

متالورژی

جوشکاری و جوش پذیری

پدیدآورنده

جان سی لیپولد

پروفسور ممتاز دانشگاه مهندسی

آتشکده مهندسی و علم مواد

دانشگاه اوماها

برگردانندگان

مرتضی شمعیان

عضو هیئت علمی دانشکده مهندسی مواد

دانشگاه صنعتی اصفهان

حسین مستعان

عضو هیئت علمی گروه مهندسی مواد و متالورژی

دانشگاه اراک



دانشگاه علمی کاربردی اراک

مرکز نشر

شماره کتاب ۱۴۸

گروه فنی و مهندسی ۶۰

متالورژی جوشکاری و جوش پذیری

پدیدآورنده:	جان سی لیپولد
برگردانندگان:	مرتضی شمعیان، حسین مستعان
ویراستار علمی و فنی:	ابراهیم حشمت دهکردی
صفحه کرا و طرح جلد:	مرضیه خردمند
لیتوگرافی، چاپ و صحافی:	چاپخانه دانشگاه صنعتی اصفهان
ناشر:	مرکز نشر دانشگاه صنعتی اصفهان
چاپ اول:	پاییز ۱۳۹۵
شمارگان:	۱۰۰۰ جلد
شابک:	۹۷۸-۶۰۰-۸۲۵۷-۰۸-۰
قیمت:	۲۳۰۰۰۰ ریال

سرشناسه	: Lippold, John C.
عنوان و نام پدیدآور	: متالورژی جوشکاری و جوش پذیری / پدیدآورنده جان سی لیپولد؛ برگردانندگان مرتضی شمعیان، حسین مستعان.
مشخصات نشر	: اصفهان: دانشگاه صنعتی اصفهان، مرکز نشر، ۱۳۹۵.
مشخصات ظاهری	: شانزده، ۴۶۰ ص.: مصور، رنگ، نمودار.
فروست	: دانشگاه صنعتی اصفهان، مرکز نشر؛ ۴۸، گروه فنی و مهندسی؛ ۶۰.
شابک	: 978-600-8257-08-0
وضعیت فهرست نویسی	: فیا
یادداشت	: عنوان اصلی: Welding metallurgy and weldability, 2015.
یادداشت	: واژه نامه.
موضوع	: فولاد ضد زنگ - جوشکاری
موضوع	: فولاد ضد زنگ - ذوب و استخراج
موضوع	: نیکل - جوشکاری
موضوع	: نیکل - ذوب و استخراج
شناسه افزوده	: مستعان، حسین، ۱۳۶۴ - مترجم
شناسه افزوده	: شمعیان، مرتضی، ۱۳۴۹ - مترجم
شناسه افزوده	: دانشگاه صنعتی اصفهان، مرکز نشر
رده بندی کنگره	: TS۲۲۷/۲J۹۴م ۱۳۹۵
رده بندی دیویی	: ۶۲۰/۱۷
شماره کتابشناسی ملی	: ۴۵۶۱۹۹

حق چاپ برای مرکز نشر دانشگاه صنعتی اصفهان محفوظ است.

اصفهان: دانشگاه صنعتی اصفهان - مرکز نشر - کدپستی ۸۳۱۱۱-۸۴۱۵۶، تلفن: ۰۱۰-۳۳۹۱۲۵۰۹ (۰۳۱) دورنگار: ۳۳۹۱۲۵۵۲ برای خرید اینترنتی کلیه کتاب‌های منتشره مرکز نشر می‌توانید به وبگاه <http://publication.iut.ac.ir> مراجعه و یا مستقیماً از کتابفروشی مرکز نشر واقع در کتابخانه مرکزی دانشگاه صنعتی اصفهان (تلفن ۳۳۹۱۳۹۵۲) خریداری فرمائید.

دیباچه

این کتاب در ادامه کتاب‌های قبلی در رابطه با متالورژی جوشکاری و جوش‌پذیری فولادهای زنگ‌نزن و آلایزهای پایه نیکل می‌باشد که به‌ترتیب در سال‌های ۲۰۰۵ و ۲۰۰۹ منتشر شده‌اند. با نگاهی به گذشته، این گونه استنباط می‌شود که این کتاب بایستی در ابتدا منتشر می‌شد زیرا این کتاب بسیاری از مباحث، متالورژیکی و جوش‌پذیری که در دو کتاب قبلی بیان شده بودند، پوشش می‌دهد. موضوع اصلی این کتاب بر پایه درسی است که من در دانشگاه ایالتی اوهایو در برنامه مهندسی جوشکاری آن سال ۱۹۸۶ تدریس کرده‌ام. مباحث به گونه‌ای طرح‌ریزی شده است که مهندسان را پیش‌پازمان لازم برای فهم مفاهیم اساسی متالورژی جوشکاری و تفسیر شکست‌ها در اجزای جوشکاری شده مهیا می‌کند.

موضوع اصلی این کتاب "جوش‌پذیری مراد" می‌باشد همان‌طور که در فصل ۱ تشریح شده است. اختلاف نظرهای بسیاری درباره اصطلاح جوش‌پذیری و موضوعات که آن را در بر می‌گیرد وجود دارد. در این کتاب، قصد بر این است که به تعریف ساز و کارهای شکست مربوط به شرایط ساخت یا شرایط سرویس پرداخته شود. به علاوه، ساز و کارهای شکست تشریح شده به ریزساختار مقاطع جوش مربوط شده و به عیوب غیر متالورژیکی مانند ذوب ناقص، تخلخل، نواقص طراحی یا دیگر مباحث مربوط به طراحی و فرآیند جوش‌پزدازد. برای خوانندگانی که تخصص کافی در متالورژی جوشکاری را ندارند، در فصل ۲ مفاهیم اولیه مفید برای درک مباحث بیان شده در فصل‌های بعدی مطرح شده‌اند.

مباحث مربوط به جوش‌پذیری به دو دسته شکست‌های ناشی از ساخت و شکست‌های مربوط به شرایط سرویس مربوط می‌شوند. فصل‌های ۳ تا ۵ به موضوعات ترک خوردن داغ، ترک خوردن گرم (حالت جامد) و ترک خوردن سرد که در حین مراحل اولیه ساخت و یا تعمیر تشکیل می‌شوند، می‌پردازد. در هریک از این فصول، ساز و کارهای اصلی ترک خوردن تشریح شده و روش‌های بازدارنده وقوع ترک خوردن بیان شده است. فصل ۶ به شکست‌های مربوط به خوردگی پرداخته شده و در فصل ۷ در رابطه با مفاهیم کلی شکست و خستگی

بحث می‌شود. در فصل ۸ توصیه‌های لازم برای آنالیز شکست بیان شده که شامل مثال‌هایی از شکست‌نگاری توسط SEM بوده که به تعیین ساز و کارهای شکست کمک شایانی می‌کند. در نهایت در فصل ۹ به تشریح برخی از روش‌های آزمون جوش‌پذیری می‌پردازد که می‌توان از آنها برای ارزیابی کمی حساسیت به انواع ترک خوردگی‌های جوش استفاده کرد. در پیوست‌ها نیز ترکیب فلزات پایه و پرکننده اشاره شده در این کتاب و روش‌های اچ کردن که برای آنالیزهای متالورژیکی مورد استفاده قرار می‌گیرد، آورده شده است.

این کتاب به چهار نفر از بزرگان جامعه بین‌المللی متالورژی جوشکاری، تقدیم شده است. **هنری گرنجنون**^۱ مدیر مدرسه جوشکاری در مؤسسه جوشکاری فرانسه بوده است و بسیاری از عاقلان اولیه متالورژی جوشکاری، به‌ویژه در رابطه با فولادها را بیان کرده است. او همچنین به خاطر توسعه آزمون ایمپلنت برای ارزیابی ترک خوردن هیدروژنی که همچنان نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد، اعتبار و شهرت زیادی کسب کرده است. من تاکنون لذت ملاقات با هنری گرنجنون را تجربه نکرده‌ام اما به واسطه کارهای او و شهرت او به من الهام شده است.

تروور گوج^۲ از مؤسسه جوشکاری در هلستان یک متالورژیست با استعداد بود که در زمینه خوردگی و تردی هیدروژنی نیز تخصص بسیار داشت. اولین رویارویی من با تروور در جلسه سالیانه AWS در سال ۱۹۷۸ بود. من در بسیاری از موارد با او برخورد داشتم و خوش‌تیپ که گوج از TWI بود، بتوانم سوالی بپرسم. من به این نتیجه رسیدم که او را به خوبی شناخته‌ام و او را یک فرد کاملاً متواضع و نجیب یافته‌ام که عاشق جوشکاری و جوشکاران بود و علاقه بسیار شدیدی به متالورژی جوشکاری داشت.

وارن اف ساواژ^۳ بدون شک پدر متالورژی جوشکاری پیشرفته می‌باشد. از سال‌های ۱۹۵۰ تا ۱۹۷۰ او و دانشجویان او زمینه متالورژی جوشکاری را تعریف نموده و بسیاری از اصولی را که امروزه وجود دارد، منتشر نمودند. من زمانی که یک دانشجوی دوره کارشناسی بودم در مؤسسه پلی‌تکنیک رنسلر او را ملاقات نمودم که پس از مانور کوچکی من را به‌عنوان دانشجوی کارشناسی ارشد خویش پذیرفت. این لحظه سرآغاز یک رابطه طولانی به اندازه یک عمر بود. او به‌عنوان استاد راهنما و مربی من شد و به من آموخت که چگونه می‌توان از خوردن نوشیدنی در طول زندگی لذت برد. من روش او را در برخورد با دانشجویان تحصیلات تکمیلی انتخاب کردم که به دانشجویان اجازه می‌داد به طور خلاقانه بیندیشند. ساواژ تأثیر شگرفی بر زندگی حرفه‌ای من داشت.

۱- Henry Granjon

۲- Trevor Gooch

۳- Warren F. "Doc" Savage

فوکوهیسا ماتسودا^۱ عضو هیأت علمی تمام وقت دانشگاه اوزاکا بود اما یک سال را در آزمایشگاه متالورژی جوشکاری RPI گذراند. تحقیقات او مفاهیم پایه‌ای پیشنهاد شده توسط ساواژ را به واسطه استفاده از آزمون‌های جوش‌پذیری و مشخصه‌یابی‌های پیشرفته گسترش داد. پیشرفت قابل ملاحظه او توسعه مفاهیم پایه‌ای ترک خوردن انجمادی جوش بود که هنوز هم به طور گسترده پذیرفته شده است. روحیه پژوهش او تحسین برانگیز بود و تفکرات من را به شدت تحت تأثیر قرار داد. در این کتاب به بسیاری از تحقیقات او ارجاع داده شده است.

من همچنین تمایل دارم که در رابطه با دانشجویانی که درسی را که مبنای آن این کتاب است، اخذ نموده‌اند، صحبتی داشته باشم. نیاز است که دانشجویان مقالات مروری مربوط به جنبه‌های مختلف جوش‌پذیری را تهیه کنند. زمانی که من این کتاب را نگارش می‌کردم، این مقالات منابع بسیار ارزشمند برای من بودند و من متواضعانه از دانشجویانی که سخت‌کوش هستند، سپاسگزارم.

من همچنین تمایل دارم از بسیاری از دانشجویان حال حاضر تحصیلات تکمیلی خود و پسا دکتري خود که من را در تهیه این کتاب یاری نمودند، به‌ویژه در آماده‌سازی تصاویر ریزساختاری و دیگر شکل‌هایی که بر روی اصول متالورژی جوشکاری و جوش‌پذیری مورد استفاده قرار گرفته‌اند، تشکر نمایم. به طور ویژه از ژولی فنگ^۲، ژین یو^۳، آدام هوب^۴ و دیوید تانگ^۵ قدردانی می‌نمایم.

از دانشجویان حال حاضر و قبلی خود که در خارج ساعت کاری خود به بازخوانی و مرور فصل‌های کتاب پرداختند تشکر می‌نمایم. این نفرات آدام هوب^۴ و دیوید تانگ^۵ (دانشجویان دکتري دانشگاه ایالتی اوهایو)، جف سوارد^۶ (NIST)، جرمی کارن^۷، سز نورتون^۸ (BP)، ژین یو^۹ (اکسون موبیل)، مورگان گلگهر^{۱۰} (شل) و (مؤسسه بین‌المللی هاینس) و میکال بالمفورث^{۱۱} (گروه مواد و متالورژی LLC) می‌باشند. مرور متفکرانه و دقیق آنها منجر به بهبود هرچه بیشتر این کتاب شد.

در پایان، از دانشگاه ایالتی اوهایو برای فراهم آوردن فرصت و حمایت برای تهیه این کتاب تشکر می‌نمایم. بسیاری از کارهای این کتاب در خلال یک دوره حرفه‌ای فرصت

۱- Fukuhisa Matsuda

۲- Xiuli Feng

۳- Xin Yue

۴- Adam Hope

۵- David Tung

۶- Adam Hope

۷- David Tung

۸- Jeff Sowards

۹- Jeremy Caron

۱۰- Seth Norton

۱۱- Xin Yue

۱۲- Morgan Gallagher

۱۳- Mikal Balmforth

مطالعاتی که هر عضو هیأت علمی هر هفت سال یک بار به طور دلخواه از آن استفاده می‌نماید، نگارش شده است. بدون داشتن این فرصت، کامل نمودن این کتاب در شرایط عادی آموزش و تدریس بسیار مشکل بود. به طور ویژه از رئیس دانشکده، رادی باجیت^۱، که بسیار حامی من بود، تشکر می‌نمایم.

جان سی لیپولد

پروفسور ممتاز دانشگاه مهندسی

دانشکده مهندسی و علم مواد

دانشگاه ایالتی اوهایو

پیشگفتار مترجمان

خداوند را سپاس گوئیم که به ما این توانایی را عطا نمود که بتوانیم به ترجمه کتاب "متالورژی جوشکاری و جوش پذیری" نوشته پروفیسور جان سی لیپولد استاد دانشگاه ایالتی اوهایو همت گماریم. از نویسندگان این کتاب چندین کتاب، اختراع و صدها مقاله در زمینه جوشکاری به ثبت رسیده است.

اگرچه کتاب های زیادی در زمینه های مختلف جوشکاری توسط محققین و مترجمین در کشور به چاپ رسیده، اما نروم دست یابی به کتابی جامع و کامل در زمینه متالورژی جوشکاری و جوش پذیری کاملاً احساس می شد. این کتاب از تاریخ انتشار آن در سال ۲۰۱۵ میلادی مرجع بسیاری از تحقیقات قرار گرفته است. زینت عمده این کتاب، بررسی مباحث متالورژی فیزیکی، متالورژی جوشکاری و جوش پذیری با دید عمیق علمی است.

مترجمان کتاب در برگرداندن مفاهیم از انگلیسی به فارسی از فرهنگ گران بهای جوشکاری تألیف آقایان مهندس پرویز فرهنگ، دکتر امیرحسین کوک و مهندس عبدالوهاب آوازه و کتاب هزار واژه علوم مهندسی فرهنگستان زبان و ادب فارسی بهره فراوانی گرفته اند. چون ترجمه حاضر نخستین ویرایش است که به چاپ می رسد، احتمالاً در چند اشکالات در متن وجود دارد. بنابراین از خوانندگان محترم درخواست می گردد که نظرات اصلاحی خود را به هر نحو و ترجیحاً از طریق پست الکترونیکی به آدرس shamanian@ut.ac.ir یا h-mostaan@araku.ac.ir به اطلاع مترجمان برسانند تا در چاپ های بعدی در نظر گرفته شود.

مترجمان بر خود لازم می دانند از زحمات بی دریغ مدیریت محترم و کارکنان مرکز نشر دانشگاهی واحد صنعتی اصفهان در زمینه انتشار کتاب تشکر نمایند. مترجمان از خانواده های خود به خاطر همراهی، همدلی، عشق و علاقه آنان در تمام مراحل زندگی سپاسگزاری می نمایند.

حسین مستعان

مرتضی شمعیان

عضو هیئت علمی دانشکده مهندسی مواد عضو هیئت علمی گروه مهندسی مواد و متالورژی

دانشگاه اراک

دانشگاه صنعتی اصفهان

فهرست مطالب

۱	مقدمه
۵	۱-۱ عیوب مربوط به ساخت
۶	۲-۱ عیوب مربوط به ویس
۷	۳-۱ جلوگیری و کنترل عیوب
۷	منابع مورد استفاده
۹	۲: اصول متالورژی جوشکاری
۹	۱-۲ مقدمه
۱۰	۲-۲ مناطق یک جوش ذوبی
۱۳	۳-۲ ناحیه ذوب
۱۶	۲-۳-۱ انجماد فلزات
۱۸	۳-۲-۱-۱ پارامترهای انجماد
۱۹	۳-۲-۱-۲ جوانه زنی انجماد
۲۲	۳-۲-۱-۳ حالت های انجماد
۲۵	۳-۲-۱-۴ پایداری فصل مشترک
۲۷	۳-۲-۲ جنبه های ماکروسکوپی انجماد جوش
۳۲	۳-۲-۲-۱ اثر سرعت جوشکاری و شیب دمایی
۳۵	۳-۲-۲-۲ جنبه های میکروسکوپی انجماد جوش
۳۶	۳-۲-۲-۱-۱ مرز دانه های فرعی انجمادی (SSGBs)
۳۷	۳-۲-۲-۲-۱ مرز دانه های انجمادی (SGB)
۳۷	۳-۲-۲-۲-۲ مرز دانه های مهاجرت کرده (MGB)
۳۸	۳-۲-۲-۴ توزیع مجدد عنصر حل شونده

۹۳	 ۲-۱-۲-۳ تنوری کرنش
۹۴	 ۳-۱-۲-۳ تنوری جامع
۹۵	 ۴-۱-۲-۳ تنوری جامع اصلاح شده
۹۷	 ۵-۱-۲-۳ تنوری استحکام تکنولوژیکی
۹۸	 ۶-۱-۲-۳ تفسیر تنوری‌های ترک خوردن انجمادی
۱۰۰	 ۲-۲-۳ پیش‌بینی تأثیر عناصر
۱۰۴	 ۳-۲-۳ BTR و محدوده دمایی ترک خوردن انجمادی
۱۱۰	 ۴-۳ فاکتورهای تأثیرگذار بر ترک خوردن انجمادی جوش
۱۱۰	 ۱-۴-۲-۱ کنترل ترکیب
۱۱۹	 ۲-۴-۲-۱ لایه‌های نازک مذاب مرزخانه‌ای
۱۲۰	 ۳-۲-۳ ترک مرز
۱۲۲	 ۵-۲-۳ شناسایی ترک خوردن انجمادی جوش
۱۲۸	 ۶-۲-۳ جلوگیری از ترک خوردن انجمادی
۱۲۹	 ۳-۳ ترک خوردن ذوبی
۱۲۹	 ۱-۳-۳ HAZ ترک خوردن ذوبی
۱۳۲	 ۲-۳-۳ ترک خوردن ذوبی فلز جوش
۱۳۳	 ۳-۳-۳ متغیرهای تأثیرگذار بر حساسیت به ترک خوردن ذوبی
۱۳۳	 ۱-۳-۳-۳ ترکیب شیمیایی
۱۳۴	 ۲-۳-۳-۳ اندازه دانه
۱۳۵	 ۳-۳-۳-۳ عملیات حرارتی فلز پایه
۱۳۶	 ۴-۳-۳-۳ حرارت ورودی جوش و انتخاب فلز پرکننده
۱۳۶	 ۴-۳-۳ شناسایی HAZ و ترک‌های ذوبی فلز جوش
۱۳۸	 ۵-۳-۳ ممانعت از ترک خوردن ذوبی
۱۳۹	 منابع مورد استفاده

۴: ترک خوردن حالت جامد..... ۱۴۱

۱۴۱	 ۱-۴ مقدمه
۱۴۱	 ۲-۴ ترک خوردن ناشی از افت انعطاف‌پذیری
۱۴۶	 ۱-۲-۴ ساز و کارهای پیشنهادی
۱۵۲	 ۲-۲-۴ جمع‌بندی عوامل تأثیرگذار بر DDC

۱۵۵	۳-۲-۴ اندازه گیری ترک خوردن ناشی از انعطاف پذیری
۱۵۸	۴-۲-۴ شناسایی ترک های ناشی از افت انعطاف پذیری
۱۶۰	۵-۲-۴ جلوگیری از DDC
۱۶۲	۳-۴ ترک خوردن بازگرمایشی
۱۶۴	۱-۳-۴ ترک خوردن بازگرمایشی در فولادهای کم آلیاژ
۱۷۰	۲-۳-۴ ترک خوردن بازگرمایشی در فولادهای زنگنزن
۱۷۴	۳-۳-۴ ترک خوردگی زیر روکش
۱۷۶	۴-۲-۴ ترک خوردن ناشی از آزاد شدن تنش ها
۱۷۷	۵-۱-۴ شناسایی ترک خوردن بازگرمایشی
۱۸۰	۶-۱-۴ ارزیابی حساسیت به ترک خوردن بازگرمایشی
۱۸۲	۷-۳-۴ جلوگیری از ترک خوردن بازگرمایشی
۱۸۶	۴-۴ ترک خوردن پیرکرشی
۱۸۹	۱-۴-۴ ساز و کار ترک خوردن پیرکرشی
۱۹۶	۲-۴-۴ عوامل تأثیرگذار بر حساسیت به SAC
۱۹۶	۱-۲-۴-۴ ترکیب شیمیایی
۱۹۸	۲-۲-۴-۴ اندازه دانه
۱۹۸	۳-۲-۴-۴ تنش پسماند و مهار
۲۰۰	۴-۲-۴-۴ دستورالعمل جوشکاری
۲۰۱	۵-۲-۴-۴ اثر عملیات حرارتی
۲۰۳	۳-۴-۴ ارزیابی حساسیت به ترک خوردن ناشی از پیرکرشی
۲۱۱	۴-۴-۴ شناسایی ترک خوردگی ناشی از پیرکرشی
۲۱۱	۵-۴-۴ جلوگیری از ترک خوردن پیرکرشی
۲۱۳	۵-۴ ترک خوردن لایه ای
۲۱۳	۱-۵-۴ ساز و کار ترک خوردن لایه ای
۲۱۷	۲-۵-۴ ارزیابی ترک خوردن لایه ای
۲۲۱	۳-۵-۴ شناسایی ترک خوردن لایه ای
۲۲۲	۴-۵-۴ ممانعت از ترک خوردن لایه ای
۲۲۴	۶-۴ ترک خوردن ناشی از آلودگی مس
۲۲۵	۱-۶-۴ ساز و کار ترک خوردن ناشی از آلودگی مس
۲۲۷	۲-۶-۴ ارزیابی ترک خوردن ناشی از آلودگی مس

۲۲۹	۳-۶-۴ شناسایی ترک خوردن ناشی از آلودگی مس
۲۳۰	۴-۶-۴ ممانعت از ترک خوردن ناشی از آلودگی مس
۲۳۲	منابع مورد استفاده

۵: ترک خوردن هیدروژنی

۲۳۹	۱-۵ مقدمه
۲۴۰	۲-۵ تئوری های تردی هیدروژنی
۲۴۳	۲-۵ تئوری فشار صفحه ای
۲۴۳	۲-۵ تئوری جذب سطحی
۲۴۳	۳-۲-۵ تئوری از هم گستگی
۲۴۵	۴-۲-۵ تئوری پلاستیسیته موضعی تقویت شده توسط هیدروژن
۲۴۵	۵-۲-۵ مدل شدت کشش پیچش
۲۴۷	۳-۵ عوامل تأثیرگذار بر HIC
۲۴۸	۱-۳-۵ هیدروژن در جوش ها
۲۵۱	۲-۳-۵ تأثیر ریزساختار
۲۵۷	۳-۳-۵ مهار
۲۵۸	۴-۳-۵ دما
۲۵۸	۴-۵ ارزیابی حساسیت به HIC
۲۵۹	۱-۴-۵ روش جامینی و کوئنج
۲۶۲	۲-۴-۵ آزمون شدت حرارت کنترل شده
۲۶۳	۳-۴-۵ آزمون شیار Y (آزمون تکن)
۲۶۵	۴-۴-۵ آزمون جوش بر صفحه شیاردار
۲۶۶	۵-۴-۵ آزمون ایمپلنت
۲۷۲	۶-۴-۵ آزمون ترک خوردگی مهار کششی
۲۷۳	۷-۴-۵ آزمون ترک خوردگی کرنش مضاعف
۲۷۶	۵-۵ شناسایی HIC
۲۷۹	۶-۵ جلوگیری از HIC
۲۸۲	۱-۶-۵ روش CE
۲۸۴	۲-۶-۵ روش AWS
۲۹۰	منابع مورد استفاده

۶: خوردگی..... ۲۹۵

۲۹۵	۱-۶ مقدمه.....
۲۹۵	۲-۶ انواع خوردگی.....
۲۹۶	۱-۲-۶ خوردگی یکنواخت.....
۲۹۷	۲-۲-۶ خوردگی گالوانیکی.....
۳۰۰	۳-۲-۶ خوردگی شبیری.....
۳۰۰	۴-۲-۶ جدایش انتخابی.....
۳۰۰	۵-۲-۶ خوردگی سایشی.....
۳۰۱	۶-۲-۶ حفره دار شدن.....
۳۰۵	۷-۲-۶ خوردگی پitting.....
۳۰۹	۱-۲-۶ خوردگی از حساس شدن.....
۳۱۰	۲-۷-۲-۶ خوردگی در مارچاقه.....
۳۱۱	۳-۷-۲-۶ حساس شدن در دما پایین.....
۳۱۱	۸-۲-۶ ترک خوردن خوردگی.....
۳۱۵	۹-۲-۶ خوردگی میکروبی.....
۳۱۷	۳-۶ آزمون خوردگی.....
۳۱۷	۱-۳-۶ آزمون های خوردگی اتمسفری.....
۳۱۸	۲-۳-۶ آزمون های غوطه وری.....
۳۲۰	۳-۳-۶ آزمون های الکتروشیمیایی.....
۳۲۲	منابع مورد استفاده.....

۷: شکست و خستگی..... ۳۲۳

۳۲۳	۱-۷ مقدمه.....
۳۲۵	۲-۷ شکست.....
۳۲۹	۳-۷ ارزیابی چقرمگی شکست.....
۳۳۳	۴-۷ خستگی.....
۳۴۱	۵-۷ ارزیابی رفتار خستگی.....
۳۴۲	۶-۷ شناسایی ترک خوردن خستگی.....
۳۴۳	۱-۶-۷ علانم ساحلی.....
۳۴۴	۲-۶-۷ خطوط رودخانه ای.....

۳۴۴	 ۳-۷-۷ خطوط خستگی
۳۴۶	 ۷-۷ ممانعت از شکست خستگی
۳۴۶	 منابع مورد استفاده

۸: آنالیز شکست..... ۳۴۷

۳۴۷	 ۱-۸ مقدمه
۳۴۸	 ۲-۸ شکست‌نگاری
۳۴۸	 ۲-۸ تاریخچه شکست‌نگاری
۳۵۰	 ۲-۱۰ SEM
۳۵۲	 ۳-۲-۸ حالت‌های شکست
۳۵۷	 ۴-۲-۸ شکست‌زگی شکست‌های جوش
۳۵۷	 ۴-۲-۸ ۱- ترک خوردن انجمادی
۳۵۹	 ۴-۲-۸ ۲- ترک خوردن ریبی
۳۶۲	 ۴-۲-۸ ۳- ترک خوردن ناشی از افت انعطاف‌پذیری
۳۶۵	 ۴-۲-۸ ۴- ترک خوردن بارگرایشی
۳۶۵	 ۴-۲-۸ ۵- ترک خوردن ناشی از پی‌ریشی
۳۶۷	 ۴-۲-۸ ۶- ترک خوردن هیدروژنی
۳۶۹	 ۳-۸ راهنمای مهندسی آنالیز شکست
۳۷۰	 ۱-۳-۸ مشاهده محل
۳۷۱	 ۲-۳-۸ جمع‌آوری اطلاعات اصلی
۳۷۲	 ۳-۳-۸ نمونه‌برداری و دستورالعمل آزمون
۳۷۳	 ۴-۳-۸ نمونه‌برداری، تمیزکاری و نگهداری
۳۷۴	 ۵-۳-۸ آنالیز شیمیایی
۳۷۵	 ۶-۳-۸ آنالیز ماکروسکوپی
۳۷۵	 ۷-۳-۸ انتخاب نمونه‌ها برای آنالیز میکروسکوپی
۳۷۶	 ۸-۳-۸ انتخاب روش‌های آنالیز
۳۷۷	 ۹-۳-۸ آزمون مکانیکی
۳۷۷	 ۱۰-۳-۸ آزمون‌های شبیه‌ساز
۳۷۸	 ۱۱-۳-۸ روش‌های ارزیابی غیرمخرب
۳۷۸	 ۱۲-۳-۸ ارزیابی بی‌نقصی سازه

۳۷۸	 مشاوره با متخصصان
۳۷۹	 گزارش نهایی
۳۸۰	 گواهی متخصص در تأیید حکم قضایی
۳۸۱	 منابع مورد استفاده
۳۸۳	 ۹: آزمون جوش پذیری
۳۸۳	 ۱-۹ مقدمه
۳۸۵	 ۲-۹ انواع روش های آزمون جوش پذیری
۳۸۵	 ۳-۹ آزمون و ارسترینت
۳۸۷	 ۱-۲-۹ روش ارزیابی کمی حساسیت به ترک خوردن انجمادی
۳۹۲	 ۲-۳-۹ روش ارزیابی کمی ترک خوردن ذوبی HAZ
۳۹۵	 ۴-۹ آزمون بازگرمایی در سختگی
۳۹۹	 ۵-۹ آزمون انعطاف پذیری دایره
۴۰۴	 ۶-۹ آزمون کرنش تا شکست
۴۰۶	 ۷-۹ آزمون ترک بازگرمایی
۴۱۰	 ۸-۹ آزمون ایمپلنت برای ترک خوردن هیدروژنی HAZ
۴۱۱	 ۹-۹ آزمون گرده جوش روی صفحه شکست دایره برای
۴۱۴	 ۱۰-۹ دیگر آزمون های جوش پذیری
۴۱۵	 منابع مورد استفاده
۴۱۷	 پیوست الف: ترکیب شیمیایی فولادهای انتخاب شده
۴۱۹	 پیوست ب: ترکیب شیمیایی اسمی فولادهای زنگ نزن
۴۲۹	 پیوست ج: ترکیب شیمیایی آلیاژهای پایه نیکل
۴۳۵	 پیوست د: روش های اچ کردن
۴۴۵	 واژه نامه
۴۵۷	 واژه یاب