

۲۰۲۲۷۴۷

تفجوشی نظری و کاربردی

داندال ام. جرمن

ترجمه

پروین عباچی

عضو هیئت علمی دانشگاه صنعتی شریف

فریدا دیوسالار مهاجر



مؤسسه انتشارات علمی دانشگاه صنعتی شریف



مؤسسه انتشارات علمی
دانشگاه صنعتی شریف

Sintering Theory and Practice

by: Randall M. German

John Wiley & Sons, Inc, 1996

تفجیه علمی: نظری و کاربردی

تألیف: راندال ام. جرمن

ترجمه پروین عیاجی، فریدنا دیوسالار مهاجر

ویراستار: مسعود رشاد ساکبی

مؤسسه انتشارات علمی دانشگاه صنعتی شریف، تهران

چاپ اول: ۱۳۹۷

شمارگان: ۱۰۰

بها: ۵۰۰۰۰ تومان

آماده سازی قبل از چاپ: معصومه نصابی

حق چاپ برای مؤسسه انتشارات علمی دانشگاه صنعتی شریف محفوظ است.

ISBN 978-964-208-206-3

شابک: ۹۷۸-۹۶۴-۲۰۸-۲۰۶-۳

تلفن: ۶۶۰۱۳۱۲۹-۶۶۱۶۴۰۷۲-۶۰۱۶۲۰۰۰

دفتر مرکزی: خیابان آزادی - دانشگاه صنعتی شریف

دفتر فروش: میدان انقلاب - خیابان شهید منیری جاوید (آردیبهشت) - ساختمان بهمن - پلاک ۱۰۰ - بقعه چهارم - واحد ۴۰۲

وبگاه: <http://sina.sharif.ir/~publishing>

پست الکترونیکی: publishing@sharif.ir

فروش اینترنتی: www.saneibook.com, www.ketabiran.ir

موضوع: Sintering

شناسه افزوده: عیاجی، پروین، ۱۳۳۹ - مترجم

شناسه افزوده: دیوسالار مهاجر، فریدنا، ۱۳۳۹ - مترجم

شناسه افزوده: دانشگاه صنعتی شریف، مؤسسه انتشارات علمی

Sharif University of Technology, Institute of Scientific Publications

رده بندی کنگره: ۶۷۱/۳۷۳ TS ۲۲۵/ج۴-۷ ۱۳۹۶

رده بندی دیویی: ۶۷۱/۳۷۳

شماره کتابشناسی ملی: ۵۰۷۶۴۱۵

سرشناسه: جرمن، راندال ام، ۱۹۴۶م

عنوان و نام پدیدآور: تفجیه علمی: نظری و کاربردی / تألیف راندال ام. جرمن؛

ترجمه پروین عیاجی، فریدنا دیوسالار مهاجر.

مشخصات نشر: تهران: دانشگاه صنعتی شریف، مؤسسه انتشارات علمی، ۱۳۹۶

مشخصات ظاهری: ۶۷۶ ص. مصور، جدول، نمودار

شابک: 978-964-208-206-3

وضعیت فهرست نویسی: فیا

یادداشت: عنوان اصلی: Sintering Theory and Practice, c1996

موضوع: تفجیه علمی

بسم الله الرحمن الرحيم

فهرست مطالب

یازده	پیشگفتار مؤلف
سیزده	پیشگفتار مترجمان
۱	فصل ۱. مقدمه‌ای بر تفجوشی
۱	بررسی اجمالی
۳	تاریخچه کوتاه تفجوشی
۴	فرایند تفجوشی
۹	تعریف‌ها و نامگذاری
۱۵	مروری بر روش‌های تفجوشی
۱۷	اهداف بررسی تفجوشی
۲۱	مسائل تفجوشی نظری
۲۳	عناوین مرتبط
۲۳	مراجع
۲۷	فصل ۲. روش‌های اندازه‌گیری تفجوشی
۲۷	مقدمه
۲۸	اثرهای فشرده‌سازی
۳۰	چگالی، تخلخل و مشخصه‌های ریزحفره
۳۷	ریزساختار
۴۶	انقباض و تورم

۵۲	مساحت رویه
۵۸	پاسخ‌های گرمایی، الکتریکی و مغناطیسی
۶۲	پاسخ مکانیکی
۶۶	همگن شدن و واکنش‌ها
۶۹	خلاصه
۷۱	مراجع
۷۷	فصل ۳. اصول تف‌جوشی در حالت جامد
۷۸	مقدمه نظری
۷۸	مفاهیم پایه‌ای
۸۲	فازیات تف‌جوشی نظری
۸۳	درشت‌شدگی و چگالش
۸۶	تنش تف‌جوشی
۸۹	مکانیزم‌های انتقال جرم
۹۱	جریان گرانشی (۱-۲)
۹۳	تبخیر-میعان
۹۶	نفوذ سطحی
۹۹	نفوذ حجمی
۱۰۲	نفوذ مرزدانه‌ای
۱۰۴	جریان مومسان (پلاستیک)
۱۰۶	مروری بر فرایندهای انتقال جرم
۱۰۷	مراحل تف‌جوشی
۱۰۸	چسبندگی، بازآرایی و انباشت مجدد
۱۱۰	مرحله نخست رشد گلوله‌ای
۱۱۷	مرحله میانی
۱۲۳	مرحله پایانی
۱۳۰	درشت‌شدگی در مقابل چگالش
۱۳۵	تحلیل داده‌ها
۱۴۱	محاسبه آهنگ‌های تف‌جوشی
۱۴۷	نمودارهای تف‌جوشی
۱۵۰	خلاصه
۱۵۱	مراجع

فصل ۴. رابطه‌های ریزساختار و فراورش در تف‌جوشی حالت جامد

مقدمه

مشخصه‌های پودر

انباشت ذره

ساختار ریزحفره

ساختار دانه

دینامیک تکامل ریزساختار

آهنگ گرمایش

چرخه‌های تف‌جوشی حالت جامد

مراجع

فصل ۵. تف‌جوشی حالت جامد پودرهای مخلوط

دسته‌بندی برهم‌کنش‌های فیزیکی و شیمیایی

رفتار انباشت و تف‌جوشی ذرات مخلوط

قوانین انباشت پودر آزاد (شکل)

قوانین انقباض تف‌جوشی

مفاهیم تنش تف‌جوشی

پیش‌بینی‌های چگالی پس از تف‌جوشی

تف‌جوشی کامپوزیت‌های دارای فاز خنثی

سینتیک همگن شدن

تورم و تشکیل ریزحفره در سیستم‌های فعال از نظر شیمیایی

تف‌جوشی تشدیدشده

تف‌جوشی فعال شده

کنترل ریزساختار

سیستم‌های هم‌گذاخت

خلاصه

مراجع

فصل ۶. تف‌جوشی با فاز مایع

مروری بر تف‌جوشی در حضور فاز مایع

عوامل اصلی ترمودینامیکی و سینتیکی

۲۶۳	مفاهیم نمودار فازی
۲۶۷	انرژی‌های فصل مشترک
۲۶۷	ترکندگی، پخش شوندگی، رخنه و جدایش
۲۶۹	زاویه تماس
۲۷۲	انحلال پذیری (حلالیت)
۲۷۴	مویستگی
۲۷۶	نیروی تماس
۲۷۷	جریان گرانو سیستم‌های جامد-مایع
۲۷۹	تشکیل نقاط تماس
۲۷۹	مشخصه‌های ریزساختار
۲۸۱	کار خالص
۲۸۲	زاد. دووجهی
۲۸۵	پیوندهای بین دانه‌ها
۲۸۶	هم‌آرایی و انطباق
۲۸۹	پیوستگی
۲۹۲	شکل دانه
۲۹۵	مرحله گرمایش و ذوب
۲۹۸	نقش انحلال پذیری (حلالیت) در حگالش
۳۰۲	تشکیل مذاب
۳۰۲	تکه‌تکه شدن ذره
۳۰۴	بازآرایی
۳۰۷	مرحله حل شدن-رسوب مجدد
۳۰۸	تطابق شکل دانه
۳۰۹	چگالش
۳۱۳	رشد گلوبی بین دانه‌ای
۳۱۵	ادغام دانه‌ها
۳۱۸	پر شدن ریزحفره
۳۲۰	درشت‌شدگی ریزساختار
۳۲۱	چگالش مرحله پایانی
۳۲۶	رشد دانه
۳۳۲	توزیع اندازه دانه

۳۳۵	رشد ناپیوسته دانه
۳۳۵	جلوگیری از رشد دانه
۳۳۶	دیگر تغییرات ریزساختاری
۳۳۹	خلاصه
۳۴۱	مراجع
۳۵۱	فصل ۷. تف جوشی به کمک فشار
۳۵۲	مقدمه
۳۵۳	کاردها
۳۵۴	چگالش تشدیدشده
۳۵۷	تشدید تنس در ریزحفره‌ها
۳۶۱	محدودیت‌های پیکان‌رسان به کمک فشار
۳۶۵	وضعیت‌های تنش کرنش، تف جوشی به کمک فشار
۳۶۹	مکانیزم‌های تغییر شکل
۳۷۰	جریان مومسان (پلاستیک)
۳۷۱	جریان گرانرو (ویسکوز)
۳۷۳	جریان در اثر خزش
۳۷۷	نقشه‌های چگالش
۳۷۹	فرایندهای تف جوشی به کمک فشار
۳۸۱	تف جوشی تشدیدشده با فشار
۳۸۳	آهن‌گری
۳۸۷	اکستروژن (روزن‌رانی) پودر
۳۸۸	منسجم‌سازی با امواج ضربه‌ای
۳۸۹	پرس‌کاری تک‌محوری گرم
۳۹۳	پرس‌کاری ایزوستاتیک گرم
۴۰۰	اعمال فشار سه‌محوری
۴۰۲	فرایندهای واکنشی
۴۰۳	روش‌های نوین تف جوشی به کمک فشار
۴۰۳	مشکلات تف جوشی به کمک فشار
۴۰۷	خلاصه
۴۰۹	مراجع

فصل ۸. روش‌های نوین تف‌جوشی

مقدمه

تف‌جوشی با فاز مایع در بالای خط انجماد

مکانیزم چگالش

پارامترهای فراورش

مدل چگالش

روش عمل

تف‌جوشی با فلزخورانی

تف‌جوشی فعال شده با فاز مایع

فاز مایع را

فرایندهای واکنشی

تف‌جوشی واکنشی

پیوند واکنشی

فشرده‌سازی واکنشی گرم

روش‌های نوین گرمایشی

گرمایش القایی

گرمایش به کمک مایکروویو (گرمایش رادیویی)

گرمایش پلاسمایی

گرمایش به کمک تخلیه الکتریکی

گرمایش لیزری

خلاصه

مراجع

فصل ۹. اتمسفرهای تف‌جوشی

مقدمه

انواع اتمسفر

گازها

خلاء

ترمودینامیک

اکسایش (اکسیداسیون) - احیا

۴۸۶	کربن دهی-کربن زدایی
۴۸۹	سایر مثال ها
۴۹۱	اثر ناخالصی ها
۴۹۸	خلاصه
۵۰۱	مراجع

۵۰۷	فصل ۱۰. تف جوشی کاربردی (عملی)
۵۰۸	مقدمه
۵۰۹	کنترل فرآورد در خلال تف جوشی
۵۱۰	ابعاد
۵۱۹	رشد عمیق
۵۲۰	ریز ساختار و خواص
۵۲۲	اثرهای ریز ساختار
۵۲۳	محدودیت های فراورشی
۵۳۰	چالش های تجهیزاتی
۵۳۰	نوع کوره
۵۳۲	منابع گرما
۵۳۵	مواد نگهدارنده (پشتیان)
۵۳۷	اندازه گیری فرایند
۵۳۸	انتقال گرما
۵۴۱	آهنگ های گرمایش و سرمایش
۵۴۲	نمونه هایی از چرخه های تف جوشی
۵۴۳	آلومینا
۵۴۴	آلومینیم
۵۴۵	برنج و برنز
۵۴۵	کاربیدهای سماته
۵۴۶	مس و آلیاژهای آن
۵۴۷	سیلیسیم کاربید
۵۴۸	سیلیسیم نیتريد
۵۵۰	فولاد زنگ نزن
۵۵۲	فولادها

۵۵۴	فولادهای ابزار
۵۵۵	آلیاژهای سنگین تنگستن
۵۵۶	زیرکونیا
۵۵۶	خلاصه‌ای از محدودیت‌های کاربردی (عملی)
۵۵۸	مراجع
۵۷۵	فصل ۱۱. چشم‌انداز آینده
۵۷۵	مقدمه
۵۷۶	ریزساختار قطعه خام
۵۷۸	روند گرمایش
۵۷۹	درشت‌مدگی ریزساختار
۵۸۱	ترک‌ها و سایر عیوب
۵۸۲	تف‌جوشی با فاز خالص
۵۸۳	تف‌جوشی به کمک فشار
۵۸۴	اثرهای ناخالصی و آتمسفر
۵۸۵	ذرات ریز
۵۸۶	مواد پیشرفته
۵۸۷	مدل‌های بهبودیافته
۵۸۹	روش‌های نوین فراورش
۵۹۰	مراجع
۵۹۹	پیوست
۶۱۳	واژه‌نامه انگلیسی - فارسی
۶۲۵	واژه‌نامه فارسی - انگلیسی
۶۳۹	فهرست راهنما

پیشگفتار مؤلف

این کتاب دربارهٔ تف جوشی است. سؤالی که اغلب مطرح می‌شود این است که تف جوشی چیست؟ به طور قراردادی، تف جوشی عمل گرمایی برای پیوند ذرات به هم از طریق انتقال ماده در مقیاس اتمی و ایجاد ساختار مناسب عمده نامد است. چنین پیوندی، استحکام و سایر خواص مهندسی ذرات فشرده را بهبود می‌دهد. اساساً تف جوشی یک فرایند جوش میکروسکوپی ذرات است که در مورد هر ماده‌ای می‌تواند به کار رود. نتیجه این فرایند گزینه مهمی در تولید قطعات است.

این کتاب بر جنبه نظری تف جوشی بحیه درونی، شامل اطلاعاتی دربارهٔ رفتار تف جوشی انواع گسترده‌ای از مواد مهندسی مثل فلزات، آلیاژها، سرامیک‌های اکسیدی، کامپوزیت‌ها، کربیدها، ترکیبات بین فلزی، شیشه‌ها و پلیمرهاست. مؤلف در چهارده سؤال مطرح کرده است که این کتاب به آن‌ها پاسخ می‌دهد. این سؤال‌ها شامل تف جوشی چیست؟ و چرا مهم است؟ چگونه می‌توان فرایندهای تف جوشی را بهبود بخشید؟ و سؤال‌هایی از این قبیل است. نکته از این، مؤلف به دنبال شناسایی متغیرهای کلیدی، اندازه‌گیری‌ها، سیستم‌ها، کاربردها و روش‌های محاسبه است. این کتاب، عمده‌تاً برای فارغ‌التحصیلان دانشگاه و همچنین افرادی که با تولید فرآورش مواد، علم مهندسی، مهندسی صنایع و رشته‌های وابسته مثل مهندسی شیمی سروکار دارند، نوشته شده است. سازماندهی مناسب به خواننده اجازه می‌دهد تا بدون مطالعه سلسله‌وار تمامی قسمت‌های کتاب قادر به جست‌وجوی اطلاعات ویژه در مورد یک ماده، مشکل فرآوری یا مفهوم آن باشد. در این کتاب برای ارائه مفاهیم کلیدی به تمامی جنبه‌ها و نظرات به طور یکسان توجه شده است و از طرح دیدگاه‌های اختلاف‌برانگیز بر سر معادلات ریاضی و اندازه‌گیری‌ها پرهیز شده است. دربارهٔ هر عنوانی توضیح کافی داده شده و لذا هیچ مشکلی برای درک آن وجود ندارد. طرح بسیاری از اختلاف‌ها در تف جوشی نظری خارج از حیطه و هدف این کتاب است.

مؤلف در سال ۱۹۷۰ نگارش این کتاب را آغاز کرده است. نیاز به سازماندهی مناسب مطالب، موجب کندی روند نگارش کتاب شده است. نظریه‌ها، مفاهیم، اندازه‌گیری‌ها و محاسبات بسیاری وجود دارند و مطالعات پیشین تنها به موضوعات محدودی پرداخته‌اند. بنابراین، مشکل اصلی مربوط به سازماندهی دانش موجود در این زمینه بوده است. این کتاب دارای ۶۰۰ مرجع است. هر یک از این مراجع به‌تنهایی می‌تواند در حکم یک کتاب راهنما باشد و بنابراین، صرفاً به مستندات برگزیده اشاره شده است.

افراد مختلفی در نگارش این کتاب همکاری داشته‌اند. زهیر منیر به سبب برده‌بازی در آموزش مفاهیم پایه‌ای، تفجوشی سهم عمده‌ای را در این همکاری داراست. مؤلف خود را مدیون لطف دانشجویان پیشین می‌داند که این به سبب مباحثه، پرسش‌ها، روش‌های اندازه‌گیری‌ها و محاسبات، مدل‌سازی، تئوری‌ها و آزمایش مفاهیم تفجوشی است و تمامی این‌ها قسمت‌هایی از کتاب را تشکیل داده‌اند. علاوه بر این، مؤلف سپاسگزار بسیاری از دانشجویان و دوستانی است که با نظرات خود در سرنوشت سوم و پنجم دست‌نوشته کمک کرده‌اند و قدردان زحمات انیمیشن‌ساز، ریچارد برات، کریج دیوی، زاک فانگ، پائول فونکن‌بوش، آنتونی گریفو، جونا گروزا، رونالد آباکوکا، جان جانسون، کریگ کینگ، آلن لاولی، ایکسیونگ لیو، دیپک مادان، تیموتی مک‌کابه، کی.اس. ناراسیمان، تریسی پاتریک، جیمز رابین، جیمز راورز، گراهام شافر، تی.اس. شیواشانکار، راجیو تاندون، انیش اوپادایا، تیم ویور، دونالد وایل و مودجن یانگ است. از رابین اسمعیل که در تنظیم فصل‌ها، شکل‌ها، طرح‌ها و تصویرهای متن‌کویش بوده است، کمال تشکر را دارد. در انتها، مؤلف از پسرش گارت به سبب تلاش در خلق طرح‌ها و تصویرها سپاسگزار است. برای ایشان به‌عنوان کارتون‌نویس، فقدان آزادی عمل در رسم تصویرها حس‌دهنده بوده است.

راندال. ام. جرمن