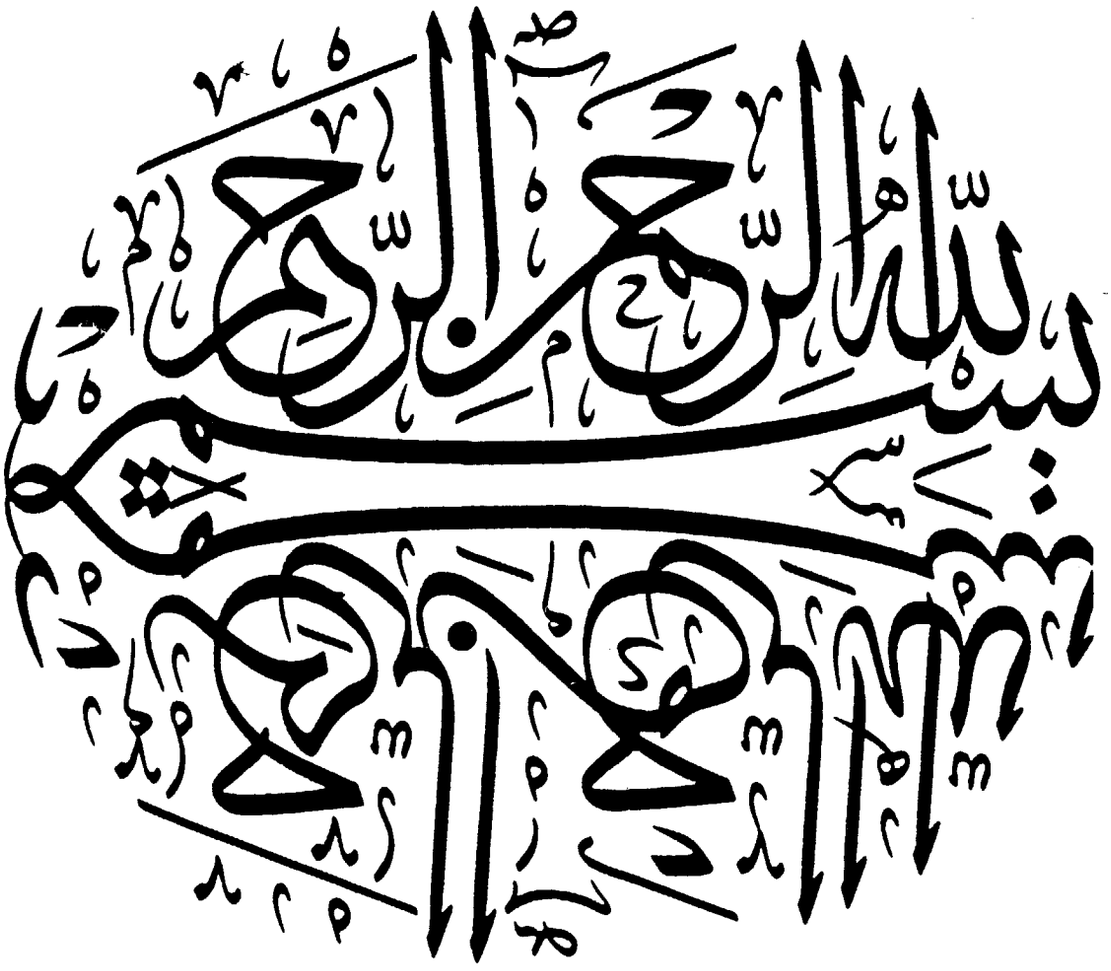

٢٧٨١٨

دانشگاه تهران
دانشکده فنی

گروه مهندسی متالورژی و مواد

۱۳۷۸ /۱۲/ ۱۶

پایان‌نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد
رشته مهندسی متالورژی

مرکز اطلاعات ... ایران
... مدارک

گرایش :
شناسائی و انتخاب و ساخت مواد فلزی

عنوان :
بررسی علت ترک‌خوردگی قطعه Y شکل واحدهای کراکینگ پتروشیمی و راههای جلوگیری از آن

توسط :
علی بیضائی‌بناب

۱۰۶۰۲

اساتید راهنما :
دکتر ایوب حلوائی - دکتر احمد علی‌آماده

استاد مشاور :
دکتر عباس زارعی هنزکی

تابستان ۱۳۷۸

۲۷۸۱۸

تقدیم به:

مادر و همسرم

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول : مقدمه ۱

مقدمه ۲

فصل دوم : مروری بر منابع ۴

۲-۱ آشنائی با فولادهای ریختگی مقاوم در برابر حرارت ۵

۲-۱-۱ فولادهای آهن -کرم ۷

۲-۱-۲ فولادهای آهن -کرم - نیکل ۹

۲-۱-۳ فولادهای آهن - نیکل -کرم ۱۰

۲-۲ تاثیر عناصر مهم بر ساختار فولادهای مقاوم به حرارت نوع HP ۱۲

۲-۲-۱ تاثیر کربن ۱۲

۲-۲-۳ تاثیر نیوبیم ۱۵

۲-۲-۳ تأثیر سیلیسیم ۱۹

۲-۳ آشنائی با کوره‌های تولید اتیلن و آلیاژهای مورد استفاده در آنها ۲۰

۲-۳-۱ آشنائی با کوره‌های تولید اتیلن ۲۰

۲-۳-۲ عوامل مؤثر در افزایش عمر کوره‌ها ۲۲

۲-۳-۳ نحوه انتخاب آلیاژ برای کوره‌های تولید اتیلن ۲۴

۲-۳-۳-۱ مقاومت در برابر کربوره شدن ۲۴

۲-۳-۳-۲ مقاومت در برابر اکسیدشدن ۲۵

۲-۳-۳-۳ استحکام خزشی مناسب ۲۶

۲-۳-۳-۴ انعطاف‌پذیری در دماهای بالا ۲۸

عنوان **صفحه**

۲-۳-۳-۵ قیمت مناسب ۲۸
۲-۳-۴ آلیاژهای مورد استفاده در ساخت کوره‌های اتیلن ۲۸
۲-۳-۴-۱ آلیاژهای نوع HK ۲۸
۲-۳-۴-۲ آلیاژهای نوع HP ۲۹
۲-۳-۴-۳ آلیاژهای مخصوص ۳۰
۲-۳-۵ درجه‌بندی آلیاژهای مورد استفاده در کوره‌های اتیلن ۳۰
۲-۳-۶ پیشرفت جدید در ساخت تیوب‌ها ۳۱
۲-۴ پدیده کربوره‌شدن فولادهای مقاوم به حرارت ۳۳
۲-۵ دلایل شکست فلزات در دماهای بالا ۴۳
۲-۵-۱ طراحی ۴۳
۲-۵-۲ انتخاب مواد ۴۳
۲-۵-۳ عیوب آلیاژ پایه ۴۴
۲-۵-۴ نحوه ساخت آلیاژ ۴۴
۲-۵-۵ شرایط کارکرد قطعه ۴۴
الف) خزش ۴۵
ب) گسیختگی ناشی از تنش ۴۶
پ) خستگی در اثر سیکل‌های کم ۴۶
ت) خستگی در اثر سیکل‌های زیاد ۴۶
ث) خستگی حرارتی ۴۷
ج) بارگذاری کششی بیش از اندازه ۴۷
چ) ترکیبی از این عوامل ۴۸

عنوان **صفحه**

۲-۶ جوشکاری آلیاژهای زنگ‌نزن مقاوم در برابر حرارت ۴۸

۲-۷ جوشکاری تیوب‌ها و قطعات ریختگی در سرویس قرار داده شده ۵۳

فصل سوم: روش تحقیق ۶۰

۳-۱ معرفی قطعه Y-PIECE ۶۱

۳-۲ آزمایش‌های بررسی علت شکست ۶۴

۳-۲-۱ مشاهده ماکروسکپی و میکروسکپی قطعه ترک‌دار ۶۵

۳-۲-۲ بررسی‌های غیرمخرب ۶۶

۳-۲-۳ آنالیز شیمیایی قطعه و فازهای موجود در آن ۶۶

۳-۲-۴ آزمایشهای مکانیکی ۶۷

۳-۲-۴-۱ آزمایش کشش ۶۷

۳-۲-۴-۲ آزمایش سختی‌سنجی ۶۷

۳-۲-۴-۳ آزمایش ضربه ۶۸

۳-۲-۴-۴ آزمایش شوک حرارتی ۶۹

۳-۲-۵ بررسی ساختار ماکروسکپی قطعه ۷۰

۳-۲-۶ بررسی ساختار میکروسکپی نمونه‌ها ۷۱

۳-۲-۷ عملیات حرارتی نمونه‌ها ۷۲

۳-۲-۸ جوشکاری نمونه‌های عملیات حرارتی شده ۷۲

۳-۲-۹ تهیه نمونه‌های ریختگی ۷۳

عنوان **صفحه**

فصل چهارم : نتایج و بحث ۷۴

نتایج و بحث ۷۵

۴-۱ بررسی ترک‌های ایجاد شده ۷۵

۴-۲ متالوگرافی و آنالیزشیمیایی ۷۷

۴-۳ ساختار ماکروسکپی ۸۱

۴-۴ آزمایش‌های متالوگرافی به منظور بررسی وجود فاز سیگما ۸۲

۴-۵ بررسی ریزساختار نمونه‌های ریختگی ۸۶

۴-۵-۱ بررسی ساختار نمونه‌های ریختگی ۸۶

۴-۵-۲ بررسی ساختار نمونه‌های در سرویس قرارگرفته شده ۸۹

۴-۵-۳ بررسی ساختار نمونه‌های بازپخت شده ۹۲

۴-۶ آزمایشهای مکانیکی ۹۶

۴-۶-۱ سختی‌سنجی ۹۶

۴-۶-۲ آزمایش کشش ۹۷

۴-۶-۳ آزمایش مقاومت در برابر شوک حرارتی ۱۰۲

۴-۶-۴ آزمایش ضربه ۱۰۳

فصل پنجم : نتیجه‌گیری و پیشنهادات ۱۰۵

نتیجه‌گیری و پیشنهادات ۱۰۶

مراجع ۱۰۸

خلاصه انگلیسی ۱۱۳

فصل اول

مقدمه

مقدمه

امروزه صنایع پتروشیمی در جهان، جزء صنایع مادر و پیشرفته محسوب می‌شوند. محصولات صنعتی بسیار زیادی از طریق فرایندهای پتروشیمی، تولید می‌شوند. باتوجه به اینکه کشور ما، یک کشور نفت‌خیز است صنایع پتروشیمی می‌توانند به عنوان صنایع مکمل صنعت نفت عمل کرده و نقش بزرگی در اقتصاد کشور داشته باشند. توسعه صنایع پتروشیمی علاوه بر اینکه باعث خودکفائی کشور در مواد اولیه پلیمری خواهد شد باعث افزایش حجم صادرات کشور نیز خواهد گردید.

هیدروکربن اتیلن، فرآورده اصلی در واحد الفین پتروشیمی‌ها است که در واحدهای دیگر با توجه به فرایندهائی که روی آن انجام می‌گیرد تبدیل به انواع دیگر محصولات پتروشیمی می‌گردد. اتیلن از طریق کراکینگ نفتا در دمای بالا و توسط کوره‌های خاصی تولید می‌شود. کوره‌های کراکینگ نفتا در واقع مهم‌ترین قسمت در واحد الفین هستند و هرگونه اختلال درکارکرد کوره‌های کراکینگ نفتا، باعث افت تولید در پتروشیمی می‌گردد.

مشکل این کوره‌ها می‌تواند احتمال وقوع گسیختگی و شکست در تیوب‌ها (به لوله‌هائی که در درون کوره‌ها استفاده می‌گردد، اصطلاحاً تیوب گفته می‌شود) زانوئی‌ها و قطعات مسیر خروجی کوره، باشد و هرگونه افزایش بی‌اندازه دما، باعث بروز مشکل در این کوره‌ها خواهد شد.

عوامل گوناگونی مانند کربوره‌شدن، اکسیدشدن، خزش، خستگی حرارتی، شوک‌های حرارتی، طراحی ضعیف و بهره‌برداری نامناسب از کوره‌ها، درکارکرد آنها مؤثر خواهند بود.

در این کوره‌ها برای ساخت تیوب‌ها، زانوئی‌ها و اتصالات دیگر و قطعات مسیر خروجی کوره، از فولادهای زنگ‌نزن مقاوم در برابر حرارت استفاده می‌گردد، این فولادها از جنس آلیاژهای آهن - نیکل - کرم هستند. تیوب‌ها به طریق ریخته‌گری گریز از مرکز و

بقیه قطعات به روش‌های دیگر مانند ریخته‌گری ثابت، آهنگری و جوشکاری تولید می‌شوند.

یکی از مشکلات بزرگی که در کوره‌های پتروشیمی تبریز مشاهده می‌گردد بوجود آمدن ترک در یک قطعه مرسوم به Y-Piece در مسیر خروجی کوره‌ها است. در این تحقیق، علاوه بر اینکه به بررسی ساختار فولادهای ریختگی مقاوم در برابر حرارت مورد استفاده در کوره‌ها و عوامل مؤثر بر ساختار آنها پرداخته می‌شود، عوامل گوناگون که می‌توانند در بروز ترک در قطعه Y-Piece موثر باشند، بررسی می‌گردند.

برای تعمیر قطعات Y-Piece ترک دار، از روش جوشکاری استفاده می‌گردد. بخاطر اینکه جوش‌پذیری این قطعات بسیار کم است و احتمال وقوع مجدد ترک در زمان جوشکاری وجود دارد، راههائی برای جوشکاری موفقیت‌آمیز این قطعات، پیشنهاد می‌گردند.

فصل دوم :

مروری بر منابع

۲-۱ آشنائی با فولادهای ریختگی مقاوم در برابر حرارت

از نظر تناژ، عمده‌ترین کاربرد سوپر آلیاژهای ریختگی، در ساخت قطعات کوره‌های مورد استفاده در صنایع پتروشیمی ومتالورژیکی است. آلیاژهای پایه آهن، بطور وسیعی به این منظور استفاده می‌شوند گرچه در مواردی، از آلیاژهای پایه نیکل و پایه کبالت نیز بهره گرفته می‌شود.

سایر کاربردهای مهم این آلیاژها در تولید قطعات نیروگاههای برق، توربین‌های گازی و تجهیزات مورد استفاده در ساخت شیشه، تولید مصالح ساختمانی و صنایع شیمیایی است.

فولادهای ریختگی مقاوم در برابر حرارت جزء فولادهای زنگ‌نزن هستند و در حقیقت اغلب فولادهای مقاوم به حرارت دارای میزان نیکل و کرم بالاتری نسبت به فولادهای زنگ‌نزن معمولی، هستند. فولادهای ریختگی مقاوم در برابر حرارت، آنهائی هستند که به طور مداوم و یا متناوب در درجه حرارت‌هائی بالاتر از 650^{oc} کار می‌کنند[۳]. در انتخاب مواد مناسب برای استفاده در درجه حرارت‌های بالا، ملاحظات زیر مدنظر قرار می‌گیرد :

الف) مقاومت به خوردگی و اکسیداسیون در درجه حرارت‌های بالا

ب) دارابودن مقاومت به پیچیدگی، ترک و خستگی حرارتی

ت) مقاومت به خزش و یا مقاومت در برابر سیلان پلاستیکی[۱۴]

بعضی از این آلیاژها به خاطر مقاومت به خوردگی آنها، در درجه حرارت‌های زیر 650^{oc} نیز مورد استفاده قرار می‌گیرند.

گرچه تفاوت‌هائی بین آلیاژهای مقاوم به حرارت و آلیاژهای مقاوم به خوردگی، بسته به میزان کربن آنها وجود دارد ولی مرز جدایش آنها، بخصوص برای آلیاژهائی که در درجه حرارت ۴۸۰ تا 650^{oc} کار می‌کنند خیلی مشخص نیست.

نامگذاری فولادهای آلیاژی مقاوم در برابر حرارت توسط ACI[1] صورت گرفته و و مورد تایید ASTM[2] نیز می‌باشد. در این روش، آلیاژها بر طبق ترکیب آنها طبقه‌بندی شده و برای نامگذاری آنها از دو حرف استفاده می‌گردد. حرف اول یا H مخفف مقاوم در برابر حرارت[3] و حرف دوم بستگی به میزان کرم و نیکل دارد و با افزایش میزان نیکل، از حروف A تا Z تغییر می‌یابد. حرف A برای کمترین میزان نیکل و حرف Z برای بیشترین مقدار آن استفاده می‌شود. بطور مثال فولاد HP ، فولاد مقاوم در برابر حرارتی است که حاوی ۲۴ تا ۲۸ درصد کرم و ۳۳ تا ۳۷ درصد نیکل است[۳۰]. جدول ۲-۱ ترکیب شیمیایی و جدول ۲-۲ خواص مکانیکی در دمای اطاق بعضی از این فولادها را نشان می‌دهد.

جدول ۲-۱- ترکیب شیمیایی فولادهای ریختگی مقاوم به حرارت [۱]

Grade	Type	Composition, %							
		Carbon	Manganese, max	Silicon, max	Phosphorus, max	Sulfur, max	Chromium	Nickel	Molybdenum, max[A]
HF	19 Chromium, 9 Nickel	0.20–0.40	2.00	2.00	0.04	0.04	18.0–23.0	8.0–12.0	0.50
HH	25 Chromium, 12 Nickel	0.20–0.50	2.00	2.00	0.04	0.04	24.0–28.0	11.0–14.0	0.50
HI	28 Chromium, 15 Nickel	0.20–0.50	2.00	2.00	0.04	0.04	26.0–30.0	14.0–18.0	0.50
HK	25 Chromium, 20 Nickel	0.20–0.60	2.00	2.00	0.04	0.04	24.0–28.0	18.0–22.0	0.50
HE	29 Chromium, 9 Nickel	0.20–0.50	2.00	2.00	0.04	0.04	26.0–30.0	8.0–11.0	0.50
HT	15 Chromium, 35 Nickel	0.35–0.75	2.00	2.50	0.04	0.04	15.0–19.0	33.0–37.0	0.50
HU	19 Chromium, 39 Nickel	0.35–0.75	2.00	2.50	0.04	0.04	17.0–21.0	37.0–41.0	0.50
HW	12 Chromium, 60 Nickel	0.35–0.75	2.00	2.50	0.04	0.04	10.0–14.0	58.0–62.0	0.50
HX	17 Chromium, 66 Nickel	0.35–0.75	2.00	2.50	0.04	0.04	15.0–19.0	64.0–68.0	0.50
HC	28 Chromium	0.50 max	1.00	2.00	0.04	0.04	26.0–30.0	4.00 max	0.50
HD	28 Chromium, 5 Nickel	0.50 max	1.50	2.00	0.04	0.04	26.0–30.0	4.0–7.0	0.50
HL	29 Chromium, 20 Nickel	0.20–0.60	2.00	2.00	0.04	0.04	28.0–32.0	18.0–22.0	0.50
HN	20 Chromium, 25 Nickel	0.20–0.50	2.00	2.00	0.04	0.04	19.0–23.0	23.0–27.0	0.50
HP	26 Chromium, 35 Nickel	0.35–0.75	2.00	2.50	0.04	0.04	24–28	33–37	0.50

1 - Alloy Casting Institute

2 - American Society for Testing and Materials

3 - Heat Resistant

جدول ۲-۲- خواص مکانیکی در دمای اطاق فولادهای ریختگی مقاوم در برابر حرارت [۲].

Alloy	Condition	Tensile strength MPa	Tensile strength ksi	Yield strength MPa	Yield strength ksi	Elongation, %	Hardness, HB
HC	As cast	760	110	515	75	19	223
	Aged(a)	790	115	550	80	18	...
HD	As cast	585	85	330	48	16	90
HE	As cast	655	95	310	45	20	200
	Aged(a)	620	90	380	55	10	270
HF	As cast	635	92	310	45	38	165
	Aged(a)	690	100	345	50	25	190
HH, type 1	As cast	585	85	345	50	25	185
	Aged(a)	595	86	380	55	11	200
HH, type 2	As cast	550	80	275	40	15	180
	Aged(a)	635	92	310	45	8	200
HI	As cast	550	80	310	45	12	180
	Aged(a)	620	90	450	65	6	200
HK	As cast	515	75	345	50	17	170
	Aged(b)	585	85	345	50	10	190
HL	As cast	565	82	360	52	19	192
HN	As cast	470	68	260	38	13	160
HP	As cast	490	71	275	40	11	170
HT	As cast	485	70	275	40	10	180
	Aged(b)	515	75	310	45	5	200
HU	As cast	485	70	275	40	9	170
	Aged(c)	505	73	295	43	5	190
HW	As cast	470	68	250	36	4	185
	Aged(d)	580	84	360	52	4	205
HX	As cast	450	65	250	36	9	176
	Aged(c)	505	73	305	44	9	185

(a) Aging treatment: 24 h at 760 °C (1400 °F), furnace cool. (b) Aging treatment: 24 h at 760 °C (1400 °F), air cool. (c) Aging treatment: 48 h at 980 °C (1800 °F), air cool. (d) Aging treatment: 48 h at 980 °C (1800 °F), furnace cool.

این فولادها را می‌توان به سه گروه فولادهای آهن -کرم، آهن -کرم - نیکل و آهن - نیکل -کرم دسته‌بندی کرد.

۲-۱-۱ فولادهای آهن - کرم

آلیاژهای آهن -کرم دارای ۱۰ تا ۳ درصد کرم و بدون یا دارای مقدار ناچیزی نیکل هستند. این آلیاژها اساساً بخاطر مقاومت به اکسیداسیون تهیه می‌شوند و دارای استحکام کمی در درجه حرارت‌های بالا هستند. آلیاژهای آهن -کرم در مواردی که نیاز به مقاومت به اکسیداسیون و یا احیاء بوده و بارهای استاتیکی ضعیفی در یک دمای ثابت به قطعه وارد می‌شود کاربرد دارند. فولادهای نوع HA ، HC و HD جزء فولادهای آهن -کرم هستند. فولاد HA(۹Cr-۱Mo) بصورت گسترده در صنایع پالایش نفت و در ساخت

دمنده کوره‌ها کاربرد دارد.

فولاد HC (۲۶-۳۰Cr) در واقع مرز بین فولادهای زنگ‌نزن و سوپر آلیاژها است و دارای مقاومت عالی تا دمای ^{oc}۱۱۰۰ در مجاورت گازهای حاوی مقادیر بالای گوگرد می‌باشد. کاربرد این فولاد به مواردی محدود می‌شود که استحکام و مقاومت به ضربه زیادی، مدنظر نباشد و بیشتر در دماهای نزدیک ^{oc}۶۵۰ که فقط بارهای متوسطی وارد می‌گردد بکار می‌رود همچنین در مواردی که گوگرد محیط زیاد بوده و نمی‌توان از آلیاژ نیکل‌دار استفاده کرد و یا در جاهائی که نیکل به عنوان یک کاتالیست ناخواسته عمل کرده و باعث تخریب هیدروکربن‌ها می‌شود از این آلیاژ کمک می‌گیرند. فولاد HC در تمام درجه حرارت‌ها بصورت فریتی است. قابلیت انعطاف‌پذیری و مقاومت به ضربه آن در درجه حرارت اطاق پائین بوده و در درجه حرارت‌های بالا، استحکام خزشی کمی دارد. فولاد HC اگر به مدت زیادی در درجه حرارت ۴۰۰ تا ^{oc}۵۵۰ بماند دچار تردی خواهد شد. این فولاد ضریب انبساط حرارتی پائینی نسبت به فولادهای کربنی داشته و دارای خاصیت مغناطیسی می‌باشد.

فولاد نوع HD (۲۸Cr-۵Ni) حدوداً مشابه فولاد HC است ضمن اینکه با اضافه کردن نیکل به آن، استحکام فولاد در درجه حرارت‌های بالا افزایش یافته است. علاوه بر این بدلیل بالا بودن میزان کرم فولاد، برای محیط‌هائی که در آنها میزان گوگرد بالا باشد مناسب است. ساختار میکروسکوپی این فولاد از دو فاز آستنیت و فریت تشکیل شده است و قابلیت سختی‌پذیری ندارد. سختی این فولاد اگر در محدوده حرارتی ۷۰۰ تا ^{oc}۹۰۰ به مدت زیادی قرارگیرد به طور قابل ملاحظه‌ای افزایش یافته و چقرمگی آن در درجه حرارت اطاق بخاطر تشکیل فاز کرم - آهن (فاز سیگما) کم می‌شود. میتوان چقرمگی این آلیاژ را با حرارت دادن تا ^{oc}۹۸۰ و سپس سردکردن سریع تا زیر ^{oc}۶۵۰، مجدداً بدست آورد [۴].