسپیرال بررسی و با استفاده از آنالیزهای EDX، MAP و SEM این نوع از ترک مورد مطالعه قرار گرفته و در پایان به راهکارهایی برای جلوگیری از ایجاد این نوع از ترک اشاره شده است. نتایج نشان دهنده آن است که تنظیمات اولیه دستگاه، پروفایل جوش و آمپر جوشکاری، از پارامترهای مؤثر در ایجاد ترک گرم است. این در حالی است که هیچ‌گونه اثری از فازهای با دمای یوتکتیک پایین در سطح شکست مشاهده نشد.

کلمات کلیدی: لوله‌های اسپیرال، جوشکاری زیرپودری، ترک گرم، فرم‌دهی سه غلتکی

[1] Mohamadhadi43@yahoo.com
[2] Milad_ashrafzadeh@yahoo.com

مقدمه

از میان عیوب مختلفی که ممکن است در فلز جوش و منطقه متأثر از حرارت ایجاد شود، ترک از همه خطرناک‌تر بوده و دارای هیچ محدوده پذیرشی نیست [۱]. شروع ترک نتیجه برهم‌کنش میان فاکتورهای متالورژیکی و مکانیکی است؛ به طوری که این برهم‌کنش‌ها تعیین کننده میکروساختار پس از انجماد و تمرکز تنش‌های موضعی و سرتاسری است [۲]. ترک‌های ایجاد شده در فلزجوش و منطقه متأثر از حرارت را می‌توان در دو گروه عمده ترک گرم و ترک سرد تقسیم‌بندی کرد. ترک‌هایی که در حین جوشکاری و انجماد ایجاد می‌شوند، ترک گرم و ترک‌هایی که با تأخیر و پس از جوشکاری ایجاد می‌شوند ترک سرد نامیده می‌شوند [۳].

یکی از رایج‌ترین انواع ترک در لوله‌های اسپیرال، ترک‌های مرکزی[1] است. ویژگی متمایز این ترک‌ها همان‌طور که در شکل (۱) نشان داده شده است، ایجاد جدایش در خط مرکزی به صورت طولی در جوش است. به عبارت دیگر، در صورت قرارگیری جوش در خط مرکزی اتصال، این ترک‌ها نیز در خط مرکزی جوش و اتصال قرار می‌گیرند.

این ترک‌های مرکزی که همان ترک‌های ناشی از انجماد[2] هستند می‌توانند به یکی از سه شکل زیر باشند:

- ترک‌های ناشی از جدایش[3]: این ترک‌ها در اثر جدایش ترکیبات با نقطه ذوب پایین مانند فسفر، روی، مس و سولفور در حین فرایند انجماد ایجاد می‌شوند. این ترکیبات در حین انجماد در خط مرکزی جوش تجمع کرده و از آن جایی که آخرین ترکیباتی هستند که منجمد می‌شوند، باعث ایجاد جدایش در خط مرکزی جوش می‌شوند.
- ترک‌های ناشی از شکل جوش[4]: این نوع از ترک همان‌طور که در شکل (۲) نیز نشان داده شده است در فرایندهایی که با عمق نفوذ بالایی همراه هستند، مانند روش زیرپودری رخ می‌دهد. زمانی که عمق نفوذ نسبت به پهنای جوش بیش از اندازه بزرگ باشد، دانه های تشکیل شده به صورت ستونی موازی سطح جوش رشد کرده، اما به طور کامل درهم جوش نمی‌خورند.
- ترک‌های ناشی از پروفایل سطح جوش[5]: زمانی که تقعر جوش زیاد است، تنش‌های انقباضی داخلی، داخلی، سطح جوش را تحت تنش زیادی قرار می‌دهد. این در حالی است که در جوش‌های محدب، تنش‌های سطحی ایجاد شده به مراتب کمتر است (شکل ۳).

---

[1] Centerline crack
[2] Solidification crack
[3] Segregation induced cracking
[4] Bead shape induced cracking
[5] Surface profile induced cracking

به دلیل آن که شکل ظاهری این سه نوع ترک یکسان است یافتن دلیل اصلی ایجاد آن‌ها مشکل است. با این حال تجربه نشان می‌دهد در اغلب موارد دو و یا حتی هرسه این عوامل در ایجاد ترک مؤثر هستند [۱].

عوامل متالورژیکی و مکانیکی به طور همزمان در وقوع و رشد ترک مرکزی (انجمادی) نقش دارند. ناخاصی‌هایی مانند گوگرد و فسفر تأثیر زیادی بر وقوع ترک‌های انجمادی دارند. این ناخاصی‌ها علاوه بر افزایش محدوده انجماد، به دلیل جدایش در مرزهای دانه و تشکیل ترکیبات با نقطه ذوب پایین، می‌توانند باعث ترک انجمادی شوند. با وجود تمامی عوامل متالورژیکی، بدون وجود تنش، هیچ‌گونه ترکی ایجاد نمی‌شود [۴].

روش تحقیق

یکی از دستگاه‌های تولید لوله در شرکت ایران اسپیرال، دستگاه PRD ساخت کشور آمریکاست. فرایند تولید در این دستگاه به این ترتیب است که کویل‌های فولادی پس از قرارگیری در دستگاه، باز شده به درون دستگاه هدایت می‌شوند. ورق وارد شده به دستگاه پس از لبه‌سازی وارد قسمت فرم‌دهی شده و از داخل و خارج به صورت اتوماتیک و به صورت زیرپودری جوشکاری می‌شود. فرایند شکل‌دهی در این دستگاه به صورت سه غلتکی با فرمینگ باز است. نمونه‌های مورد بررسی قرار گرفته، از لوله‌های تولید شده توسط این دستگاه تهیه شدند. ضخامت این نمونه‌ها ۹/۵ میلیمتر و جنس آن‌ها فولاد کربنی ساده (St 37) است. برای بررسی سطح شکست از آنالیزهای SEM، EDX و MAP استفاده شد.

نتایج و بحث

در تولید لوله‌های اسپیرال به صورت پیوسته به دلیل آن‌که شکل‌دهی و جوشکاری به صورت همزمان انجام می‌گیرد، مستعد به ترک گرم هستند. این ترک‌ها اغلب به صورت ترک مرکزی بوده و در جوش داخلی ایجاد می‌شود.

در شکل (۴) ترک مرکزی در نمونه‌های بررسی شده نشان داده شده است. همان‌طور که دیده می‌شود ترک ایجاد شده مشابه ترک نشان داده شده در شکل (۱)، یعنی ترک انجمادی است با این تفاوت که دو سطح ایجاد شده ناشی از ترک به دلیل تنش زیاد نسبت به‌هم حرکت کرده‌اند.

انجماد در حوضچه مذاب از دیواره‌ها آغاز شده و به صورت دندریتی به طرف مرکز جوش ادامه پیدا می‌کند. پس از رسیدن این دندریت‌ها به یکدیگر و درهم‌جوشی آن‌ها فلز جوش به‌صورت یک‌پارچه تشکیل می‌شود. چنان‌چه قبل از اتصال دندریت‌ها، تنش‌های موجود افزایش یابند، فلز جوش توانایی مقاومت در برابر آن‌ها را نداشته، ترک ایجاد می‌شود. نمونه‌ای از این انجماد دندریتی را می‌توان در شکل (۵- الف)، که

نشان دهنده تصویر SEM سطح شکست نمونه تهیه شده است مشاهده کرد. لایه‌های اکسیدی تشکیل شده بر روی این دندریت‌ها در شکل (۵- ب) که در بیش‌تر مناطق تشکیل شده‌اند گویای این مطلب است که افزایش تنش، قبل از شکل‌گیری فلزجوش با استحکام بالا بوده است. آنالیز EDX و MAP در شکل (۶) نشان دهنده آن است که هیچ‌گونه تجمعی از عنصر گوگرد که نشان دهنده تشکیل فازهایی مانند FeS باشد، دیده نمی‌شود. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که ترک ایجاد شده، ناشی از جدایش[1] نبوده است. بازرسی چشمی از نواحی دارای ترک نشان دهنده این واقعیت بودند که در این نواحی تقعر جوش داخلی خارج از محدوده استاندارد و زیر سطح ورق است که همان‌طور که در شکل (۳) نشان داده شده است باعث ایجاد تنش‌های کششی در سطح جوش می‌شود؛ بنابراین پروفایل سطح جوش[2] می‌تواند در ایجاد ترک در نمونه‌ها مؤثر باشد. از مهم‌ترین عوامل کنترل کننده تقعر جوش داخلی در تولید لوله‌های اسپیرال می‌توان به مکان هد جوش داخلی، مقادیر آمپر و ولتاژ و سرعت جوشکاری اشاره کرد؛ در واقع مقادیر بالای آمپر، ولتاژ و سرعت جوشکاری و یا مکان نادرست هد جوش می‌تواند با افزایش تقعر احتمال بروز ترک را افزایش دهد. افزایش آمپر علاوه بر افزایش تقعر با افزایش مقدار نفوذ و افزایش روانی مذاب در حوضچه، احتمال بروز ترک را افزایش می‌دهد. تنظیمات اولیه دستگاه برای تولید سایزهای مختلف لوله، در ساخت و عیوب ایجاد شده در هنگام ساخت بسیار مهم است. اولین پارامتر مهم در تنظیم دستگاه، محاسبه و تنظیم دقیق زاویه هلیکس (α) است که همان‌طور که در شکل (۷) نیز نشان داده شده است تعیین کننده زاویه ورودی ورق به دستگاه است. در هنگام ساخت لوله، دو لبه ورق درکنار یکدیگر جفت شده جوشکاری می‌شوند؛ تنظیم ناصحیح زاویه هلیکس و غلتک‌های شکل‌دهی باعث ایجاد تنش پسماند در درز جوش و بروز ترک می‌شود.

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج آنالیزهای انجام شده کاملاً مشخص است که هیچ‌گونه اثری از فازهای با دمای یوتکتیک پایین مانند FeS در ساختار جوش دیده نمی‌شود. لذا می‌توان نتیجه گرفت تنها عاملی که می‌تواند باعث ایجاد ترک شده باشد، نوسانات آمپر و ولتاژ بوده که افزایش ولتاژ با افزایش تقعر و افزایش آمپر با افزایش نسبت نفوذ به پهنا همراه با تنش‌های موجود ناشی از تنظیمات نادرست، باعث باز شدن دندریت‌ها قبل از درهم‌جوشی آن‌ها و ایجاد ترک شده است. توجه به این نکته ضروری است که این ترک به صورت موضعی ایجاد شده است که خود دلیل دیگری بر این مطلب است که عوامل به وجود آورنده آن به صورت نوسانی ایجاد و حذف شده‌اند. از سوی دیگر به دلیل آن‌که هیچ‌گونه ترکی در منطقه متأثر از حرارت دیده نشد می‌توان عدم وجود فازهایی مانند FeS را تأیید کرد.

---

[1] Segregation
[2] Welding surface profile

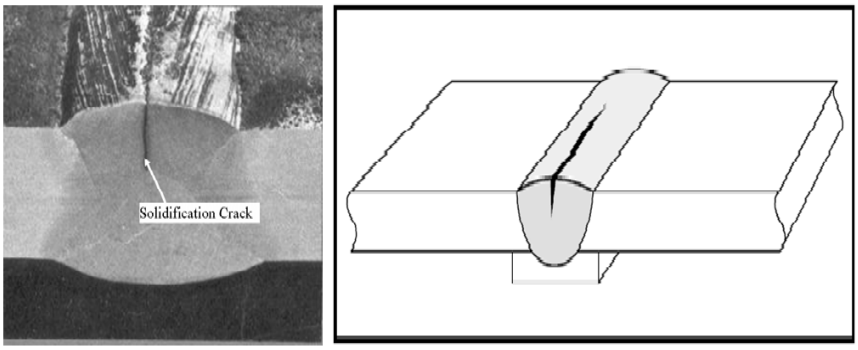
تشکر و قدردانی

نویسندگان از مدیر محترم کارخانه ایران اسپیرال جناب آقای مهندس یوسفیان و مدیر فنی محترم این کارخانه سرکار خانم مهندس عابدی به دلیل حمایت‌های مادی و معنوی ایشان در تهیه و تنظیم این مقاله، کمال تشکر و قدردانی را دارند.

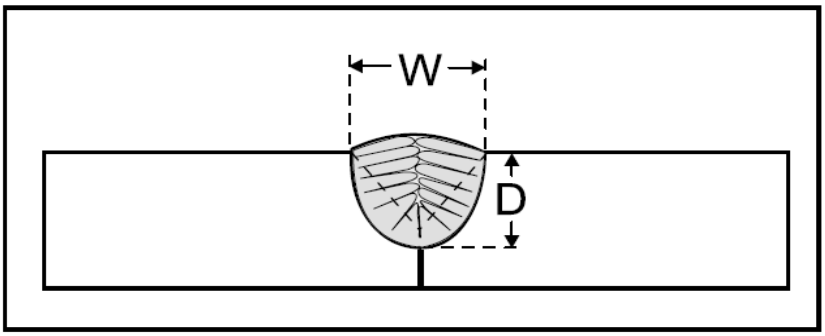
مراجع

[1] F. James., "Weld Cracking". Lincoln arc welding foundation.
[2] T. Böllinghaus, H.Herold, "Hot Cracking Phenomena in Welds".
[3] G.P. Kelkar, "Weld Cracks – An Engineer's Worst Nightmare".
[4] S. Kou, "Welding Metallurgy", New Jersy , John Wiley and Sons, 2003.

اشکال

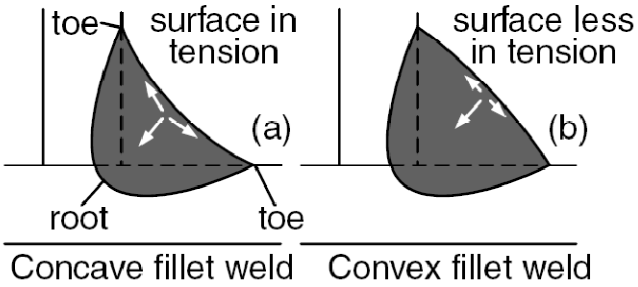


شکل ۱- ترک مرکزی [۱ و۴].

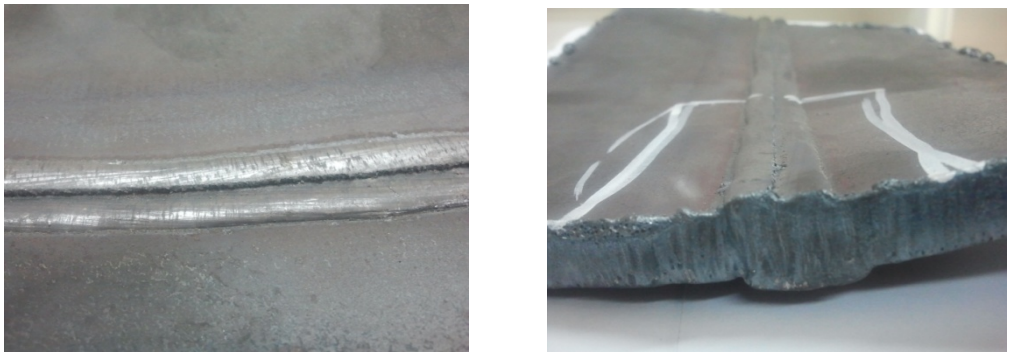


شکل ۲- ترک‌های ناشی از شکل جوش[1] [۱].

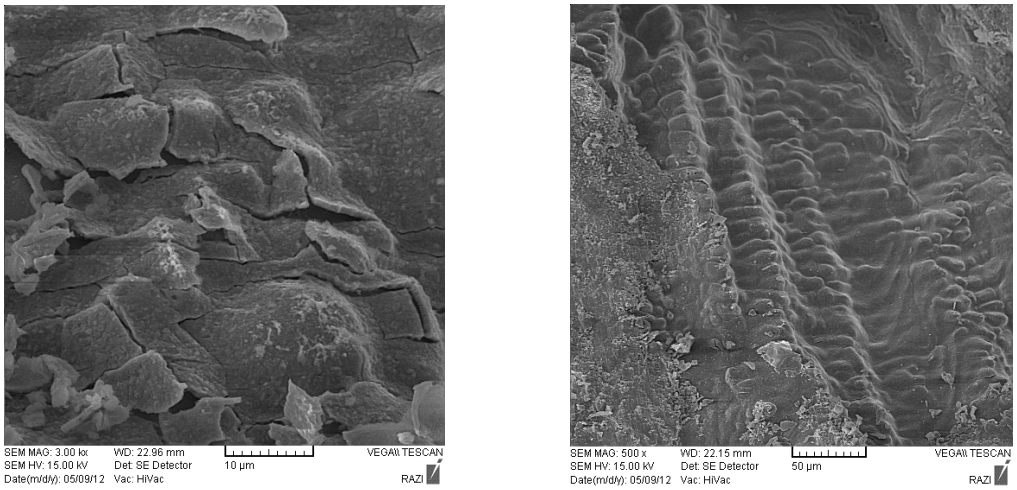
[1] Bead shape induced cracking



شکل۳- تأثیر شکل جوش در توزیع تنش[1] [۴].



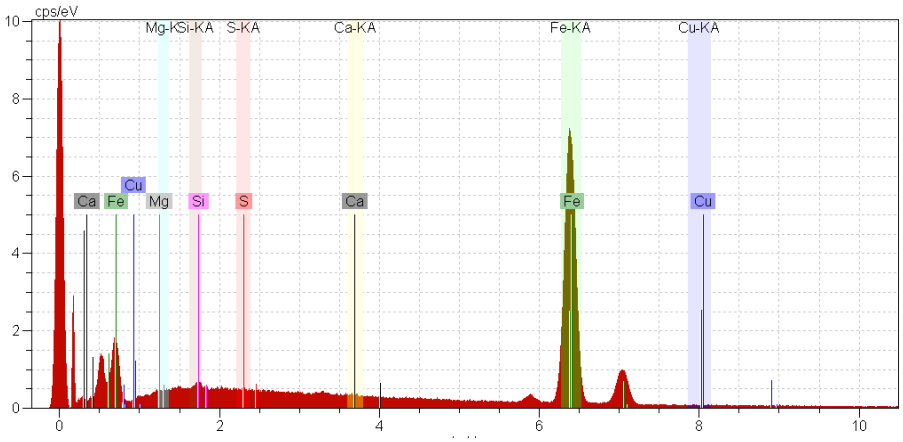
شکل ۴- ترک ایجاد شده در جوش داخلی.

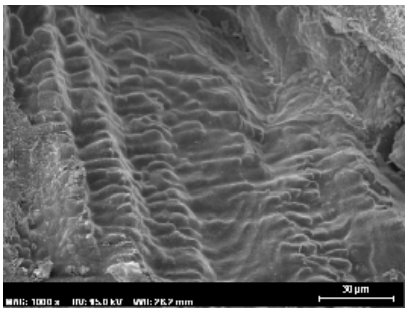


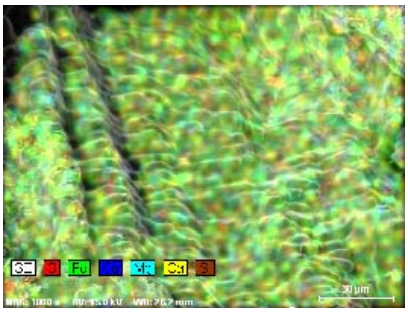
ب الف

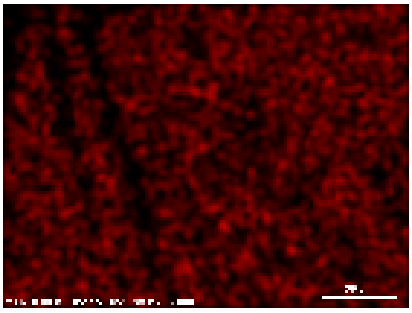
شکل۵- تصاویر SEM، الف- ساختار دندریتی فلز جوش شکل، ب- لایه‌های اکسیدی تشکیل شده بر روی سطح دندریت‌ها.

[1] Surface profile induced cracking

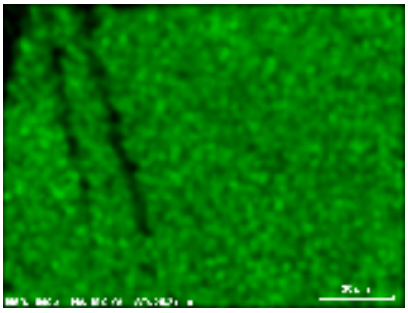




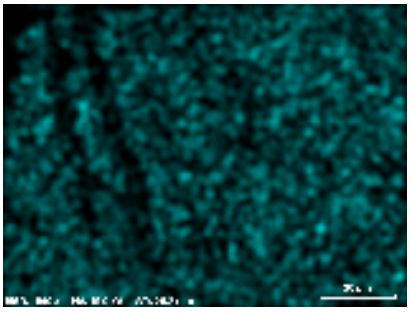




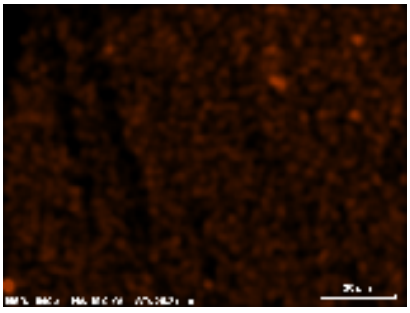
S



Fe

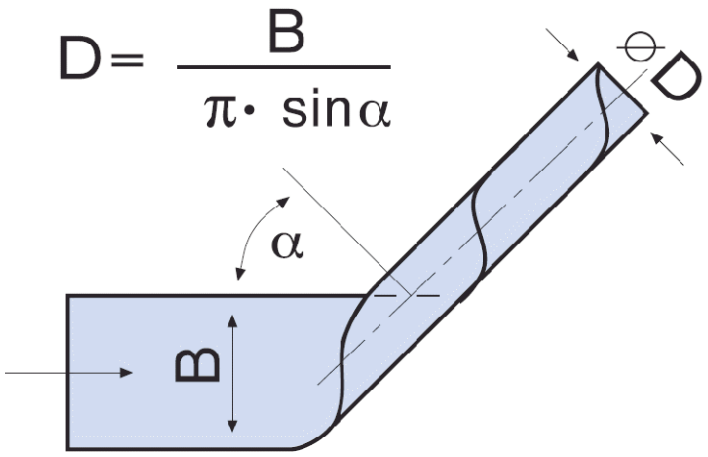


Mg



Si

شکل ۶- تصاویر آنالیز MAP سطح شکست.



شکل ۷- رابطه میان زاویه هلیکس با پهنا و قطر لوله.