

# متالورژی جوشکاری

(ویرایش سوم)

پدیدآورنده

سیندو کو

استاد دانشکده علم و مهندسی مواد  
دانشگاه ویسکانسین

برگردانندگان

مرتضی شمعیان

استاد دانشکده مهندسی مواد  
دانشگاه صنعتی اصفهان

علی اشرفی

دانشیار دانشکده مهندسی مواد  
دانشگاه صنعتی اصفهان



متالورژی جوشکاری (ویرایش سوم)

|                         |                                   |
|-------------------------|-----------------------------------|
| پدیدآورنده:             | سیندو کو                          |
| برگردانندگان:           | دکتر مرتضی شمعیان، دکتر علی اشرفی |
| ویراستار علمی:          | دکتر احمد ساعتچی                  |
| ویراستار ادبی:          | آتوسا سعادت                       |
| حروف چینی و صفحه آرایی: | زحل شیروانی                       |
| ناشر:                   | انتشارات دانشگاه صنعتی اصفهان     |
| لیتوگرافی، چاپ و صحافی: | چاپخانه دانشگاه صنعتی اصفهان      |
| چاپ هفتم:               | پاییز ۱۴۰۲                        |
| شمارگان:                | ۱۰۰ جلد                           |
| شابک:                   | ۹۷۸-۹۶۴-۸۴۷۶-۸۵-۹                 |
| قیمت:                   | ۳۵۰۰۰۰۰ ریال                      |

  

|                     |                                                                                                                        |
|---------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| سرشناسه             | Koh, Sindo                                                                                                             |
| عنوان و نام پدیدآور | متالورژی جوشکاری، تالیف سیندو کو؛ ترجمه مرتضی شمعیان، علی اشرفی؛ ویراستار علمی احمد ساعتچی؛ ویراستار ادبی آتوسا سعادت. |
| وضعیت ویراست        | ویرایش دوم                                                                                                             |
| مشخصات نشر          | اصفهان: دانشگاه صنعتی اصفهان، انتشارات / ۱۳۹۳.                                                                         |
| مشخصات ظاهری        | شانه زده / ۵۶۳ ص. مصور، جدول، نمودار.                                                                                  |
| فروست               | دانشگاه صنعتی اصفهان، انتشارات: گروه فنی و مهندسی؛ ۵۲.                                                                 |
| شابک                | ۹۷۸-۹۶۴-۸۴۷۶-۸۵-۹                                                                                                      |
| وضعیت فهرست نویسی   | فیا                                                                                                                    |
| یادداشت             | عنوان اصلی: Welding metallurgy, 2nd ed, c2003.                                                                         |
| یادداشت             | چاپ چهارم.                                                                                                             |
| یادداشت             | کتاب حاضر در سال‌های مختلف توسط ناشرین متفاوت منتشر شده است.                                                           |
| موضوع               | جوشکاری                                                                                                                |
| موضوع               | متالورژی                                                                                                               |
| موضوع               | آلیاژها                                                                                                                |
| شناسه افزوده        | شمعیان، مرتضی، ۱۳۴۹، مترجم                                                                                             |
| شناسه افزوده        | اشرفی، علی، ۱۳۵۵، مترجم                                                                                                |
| شناسه افزوده        | ساعتچی، احمد، ۱۳۳۲، ویراستار                                                                                           |
| شناسه افزوده        | دانشگاه صنعتی اصفهان، انتشارات                                                                                         |
| رده بندی کنگره      | ۱۳۹۳ م ۸۷/ک ۲۲۲۷ TS                                                                                                    |
| رده بندی دیویی      | ۵۲/۶۷۱                                                                                                                 |
| شماره کتابشناسی ملی | ۳۴۸۲۳۴۴                                                                                                                |

حق چاپ برای انتشارات دانشگاه صنعتی اصفهان محفوظ است.

اصفهان: دانشگاه صنعتی اصفهان - انتشارات - کدپستی ۸۳۱۱۱-۸۴۱۵۶، تلفن: ۳۳۹۱۲۹۵۲ (۰۳۱) دورنگار: ۳۳۹۱۲۵۵۲ (۰۳۱)  
 برای خرید اینترنتی کلیه کتاب‌های منتشره انتشارات می‌توانید به وبگاه <http://publication.iut.ac.ir> مراجعه و یا  
 مستقیماً از کتابفروشی انتشارات واقع در کتابخانه مرکزی دانشگاه صنعتی اصفهان (تلفن ۳۳۹۱۲۹۵۲) خریداری فرمائید.

## دیباچه

از زمان انتشار اولین ویرایش این کتاب در سال ۱۹۸۷، پیشرفت‌های زیادی در زمینه متالورژی جوشکاری صورت گرفته است. هدف از انتشار ویرایش دوم، به روز کردن و بهینه‌سازی ویرایش اول آن است. مثال‌هایی از این تغییرات عبارتند از (۱) میکروگراف‌ها، عکس‌ها، و نمودارهای واضح‌تر، (۲) همراه کردن دیاگرام‌های فاز، سیکل‌های حرارتی، و سینتیک با ریزساختار به منظور بررسی ریزساختار و تشکیل عیوب در جوش و (۳) مسائل و تمرینات اضافی، اصلاحات خاص صورت گرفته در این ویرایش به شرح زیر می‌باشد:

در فصل (۱)، شکل‌های مربوط به تمامی فرایندهای جوشکاری به منظور نشان دادن توانمندی فرایند مربوطه به طور کلی و منطقه جوش، مجدداً رسم شده است. در فصل ۲ بازده منبع حرارتی به روز شده و بازده ذوب اضافه شده است. فصل ۳ به میزان زیادی تغییر یافته و انحلال نیتروژن، اکسیژن و هیدروژن اتمی در فلز مذاب بررسی شده و همچنین واکنش‌های الکتروشیمیایی اضافه شده است. فصل ۴ نیز تغییرات زیادی یافته به نحوی که قوس اضافه شده و مشاهده سیلان، کشیده شدن قوس پلاسما و اغتشاش به بخش جابه‌جایی در حوضچه جوش اضافه شده است. عملیات ساچمه‌زنی نیز به فصل ۵ اضافه شده است.

فصل ۶ نیز با تغییرات زیادی روبه‌رو بوده، در مورد توزیع مجدد عنصر حل‌شونده و ریزجدایش توضیح بیشتری داده شده و مسیر انجماد اضافه شده است. فصل ۷ از این ویرایش شامل رشد غیر اپی‌تکسیال در مرز ذوب و تشکیل دانه‌های هم‌محور غیر دندردیتی می‌گردد. در فصل ۸ حالت‌های انجماد با تصاویر بیشتری توضیح داده شده است. فصل ۹ بسط بیشتری یافته تا مکانیزم‌های تشکیل فریت، روش‌های جدید پیش‌بینی میزان فریت، اثر نرخ سرد شدن و فاکتورهای مؤثر بر استحاله آستنیت - فریت را شامل شود. فصل ۱۰ اثر نفوذ حالت جامد و مادون انجماد نوک دندردیت بر ریزجدایش را در برمی‌گیرد. فصل ۱۱ با تغییرات زیاد، اثر واکنش‌های یوتکتیک، توزیع مذاب، و انعطاف‌پذیری فلز انجماد یافته بر ترک خوردن حین انجماد و محاسبه جزء مذاب در آلیاژ چند جزئی را نیز در برمی‌گیرد.

فصل ۱۲ به طور کامل بازنویسی شده است تا شش مکانیزم مختلف مایع شدن در منطقه

ذوب جزئی شده<sup>۱</sup>، جهت و حالت‌های انجماد مرزدانه و جدایش حاصل در مرزدانه را شامل شود. فصل ۱۳ نیز با تغییراتی، مکانیزم ترک خوردن در منطقه ذوب جزئی شده و اثر ترکیب فلز جوش بر ترک خوردن را در برمی‌گیرد.

فصل ۱۵ نیز شامل مناطق تأثیر پذیرفته از حرارت<sup>۲</sup> در جوشکاری آلومینیم - لیتیم - مس و در جوشکاری اصطکاکی می‌گردد. در فصل ۱۶ نیز منطقه تأثیر پذیرفته از حرارت در جوش اینکونل ۷۱۸<sup>۳</sup> اضافه شده است. در فصل ۱۷ اثر جوشکاری چند پاسی<sup>۴</sup> و ترک خوردن در اثر حرارت مجدد و در فصل ۱۸ کاهش میزان کروم مرزدانه‌ها در فولادهای زنگ‌نزن آستنیتی حساس شده نیز بررسی شده است.

نویسنده از آکادمی ملی علوم<sup>۵</sup> و از ناسا (NASA) به دلیل حمایت آنها از تحقیقات جوشکاری که از آن تحقیقات این کتاب حاصل شده است کمال تشکر را دارد. هم‌چنین از انجمن جوشکاری آمریکا<sup>۶</sup> و انجمن مواد آمریکا<sup>۷</sup> به دلیل اجازه کپی جهت استفاده از برخی از مطالب آنها تشکر می‌نماید. در نهایت از سی - هانگ،<sup>۸</sup> جی - کانو،<sup>۹</sup> سی - لیما وینیچر،<sup>۱۰</sup> اچ - دی - لو،<sup>۱۱</sup> کین<sup>۱۲</sup> و تی - تانتانوات<sup>۱۳</sup> به دلیل تهیه مطالب فنی، درخواست اجازه چاپ، و ویراستاری مطالب کمال تشکر را دارد.

سیندو کو

پروفسور و رئیس دانشکده علم و مهندسی مواد

دانشگاه ویسکونسین

۱-Partially Melted Zone (PMZ)  
۳-Inconel 718  
۵-National Science Foundation  
۷-American Society for Metals (ASM)  
۹-G. Gao  
۱۱-H. D. Lu  
۱۳-T. Tantanawat

۲-Heat - Affected Zone (HAZ)  
۴-Multi-Pass Welding  
۶-American Welding Society (AWS)  
۸-C. Huang  
۱۰-C. Limmaneevichitr  
۱۲- K. W. Keehn

## پیشگفتار مترجمان

خداوند را سپاس گوئیم که به ما این توانایی را عطا نمود که بتوانیم به ترجمه ویرایش دوم کتاب "متالورژی جوشکاری" نوشته پروفیسور سیندو کو" همت گماریم. پروفیسور سیندو کو استاد دانشکده مهندسی و علم مواد در دانشگاه ویسکونسین - مدیسون ایالات متحده آمریکا می باشد. ایشان دوره کارشناسی را در دانشگاه ملی تایوان در رشته شیمی، دوره کارشناسی ارشد را در دانشگاه ویسکونسین در رشته مهندسی مواد و دوره دکترا را در دانشگاه MIT در رشته متالورژی سپری نموده اند. از وی ۴ عنوان کتاب، چندین اختراع و دهها مقاله در زمینه جوشکاری به ثبت رسیده است.

اگرچه کتاب های زیادی در زمینه های مختلف جوشکاری توسط محققین و مترجمین متعدد در کشور به چاپ رسیده است، اما لزوم دستیابی به کتابی جامع و کامل در زمینه جوشکاری از دیدگاه متالورژیکی کاملاً احساس می شد. این کتاب از تاریخ اولین انتشار آن در سال ۱۹۸۷ مرجع بسیاری از تحقیقات و دیگر کتاب ها قرار گرفته است. همچنین در بسیاری از دانشگاه های سراسر دنیا مورد تدریس قرار گرفته است. مزیت عمده این کتاب، بررسی جوشکاری ذوبی بسیاری از فلزات و آلیاژها با دید عمیق متالورژیکی می باشد.

مترجمان کتاب در برگرداندن مفاهیم از انگلیسی به فارسی از فرهنگ گرانهای جوشکاری تالیف آقایان مهندس پرویز فرهنگ، دکتر امیرحسین کوکی و مهندس عبدالوهاب ادب آوازه بهره فراوانی گرفته اند. کتاب حاضر بر اساس چندین مرحله بازخوانی و مطابقت با متن اصلی و همچنین نظرات ارزشمند مدرسین کتاب و دانشجویان به چاپ رسیده است. با این وجود از کلیه خوانندگان محترم درخواست می شود که نظرات اصلاحی خود را به هر صورت ممکن و ترجیحاً از طریق پست الکترونیکی به آدرس [shamanian@iut.ac.ir](mailto:shamanian@iut.ac.ir) و [ashrafi@iut.ac.ir](mailto:ashrafi@iut.ac.ir) به اطلاع مترجمان برسانند تا در چاپ های بعدی در نظر گرفته شود.

مترجمان برخود لازم می دانند از توجهات، پیشنهادات و دقت نظر زایدالوصف ویراستار علمی کتاب جناب آقای پروفیسور احمد ساعتچی، کمال قدردانی را به عمل آورند. همچنین از

زحمات بی دریغ مدیریت محترم و کارکنان مرکز نشر دانشگاه صنعتی اصفهان تشکر و قدردانی می‌نمایند. مترجمان از همسر و فرزندان خود بخاطر همراهی، همدلی، عشق و علاقه آنان در تمام مراحل زندگی سپاسگزاری می‌نمایند.

مرتضی شمعیان

استاد دانشکده مهندسی مواد

دانشگاه صنعتی اصفهان

علی اشرفی

استادیار دانشکده مهندسی مواد

دانشگاه صنعتی اصفهان

تابستان ۱۳۹۹

www.ketab.ir

## فهرست مطالب

|    |                                                |
|----|------------------------------------------------|
| ۱  | ۱: فرایندهای جوشکاری ذوبی .....                |
| ۱  | ۱-۱ دیدگاه کلی .....                           |
| ۱  | ۱-۱-۱ فرایندهای جوشکاری ذوبی .....             |
| ۲  | ۲-۱-۱ چگالی توان منبع حرارتی .....             |
| ۴  | ۳-۱-۱ فرایندهای جوشکاری و مواد .....           |
| ۵  | ۴-۱-۱ انواع اتصالات و موقعیت‌های جوشکاری ..... |
| ۷  | ۲-۱ جوشکاری اکسی استیلن .....                  |
| ۷  | ۱-۲-۱ فرایند .....                             |
| ۸  | ۲-۲-۱ سه نوع شعله .....                        |
| ۹  | ۳-۲-۱ مزایا و محدودیت‌ها .....                 |
| ۱۰ | ۳-۱ جوشکاری قوسی فلز پوشش دار .....            |
| ۱۰ | ۱-۳-۱ فرایند .....                             |
| ۱۰ | ۲-۳-۱ وظایف پوشش الکتروود .....                |
| ۱۲ | ۳-۳-۱ مزایا و محدودیت‌ها .....                 |
| ۱۲ | ۴-۱ جوشکاری قوسی تنگستن - گاز .....            |
| ۱۲ | ۱-۴-۱ فرایند .....                             |
| ۱۴ | ۲-۴-۱ قطبیت .....                              |
| ۱۵ | ۳-۴-۱ الکتروودها .....                         |
| ۱۶ | ۴-۴-۱ گازهای محافظ .....                       |
| ۱۷ | ۵-۴-۱ مزایا و محدودیت‌ها .....                 |
| ۱۷ | ۵-۱ جوشکاری قوسی پلاسما .....                  |
| ۱۷ | ۱-۵-۱ فرایند .....                             |

|    |                               |
|----|-------------------------------|
| ۱۹ | ۲-۵-۱ شروع قوس                |
| ۱۹ | ۳-۵-۱ سوراخ کلیدی             |
| ۲۰ | ۴-۵-۱ مزایا و محدودیت‌ها      |
| ۲۰ | ۶-۱ جوشکاری قوسی فلز - گاز    |
| ۲۰ | ۱-۶-۱ فرایند                  |
| ۲۱ | ۲-۶-۱ گازهای محافظ            |
| ۲۲ | ۳-۶-۱ حالت‌های انتقال فلز     |
| ۲۴ | ۴-۶-۱ مزایا و محدودیت‌ها      |
| ۲۴ | ۷-۱ جوشکاری قوسی توپودری      |
| ۲۴ | ۱-۷-۱ فرایند                  |
| ۲۵ | ۸-۱ جوشکاری قوسی زیرپودری     |
| ۲۵ | ۱-۸-۱ فرایند                  |
| ۲۶ | ۲-۸-۱ مزایا و محدودیت‌ها      |
| ۲۷ | ۹-۱ جوشکاری سرباره الکتریکی   |
| ۲۷ | ۱-۹-۱ فرایند                  |
| ۲۷ | ۲-۹-۱ مزایا و محدودیت‌ها      |
| ۲۹ | ۱۰-۱ جوشکاری پرتوالکترونی     |
| ۲۹ | ۱-۱۰-۱ فرایند                 |
| ۳۱ | ۲-۱۰-۱ مزایا و محدودیت‌ها     |
| ۳۳ | ۱۱-۱ جوشکاری پرتولیزر         |
| ۳۳ | ۱-۱۱-۱ فرایند                 |
| ۳۵ | ۲-۱۱-۱ انعکاس                 |
| ۳۵ | ۳-۱۱-۱ گازهای محافظ           |
| ۳۵ | ۴-۱۱-۱ لیزرها در جوشکاری قوسی |
| ۳۶ | ۵-۱۱-۱ مزایا و محدودیت‌ها     |
| ۳۷ | مراجع                         |
| ۳۸ | مراجع برای مطالعه بیشتر       |
| ۳۸ | مسایل                         |
| ۴۱ | ۲: جریان حرارت در جوشکاری     |



|    |                                        |
|----|----------------------------------------|
| ۴۱ | ۱-۲ منبع حرارتی                        |
| ۴۱ | ۱-۱-۲ راندمان منبع حرارتی              |
| ۴۹ | ۲-۱-۲ راندمان ذوب                      |
| ۵۲ | ۳-۱-۲ توزیع چگالی توان منبع حرارتی     |
| ۵۲ | ۲-۲ آنالیز جریان حرارت در جوشکاری      |
| ۵۴ | ۱-۲-۲ معادلات رزنال                    |
| ۵۸ | ۲-۲-۲ معادلات آدامز                    |
| ۶۰ | ۳-۲-۲ شبیه‌سازی کامپیوتری              |
| ۶۱ | ۳-۲ اثر پارامترهای جوشکاری             |
| ۶۱ | ۱-۳-۲ شکل حوضچه جوش                    |
| ۶۲ | ۲-۳-۲ نرخ سرد شدن و شیب دمایی          |
| ۶۴ | ۳-۳-۲ توزیع چگالی توان                 |
| ۶۵ | ۴-۳-۲ اثر اتلاف حرارت قطعه‌کار         |
| ۶۶ | ۴-۲ شبیه‌ساز حرارتی جوش                |
| ۶۶ | ۱-۴-۲ دستگاه                           |
| ۶۶ | ۲-۴-۲ کاربرد                           |
| ۶۷ | ۳-۴-۲ محدودیت‌ها                       |
| ۶۸ | مراجع                                  |
| ۷۰ | مراجع برای مطالعه بیشتر                |
| ۷۰ | مسایل                                  |
| ۷۳ | ۳ واکنش‌های شیمیایی در جوشکاری         |
| ۷۳ | ۱-۳ دیدگاه کلی                         |
| ۷۳ | ۱-۱-۳ تأثیر نیتروژن، اکسیژن، و هیدروژن |
| ۷۳ | ۲-۱-۳ روش‌هایی برای حفاظت از هوا       |
| ۷۶ | ۲-۳ واکنش‌های گاز - فلز                |
| ۷۶ | ۱-۲-۳ ترمودینامیک واکنش‌ها             |
| ۸۰ | ۲-۲-۳ نیتروژن                          |
| ۸۳ | ۳-۲-۳ اکسیژن                           |
| ۸۶ | ۴-۲-۳ هیدروژن                          |

|     |                                                 |
|-----|-------------------------------------------------|
| ۹۳  | ۳-۳ واکنش های سریاره- فلز                       |
| ۹۳  | ۱-۳-۳ واکنش های شیمیایی حرارتی                  |
| ۹۴  | ۲-۳-۳ تأثیر فلاکس بر ترکیب فلز جوش              |
| ۹۷  | ۳-۳-۳ انواع فلاکس ها، اندیس بازی و خواص فلز جوش |
| ۹۸  | ۴-۳-۳ اندیس بازی                                |
| ۱۰۳ | ۵-۳-۳ واکنش های الکتروشیمیایی                   |
| ۱۰۶ | مراجع                                           |
| ۱۰۹ | مراجع برای مطالعه بیشتر                         |
| ۱۰۹ | مسایل                                           |

#### ۴: جریان سیال و تبخیر فلز در جوشکاری

|     |                                             |
|-----|---------------------------------------------|
| ۱۱۱ | ۱-۴ جریان سیال در قوس ها                    |
| ۱۱۲ | ۱-۱-۴ نیروی رانش جریان سیال                 |
| ۱۱۳ | ۲-۱-۴ تأثیر هندسه نوک الکترود               |
| ۱۱۹ | ۲-۴ جریان سیال در حوضچه های جوش             |
| ۱۱۹ | ۱-۲-۴ نیروی رانش جریان سیال                 |
| ۱۲۱ | ۲-۲-۴ جابه جایی شناوری                      |
| ۱۲۱ | ۳-۲-۴ جابه جایی اجباری ناشی از نیروی لورنتز |
| ۱۲۳ | ۴-۲-۴ جابه جایی مارانگونی                   |
| ۱۲۸ | ۵-۲-۴ جابه جایی اجباری ناشی از جت پلاسما    |
| ۱۳۱ | ۶-۲-۴ تأثیر اغتشاش                          |
| ۱۳۱ | ۳-۴ تبخیر فلز                               |
| ۱۳۱ | ۱-۳-۴ از دست رفتن عناصر آلیاژی              |
| ۱۳۳ | ۲-۳-۴ انفجار قطرات فلز                      |
| ۱۳۴ | ۴-۴ GTAW با فلاکس فعال                      |
| ۱۳۵ | مراجع                                       |
| ۱۳۸ | مسایل                                       |

#### ۵: تنش های باقی مانده، پیچیدگی و خستگی

|     |                                |
|-----|--------------------------------|
| ۱۴۱ | ۱-۵ تنش های باقی مانده         |
| ۱۴۲ | ۱-۱-۵ ایجاد تنش های باقی مانده |

|     |                                                  |
|-----|--------------------------------------------------|
| ۱۴۴ | ۵-۱-۲ آنالیز تنش های باقی مانده.....             |
| ۱۴۷ | ۵-۲ پیچیدگی.....                                 |
| ۱۴۷ | ۵-۲-۱ علت.....                                   |
| ۱۴۸ | ۵-۲-۲ روش های کاهش.....                          |
| ۱۵۲ | ۵-۳ خستگی.....                                   |
| ۱۵۲ | ۵-۳-۱ مکانیزم.....                               |
| ۱۵۳ | ۵-۳-۲ بررسی سطح مقطع شکست.....                   |
| ۱۵۴ | ۵-۳-۳ نمودارهای S-N.....                         |
| ۱۵۴ | ۵-۳-۴ تأثیر هندسه اتصال.....                     |
| ۱۵۵ | ۵-۳-۵ تأثیر مراکز تمرکز تنش.....                 |
| ۱۵۶ | ۵-۳-۶ تأثیر خوردگی.....                          |
| ۱۵۷ | ۵-۳-۷ راه حل ها.....                             |
| ۱۵۹ | ۵-۴ مطالعات موردی.....                           |
| ۱۵۹ | ۵-۴-۱ شکست یک مجموعه لوله فولادی (۲۱).....       |
| ۱۶۲ | ۵-۴-۲ شکست آسیاب گلوله ای (۲۴).....              |
| ۱۶۲ | مراجع.....                                       |
| ۱۶۳ | منابع برای مطالعه بیشتر.....                     |
| ۱۶۴ | مسایل.....                                       |
| ۱۶۵ | بخش دوم: منطقه ذوب.....                          |
| ۱۶۷ | ۶: مفاهیم اولیه انجماد.....                      |
| ۱۶۷ | ۶-۱ توزیع مجدد عنصر حل شده.....                  |
| ۱۶۸ | ۶-۱-۱ دیاگرام فازي.....                          |
| ۱۷۰ | ۶-۱-۲ نفوذ کامل در جامد و مذاب.....              |
| ۱۷۳ | ۶-۱-۳ نفوذ کامل در مذاب و عدم نفوذ در جامد.....  |
| ۱۷۵ | ۶-۱-۴ نفوذ محدود در مذاب و عدم نفوذ در جامد..... |
| ۱۸۰ | ۶-۲ حالت های انجماد و تحت انجماد ترکیبی.....     |
| ۱۸۰ | ۶-۲-۱ حالت های انجماد.....                       |
| ۱۸۰ | ۶-۲-۲ تحت انجماد ترکیبی.....                     |
| ۱۸۶ | ۶-۳ ریز جدایش و نواری شدن.....                   |

|     |                                                          |
|-----|----------------------------------------------------------|
| ۱۸۶ | ..... ۱-۳-۶ ریز جدایش                                    |
| ۱۸۸ | ..... ۲-۳-۶ نواری شدن                                    |
| ۱۸۹ | ..... ۴-۶ تأثیر نرخ سرد شدن                              |
| ۱۹۲ | ..... ۵-۶ مسیر انجماد                                    |
| ۱۹۴ | ..... مراجع                                              |
| ۱۹۵ | ..... منابع برای مطالعه بیشتر                            |
| ۱۹۵ | ..... مسایل                                              |
| ۱۹۷ | ..... ۷: انجماد فلز جوش (۱): ساختار دانه                 |
| ۱۹۷ | ..... ۱-۷ رشد اپی تکسیال در مرز ذوب                      |
| ۱۹۷ | ..... ۱-۱-۷ تئوری جوانه‌زنی                              |
| ۲۰۰ | ..... ۲-۷ رشد غیر اپی تکسیال در مرز ذوب                  |
| ۲۰۳ | ..... ۳-۷ رشد رقابتی در منطقه ذوب                        |
| ۲۰۴ | ..... ۴-۷ تأثیر پارامترهای جوشکاری بر ساختار دانه        |
| ۲۰۷ | ..... ۵-۷ مکانیزم‌های جوانه‌زنی فلز جوش                  |
| ۲۰۹ | ..... ۱-۵-۷ مکانیزم شکستن دندریت‌ها                      |
| ۲۱۰ | ..... ۲-۵-۷ مکانیزم جدا شدن دانه‌ها                      |
| ۲۱۰ | ..... ۳-۵-۷ جوانه‌زنی ناهمگن                             |
| ۲۱۴ | ..... ۴-۵-۷ جوانه‌زنی سطحی                               |
| ۲۱۴ | ..... ۵-۵-۷ تأثیر پارامترهای جوشکاری بر جوانه‌زنی ناهمگن |
| ۲۱۷ | ..... ۶-۷ کنترل ساختار دانه                              |
| ۲۱۷ | ..... ۱-۶-۷ تلقیح                                        |
| ۲۲۰ | ..... ۲-۶-۷ تحریک خارجی                                  |
| ۲۲۴ | ..... ۳-۶-۷ جوانه‌زنی سطحی تحریک‌شده                     |
| ۲۲۵ | ..... ۴-۶-۷ ایجاد دانه‌های ستونی با جهت‌گیری خاص         |
| ۲۲۵ | ..... ۵-۶-۷ جاذبه                                        |
| ۲۲۷ | ..... مراجع                                              |
| ۲۲۸ | ..... منابع برای مطالعه بیشتر                            |
| ۲۲۹ | ..... مسایل                                              |
| ۲۳۱ | ..... ۸: انجماد فلز جوش (۲): ریز ساختار درون دانه‌ها     |

- ۸-۱ حالت‌های انجماد ..... ۲۳۱
- ۸-۱-۱ گرادیان دمایی و نرخ رشد ..... ۲۳۲
- ۸-۱-۲ تغییرات در حالت رشد در سرتاسر جوش ..... ۲۳۵
- ۸-۲ فاصله بین دندربیتی و فاصله بین سلولی ..... ۲۳۸
- ۸-۳ تأثیر پارامترهای جوشکاری ..... ۲۴۰
- ۸-۳-۱ حالت انجماد ..... ۲۴۰
- ۸-۳-۲ فاصله بین دندربیتی و سلولی ..... ۲۴۱
- ۸-۴ ریزکردن ساختار درون دانه‌ها ..... ۲۴۳
- ۸-۴-۱ نوسان قوس ..... ۲۴۴
- ۸-۴-۲ ضربه‌ای کردن قوس ..... ۲۴۶
- مراجع ..... ۲۴۷
- مراجع برای مطالعه بیشتر ..... ۲۴۸
- مسائل ..... ۲۴۸
- ۹: استحاله‌های فازی پس از انجماد ..... ۲۵۱
- ۹-۱ استحاله فریت به آستنیت در جوش‌های فولاد زنگ‌نزن آستنیتی ..... ۲۵۱
- ۹-۱-۱ حالت‌های اولیه انجماد ..... ۲۵۱
- ۹-۱-۲ مکانیزم تشکیل فریت ..... ۲۵۷
- ۹-۱-۳ تخمین میزان فریت ..... ۲۵۹
- ۹-۱-۴ تأثیر نرخ سرد کردن ..... ۲۶۳
- ۹-۱-۵ حل شدن فریت در اثر بازگرمایش ..... ۲۶۸
- ۹-۲ استحاله آستنیت به فریت در جوش فولادهای کم‌کربن، کم‌آلیاژ ..... ۲۶۹
- ۹-۲-۱ ایجاد ریز ساختار ..... ۲۶۹
- ۹-۲-۲ عوامل مؤثر بر ریزساختار ..... ۲۷۳
- ۹-۲-۳ چقرمگی فلز جوش ..... ۲۷۷
- مراجع ..... ۲۷۸
- مراجع برای مطالعه بیشتر ..... ۲۸۰
- مسائل ..... ۲۸۱
- ۱۰: غیریکنواختی‌های شیمیایی در فلز جوش ..... ۲۸۳
- ۱۰-۱ جدایش میکروسکوپی ..... ۲۸۴

|          |                                                       |
|----------|-------------------------------------------------------|
| ۲۸۴..... | ۱۰-۱-۱ تأثیر نفوذ در حالت جامد.....                   |
| ۲۸۷..... | ۱۰-۱-۲ تأثیر تحت انجماد نوک دندریت.....               |
| ۲۹۱..... | ۱۰-۲-۱ نواری شدن.....                                 |
| ۲۹۱..... | ۱۰-۲-۱ نوسانات ریزساختار و ترکیب شیمیایی.....         |
| ۲۹۲..... | ۱۰-۲-۲ علل.....                                       |
| ۲۹۳..... | ۱۰-۳ آخال‌ها و تخلخل گازی.....                        |
| ۲۹۵..... | ۱۰-۴ غیریکنواختی در نزدیکی مرز ذوب.....               |
| ۲۹۵..... | ۱۰-۴-۱ نمودارهای ترکیب شیمیایی.....                   |
| ۲۹۸..... | ۱۰-۴-۲ تأثیر غیریکنواختی‌ها.....                      |
| ۲۹۸..... | ۱۰-۵ جدایش ماکروسکوپی در فلز جوش.....                 |
| ۳۰۱..... | ۱۰-۵-۱ جوش‌های تک پاس.....                            |
| ۳۰۱..... | ۱۰-۵-۲ جوش‌های چند پاس.....                           |
| ۳۰۳..... | مراجع.....                                            |
| ۳۰۵..... | مراجع برای مطالعه بیشتر.....                          |
| ۳۰۵..... | مسایل.....                                            |
| ۳۰۷..... | ۱۱: ترک خوردن انجمادی فلز جوش.....                    |
| ۳۰۷..... | ۱۱-۱ مشخصات، عوامل و آزمون.....                       |
| ۳۰۷..... | ۱۱-۱-۱ ترک خوردن بین دانه‌ای.....                     |
| ۳۱۰..... | ۱۱-۱-۲ آزمون حساسیت.....                              |
| ۳۱۳..... | ۱۱-۲ عوامل متالورژیکی.....                            |
| ۳۱۳..... | ۱۱-۲-۱ دامنه انجماد.....                              |
| ۳۱۸..... | ۱۱-۲-۲ مقدار مذاب و توزیع آن در حین انجماد نهایی..... |
| ۳۲۳..... | ۱۱-۲-۳ انعطاف‌پذیری فلز جوش در حال انجماد.....        |
| ۳۲۷..... | ۱۱-۲-۴ فاز اولیه انجماد.....                          |
| ۳۳۰..... | ۱۱-۲-۵ کشش سطحی مذاب در مرزدانه.....                  |
| ۳۳۱..... | ۱۱-۲-۶ ساختار دانه فلز جوش.....                       |
| ۳۳۳..... | ۱۱-۳ عوامل مکانیکی.....                               |
| ۳۳۳..... | ۱۱-۳-۱ تنش‌های انقباضی.....                           |
| ۳۳۳..... | ۱۱-۳-۲ درجه مهار.....                                 |

- ۳۳۴..... ۴-۱۱ کاهش ترک خوردن انجمادی
- ۳۳۴..... ۱-۴-۱۱ کنترل ترکیب فلز جوش
- ۳۴۱..... ۲-۴-۱۱ کنترل ساختار انجماد
- ۳۴۴..... ۳-۴-۱۱ استفاده از شرایط مناسب جوشکاری
- ۳۴۶..... ۵-۱۱ مطالعه موردی: شکست یک پروانه هواکش بزرگ
- ۳۴۸..... مراجع
- ۳۵۱..... مراجع برای مطالعه بیشتر
- ۳۵۱..... مسایل
- ۳۵۵..... بخش سوم: منطقه ذوب جزئی
- ۳۵۷..... ۱۲: تشکیل منطقه ذوب جزئی
- ۳۵۷..... ۱-۱۲ شواهد ذوب جزئی
- ۳۶۰..... ۲-۱۲ مکانیزم‌های ذوب
- ۳۶۲..... ۱-۲-۱۲ مکانیزم ۱: واکنش  $A_xB_y$  با زمینه
- ۳۶۲..... ۲-۲-۱۲ مکانیزم ۲: ذوب شدن یونکتیک
- ۳۶۴..... ۳-۲-۱۲ مکانیزم ۳: واکنش  $A_xB_y$  باقی مانده با زمینه
- ۳۶۸..... ۴-۲-۱۲ مکانیزم ۴: ذوب یونکتیک باقی مانده
- ۳۶۹..... ۵-۲-۱۲ مکانیزم ۵: ذوب زمینه
- ۳۷۰..... ۶-۲-۱۲ مکانیزم ۶: ذوب ناشی از جدایش
- ۳۷۰..... ۳-۱۲ انجماد جهت دار ماده ذوب شده
- ۳۷۱..... ۴-۱۲ جدایش مرزدانه‌ای
- ۳۷۳..... ۵-۱۲ حالت‌های انجماد مرزدانه
- ۳۷۵..... ۶-۱۲ منطقه ذوب جزئی در چدن‌ها
- ۳۷۶..... مراجع
- ۳۷۶..... مسایل
- ۳۷۹..... ۱۳: مشکلات منطقه ذوب جزئی
- ۳۷۹..... ۱-۱۳ ترک خوردن ذوبی
- ۳۸۱..... ۱-۱-۱۳ آزمایش‌های حساسیت به ترک
- ۳۸۴..... ۲-۱-۱۳ مکانیزم ترک خوردن ذوبی

|          |                                                     |
|----------|-----------------------------------------------------|
| ۳۸۷..... | ۲-۱۳ کاهش استحکام و انعطاف پذیری.....               |
| ۳۸۹..... | ۳-۱۳ ترک خوردن هیدروژنی.....                        |
| ۳۹۰..... | ۴-۱۳ راه حل ها.....                                 |
| ۳۹۰..... | ۱-۴-۱۳ فلز پرکننده.....                             |
| ۳۹۲..... | ۲-۴-۱۳ منبع حرارتی.....                             |
| ۳۹۳..... | ۳-۴-۱۳ درجه مهار.....                               |
| ۳۹۳..... | ۴-۴-۱۳ فلز پایه.....                                |
| ۳۹۸..... | مراجع.....                                          |
| ۳۹۹..... | مسایل.....                                          |
| ۴۰۱..... | بخش چهارم: منطقه متاثر از حرارت.....                |
| ۴۰۳..... | ۱۴: فلزات کار سخت شده.....                          |
| ۴۰۳..... | ۱-۱۴ مقدمات.....                                    |
| ۴۰۴..... | ۱-۱-۱۴ تبلور مجدد.....                              |
| ۴۰۷..... | ۲-۱-۱۴ رشد دانه.....                                |
| ۴۰۸..... | ۲-۱۴ تبلور مجدد و رشد دانه در جوشکاری.....          |
| ۴۰۸..... | ۱-۲-۱۴ ریزساختار.....                               |
| ۴۰۸..... | ۲-۲-۱۴ سیکل های حرارتی.....                         |
| ۴۱۱..... | ۳-۱۴ تأثیر پارامترها و فرایند جوشکاری.....          |
| ۴۱۳..... | مراجع.....                                          |
| ۴۱۴..... | مراجع برای مطالعه بیشتر.....                        |
| ۴۱۴..... | مسایل.....                                          |
| ۴۱۵..... | ۱۵: فلزات سختی رسوبی (۱): آلیاژهای آلومینیم.....    |
| ۴۱۷..... | ۱-۱۵ مقدمات.....                                    |
| ۴۲۲..... | ۲-۱۵ آلیاژهای $Al - Cu - Mg$ و $Al - Mg - Si$ ..... |
| ۴۲۲..... | ۱-۲-۱۵ جوشکاری در شرایط پیر شده مصنوعی.....         |
| ۴۲۶..... | ۲-۲-۱۵ جوشکاری در شرایط پیر شده طبیعی.....          |
| ۴۳۰..... | ۳-۲-۱۵ تأثیر فرایندها و پارامترهای جوشکاری.....     |
| ۴۳۱..... | ۳-۱۵ آلیاژهای $Al - Zn - Mg$ .....                  |



|          |                                                      |
|----------|------------------------------------------------------|
| ۴۳۵..... | ۴-۱۵ جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی آلیاژهای آلومینیم       |
| ۴۳۷..... | مراجع                                                |
| ۴۳۸..... | مراجع برای مطالعه بیشتر                              |
| ۴۳۸..... | مسایل                                                |
| ۴۴۱..... | ۱۶: فلزات سختی رسوبی (۲): آلیاژهای پایه نیکل         |
| ۴۴۱..... | ۱-۱۶ مقدمات                                          |
| ۴۴۸..... | ۲-۱۶ بازگشت رسوب و کاهش استحکام                      |
| ۴۴۸..... | ۱-۲-۱۶ ریزساختار                                     |
| ۴۴۹..... | ۲-۲-۱۶ پروفیل‌های سختی                               |
| ۴۵۲..... | ۳-۱۶ ترک خوردن در حین عملیات حرارتی پس از جوشکاری    |
| ۴۵۲..... | ۱-۳-۱۶ دلایل انجام عملیات حرارتی پس از جوشکاری       |
| ۴۵۳..... | ۲-۳-۱۶ گسترش ترک خوردن                               |
| ۴۵۵..... | ۳-۳-۱۶ تأثیر ترکیب شیمیایی                           |
| ۴۵۵..... | ۴-۳-۱۶ مکانیزم‌های پیشنهادی                          |
| ۴۵۶..... | ۵-۳-۱۶ راه حل‌ها                                     |
| ۴۶۰..... | مراجع                                                |
| ۴۶۲..... | مراجع برای مطالعه بیشتر                              |
| ۴۶۲..... | مسایل                                                |
| ۴۶۳..... | ۱۷: مواد سخت شده استحاله‌ای: فولادهای کربنی و آلیاژی |
| ۴۶۳..... | ۱-۱۷ دیاگرام فازي و دیاگرام‌های CCT                  |
| ۴۶۷..... | ۲-۱۷ فولادهای کربنی                                  |
| ۴۶۷..... | ۱-۲-۱۷ فولادهای کم کربن                              |
| ۴۷۳..... | ۲-۲-۱۷ فولادهای با کربن بالاتر                       |
| ۴۷۶..... | ۳-۱۷ فولادهای کم آلیاژ                               |
| ۴۷۶..... | ۱-۳-۱۷ فولادهای کم آلیاژ استحکام بالا                |
| ۴۷۷..... | ۲-۳-۱۷ فولادهای کم آلیاژ کوئنچ و تمپر شده            |
| ۴۸۰..... | ۳-۳-۱۷ فولادهای کم آلیاژ عملیات حرارتی پذیر          |
| ۴۸۳..... | ۴-۱۷ ترک خوردن هیدروژنی                              |
| ۴۸۳..... | ۱-۴-۱۷ علل                                           |

|     |                                                    |
|-----|----------------------------------------------------|
| ۴۸۶ | ..... ۲-۴-۱۷ ظاهر                                  |
| ۴۸۷ | ..... ۳-۴-۱۷ آزمایش های حساسیت                     |
| ۴۸۹ | ..... ۴-۴-۱۷ راه حل ها                             |
| ۴۹۱ | ..... ۵-۱۷ ترک خوردن بازگرمایش                     |
| ۴۹۲ | ..... ۱-۵-۱۷ ظاهر                                  |
| ۴۹۳ | ..... ۲-۵-۱۷ علل                                   |
| ۴۹۳ | ..... ۳-۵-۱۷ آزمون های حساسیت                      |
| ۴۹۷ | ..... ۶-۱۷ پارگی ورقه ای                           |
| ۴۹۷ | ..... ۱-۶-۱۷ علل                                   |
| ۴۹۸ | ..... ۲-۶-۱۷ آزمون های حساسیت                      |
| ۴۹۹ | ..... ۳-۶-۱۷ راه حل                                |
| ۴۹۹ | ..... ۷-۱۷ مطالعات موردی                           |
| ۴۹۹ | ..... ۱-۷-۱۷ شکست جوش های بوشن / لوله (۵۶)         |
| ۵۰۱ | ..... ۲-۷-۱۷ شکست شاتون موتور (۵۷)                 |
| ۵۰۲ | ..... ۳-۷-۱۷ شکست خط لوله تحت فشار توربین آبی (۵۸) |
| ۵۰۳ | ..... مراجع                                        |
| ۵۰۵ | ..... مراجع برای مطالعه بیشتر                      |
| ۵۰۵ | ..... مسایل                                        |

# ۱۸: مواد مقاوم به خوردگی: فولادهای زنگ نزن

|     |                                         |
|-----|-----------------------------------------|
| ۵۰۷ | ..... ۱-۱۸ دسته بندی فولادهای زنگ نزن   |
| ۵۱۰ | ..... ۱-۱-۱۸ فولادهای زنگ نزن فریتی     |
| ۵۱۰ | ..... ۲-۱-۱۸ فولادهای زنگ نزن مارتنزیتی |
| ۵۱۱ | ..... ۳-۱-۱۸ فولادهای زنگ نزن آستنیتی   |
| ۵۱۲ | ..... ۲-۱۸ فولادهای زنگ نزن آستنیتی     |
| ۵۱۲ | ..... ۱-۲-۱۸ پوسیدگی جوش                |
| ۵۱۹ | ..... ۲-۲-۱۸ حمله شیار چاقویی           |
| ۵۲۵ | ..... ۳-۲-۱۸ ترک خوردن خوردگی تنش       |
| ۵۲۶ | ..... ۳-۱۸ فولادهای زنگ نزن فریتی       |
| ۵۲۶ | ..... ۱-۳-۱۸ نمودار فاز                 |

|          |                                        |
|----------|----------------------------------------|
| ۵۲۶..... | ۱۸-۳-۲ حساس شدن.....                   |
| ۵۲۷..... | ۱۸-۳-۳ تشکیل مارتنزیت و رشد دانه.....  |
| ۵۲۹..... | ۱۸-۴-۴ فولادهای زنگ‌نزن مارتنزیتی..... |
| ۵۲۹..... | ۱۸-۴-۱ نمودار فازی.....                |
| ۵۲۹..... | ۱۸-۴-۲ ترک زیربستر جوش.....            |
| ۵۳۰..... | ۱۸-۴-۳ راه‌حل‌ها.....                  |
| ۵۳۱..... | ۱۸-۵ مطالعه موردی: شکست یک لوله.....   |
| ۵۳۳..... | مراجع.....                             |
| ۵۳۴..... | مراجع برای مطالعه بیشتر.....           |
| ۵۳۴..... | مسایل.....                             |
| ۵۳۵..... | واژه‌نامه انگلیسی به فارسی.....        |
| ۵۵۳..... | واژه‌یاب.....                          |

www.ketab.ir