

بسم الله الرحمن الرحيم

رفتارشناسی ترمومکانیکی مواد

مهندسی

بر مبنای اطلاعات دیلاتومتری

تألیف

دکتر مالک نادری

سینا سالاری

زمستان ۱۳۹۳

شابک

:978-964-463-580-9

شماره کتابشناسی ملی

:۳۶۵۳۱۸۳

عنوان و نام پدیدآور

: رفتارشناسی ترمومکانیکی مواد مهندسی : بر مبنای اطلاعات دیلاتومتری /تالیف مالک نادری، سینا سالاری.

مشخصات نشر

: تهران : دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)، ۱۳۹۳.

مشخصات ظاهری

: ۳۶۴ ص.

عنوان دیگر

: بر مبنای اطلاعات دیلاتومتری.

موضوع

: مواد -- آزمایش‌ها

موضوع

: مهندسی مواد

رده بندی دیویی

: ۶۲۰/۱۱۰۲۸۷

رده بندی کنگره

: TA۳۱۰/۷۱۳۹۳

سرشناسه

: نادری، مالک، ۱۳۵۲ -

شناسه افزوده

: سالاری، سینا، ۱۳۶۶ -

شناسه افزوده

: دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)

وضعیت فهرست نویسی

: دیبا



انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر

(پلی تکنیک تهران)

این کتب در جلسه مورخ ۱۳۹۳/۲/۲۸ شورای چاپ و

نشر دانشگاه صنعتی امیرکبیر به تصویب رسیده است.

عنوان کتاب

: رفتارشناسی ترمومکانیکی مواد مهندسی بر مبنای اطلاعات دیلاتومتری

تالیف

: دکتر مالک نادری - سینا سالاری

ناشر

: انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)

لیتوگرافی چاپ و صحافی

: انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)

چاپ اول

: زمستان ۱۳۹۳

تیراژ

: ۱۰۰۰ نسخه

قیمت

: ۱۹۰۰۰ تومان

تلفن مرکز پخش: ۶۶۴۹۸۸۶۸

شابک

: ۹۷۸-۹۶۴-۴۶۳-۵۸۰-۹

ISBN : 978-964-463-580-9

آدرس : خیابان ولیعصر روبروی خیابان بزرگمهر، فروشگاه کتاب مرکز نشر دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)

حق چاپ برای ناشر محفوظ است

این کتاب برای جلوگیری از انتشار غیر مجاز رمزگذاری شده است

فهرست مطالب

صفحه

عنوان

I.....پیشگفتار

فصل اول: مبانی انبساط حرارتی ۱

۱-۱- منشأ وقوع انبساط حرارتی از دیدگاه تئوری..... ۲

۲-۱- ضریب انبساط حرارتی خطی..... ۴

۱-۲-۱- تعریف ضریب انبساط حرارتی خطی در محدوده‌ای از دما..... ۵

۲-۲-۱- تعریف ضریب انبساط حرارتی خطی در یک دمای مشخص..... ۷

۳-۲-۱- مقایسه‌ی مقادیر..... ۸

۳-۱- ضریب انبساط حرارتی حجمی..... ۸

۴-۱- ارتباط میان ضریب انبساط حرارتی خطی و حجمی در مواد همسان‌گرد..... ۱۰

۵-۱- ضریب انبساط حرارتی خطی مواد مغناطیسی..... ۱۲

۶-۱- ملاحظات کاربردی در رفتار حرارتی فلزات و آلیاژهای فلزی..... ۱۳

۷-۱- استانداردها..... ۱۵

۱۷.....مراجع

فصل دوم: ساختار دیلاتومتر و انواع آن ۱۹

۱-۲- دیلاتومتر با میله‌ی رابط..... ۲۰

۱-۱-۲- ساختار کلی دیلاتومتر..... ۲۰

۲-۱-۲- مفهوم اندازه‌گیری انبساط..... ۲۲

۳-۱-۲- دیلاتومتر با یک میله‌ی رابط..... ۲۴

۴-۱-۲- دیلاتومتر با دو میله‌ی رابط..... ۲۵

۵-۱-۲- دیلاتومتر با آرایش عمودی..... ۲۸

۶-۱-۲- میله‌ی رابط..... ۲۹

۳۱	۷-۱-۲- محفظه
۳۳	۸-۱-۲- اندازه گیری تغییرات دما
۴۴	۹-۱-۲- سیستم گرمایش نمونه
۵۰	۱۰-۱-۲- اتمسفر در دیلاتومتر
۵۱	۱۱-۱-۲- اندازه گیری تغییرات ابعادی- مبدل تفاضلی متغیر خطی
۵۴	۱۲-۱-۲- مشخصات نمونه
۵۷	۲-۲- دیلاتومترهای پُر سرعت
۵۸	۱-۲-۲- دیلاتومترهای پُر سرعت با گرمایش القایی
۶۰	۲-۲-۲- دیلاتومترهای پُر سرعت با گرمایش مقاومتی مستقیم
۶۲	۳-۲-۲- اندازه گیری دما در دیلاتومترهای پُر سرعت
۶۳	۴-۲-۲- نوع و استاندارد تهیه نمونه در دیلاتومترهای پُر سرعت
۶۶	۳-۲- تداخل سنجی
۶۸	۱-۳-۲- اساس تداخل سنجی
۶۹	۲-۳-۲- تداخل سنج مایکلسون
۷۲	۳-۳-۲- تداخل سنج فیزو
۷۴	۴-۳-۲- نمونه ی آزمون
۷۵	۵-۳-۲- اتمسفر در تداخل سنج ها
۷۶	۶-۳-۲- اندازه گیری دما
۷۷	۴-۲- دیلاتومتر خازنی
۷۸	۱-۴-۲- اصول کلی دیلاتومترهای خازنی
۸۰	۲-۴-۲- سیستم سرمایش و گرمایش
۸۲	۳-۴-۲- اندازه گیری دما
۸۲	۴-۴-۲- انواع دیلاتومتر خازنی از دیدگاه اندازه گیری ظرفیت
۸۷	۵-۴-۲- انواع دیلاتومتر خازنی از دیدگاه انحراف میان صفحات خازن
۹۷	۵-۲- تحلیل کننده های ترمومکانیکی
۹۷	۱-۵-۲- تحلیل کننده های ترمومکانیکی عمودی
۱۰۰	۲-۵-۲- تحلیل کننده های ترمومکانیکی افقی
۱۱۶	مراجع

فصل سوم: نمودارهای دیلاتومتری.....	۱۲۱
۱-۳- نمودارهای دیلاتومتری در فلزات و آلیاژها.....	۱۲۱
۱-۳-۱- نمودارهای انبساط خطی- دما.....	۱۲۱
۱-۳-۲- نمودارهای انبساط خطی- زمان.....	۱۳۲
۲-۳- نمودارهای دیلاتومتری در پلیمرها.....	۱۳۵
۳-۳- نمودارهای دیلاتومتری در سرمایه‌ها.....	۱۴۱
مراجع.....	۱۴۴
فصل چهارم: کالیبراسیون دیلاتومترها.....	۱۴۷
۱-۴- کالیبراسیون اندازه‌گیری تغییرات ابعادی.....	۱۴۸
۲-۴- تخمین دقت اندازه‌گیری انبساط حرارتی خطی.....	۱۵۱
۳-۴- کالیبراسیون اندازه‌گیری دما.....	۱۵۲
مراجع.....	۱۵۹
فصل پنجم: نمودارهای غیر تعادلی سیستمیک استحالتهی فازی.....	۱۶۱
۱-۵- رسم نمودارهای غیر تعادلی سیستمیک استحالتهی فازی.....	۱۶۲
۲-۵- نمودارهای TTA.....	۱۶۴
۱-۲-۵- نمودارهای ITH.....	۱۶۶
۲-۲-۵- نمودارهای CHT.....	۱۷۰
۳-۲-۵- تأثیر ساختار اولیه بر نمودارهای TTA.....	۱۷۶
۳-۵- نمودارهای TTT.....	۱۷۹
۱-۳-۵- نمودارهای IT.....	۱۷۹
۲-۳-۵- استاندارد رسم نمودارهای IT.....	۱۸۷
۳-۳-۵- نمودارهای CCT.....	۱۹۰
۴-۳-۵- استاندارد رسم نمودارهای CCT.....	۱۹۵
۴-۵- تأثیر تغییر شکل پلاستیک آستنیت بر سیستمیک دگرگونی‌های فازی و نمودارهای DCCT.....	۱۹۷
۱-۴-۵- مکانیزم وقوع تحول‌های فازی.....	۱۹۷

۲۰۰	۵-۴-۲- تأثیر تغییر شکل پلاستیک آستنیت بر دگرگونی‌های بازسازنده
۲۰۲	۵-۴-۳- تأثیر تغییر شکل پلاستیک آستنیت بر دگرگونی مارتنزیتی
۲۰۶	۵-۴-۴- تأثیر تغییر شکل پلاستیک آستنیت بر تحول بینتی
۲۰۹	مراجع

۲۱۱	فصل ششم: تغییر شکل داغ و مدل‌سازی رفتار تنش سیلان
۲۱۱	۶-۱- مدل‌سازی و روابط ترکیبی
۲۱۳	۶-۲- مکانیزم‌های ترمیم ساختار
۲۱۴	۶-۲-۱- بازیابی دینامیک
۲۱۴	۶-۲-۲- تبلور مجدد دینامیک
۲۱۸	۶-۳- مدل‌های ترکیبی تجربی
۲۱۸	۶-۳-۱- تأثیر تغییر شکل غیر همگن بر مدل‌سازی ترکیبی
۲۲۰	۶-۳-۲- تأثیر گرمای آدیاباتیک بر مدل‌سازی ترکیبی
۲۲۴	۶-۳-۳- مدل آرنیوس
۲۳۲	۶-۴- مدل مولیناری-راویچاندرا
۲۳۷	۶-۵- مدل وُس-کوکس
۲۴۰	۶-۶- دقت نتایج پیش‌بینی شده در مدل‌سازی ترکیبی
۲۴۱	۶-۴- نرخ کار سختی
۲۴۶	مراجع

۲۴۹	فصل هفتم: تحلیل کمی استحاله‌های فازی در فولادها با استفاده از متحنی‌های دیلاتومتری
۲۵۰	۷-۱- قانون اهرم
۲۵۳	۷-۲- روابط اتمی
۲۵۴	۷-۲-۱- حجم اتمی فازی
۲۵۴	۷-۲-۲- پارامتر شبکه
۲۵۸	۷-۳- استحاله‌ی آستنیت به فریت پرویوتکتوئید و پرلیت
۲۶۰	۷-۳-۱- مدل کُپ
۲۶۵	۷-۳-۲- مدل چوی

۲۷۱	۳-۳-۷- تجزیه‌ی تعادلی آستنیت با در نظر گرفتن انبساط غیر همسان‌گرد
۲۷۹	۴-۷- استحاله‌ی آستنیت تحت شرایط غیر تعادلی (مدل تبدیلی)
۲۸۴	۵-۷- تشکیل آستنیت طی گرمایش فولادهای هیپریوتکتوئید
۲۸۶	۱-۵-۷- مدل سن مارتین
۲۸۹	۲-۵-۷- تشکیل آستنیت با در نظر گرفتن انبساط ناهمسان‌گرد
۲۹۲	۶-۷- تشکیل آستنیت طی گرمایش فولادهای هایپریوتکتوئید
۲۹۹	۷-۷- محاسبه‌ی مقدار مازتنزیت در شرایط ترمومکانیکی
۳۰۵	مراجع

پیوست الف- رفتار انبساط حرارتی برخی مواد مرجع ۳۰۷

پیوست ب- برخی مشخصات و ثوابت در ترموکوپل‌ها ۳۱۵

پیوست ج- مدل دیلاتومتری تبدیلی برای کمی‌سازی سینتیک تشکیل آستنیت در فولادهای
هیپریوتکتوئید و هایپریوتکتوئید ۳۱۷

واژه‌یاب ۳۲۵

واژه‌نامه‌ی فارسی به انگلیسی ۳۳۱

واژه‌نامه‌ی انگلیسی به فارسی ۳۴۱

پیش گفتار مؤلفین

علم و مهندسی مواد، رابطه‌ی قوی و تنگاتنگی با هم دارند. با مطالعه و استخراج مبانی علمی رفتار مواد مهندسی، پیاده کردن و استاندارد سازی فرآیندهای مهندسی مواد از جمله شکل دادن، ریخته گری، عملیات حرارتی، پوشش دادن و سایر روش‌ها، ساده و امکان پذیرتر می‌شود. از سوی دیگر، با انجام فرآیندهای مهندسی متالورژی و استخراج داده‌های تجربی، اصول و مبانی علمی ساختار، خواص و رفتار مواد تثبیت و تشریح می‌گردد.

در بسیاری از موارد، محقق و یا صنعت‌گر به دنبال بررسی و تحلیل خواص و رفتار مواد در دمای کاری اتاق و یا محیط اطراف است و به همین دلیل، بسیاری از آزمون‌ها و استانداردها، شرایط و الزامات مطالعه‌ی رفتار مواد مهندسی در دمای محیط را تبیین می‌نمایند. البته، در برخی موارد نیز، خواص ماده در یک دمای مشخص مورد علاقه بوده که آزمون‌های ویژه‌ای مانند آزمون‌های کشش، ضربه و فشار در دماهای بالا یا پایین برای این شرایط طراحی شده است.

شاید، مهم‌تر از مطالعه و اندازه‌گیری خواص ماده در یک دمای مشخص، تحلیل و روند رفتار آن ماده در گذر از یک محدوده‌ی دمایی مشخص طی یک فرآیند مهندسی و متالورژیکی باشد. طی نورد داغ یک شمش، پتک‌کاری داغ یک قطعه فولاد زنگ نزن، عملیات حرارتی یک کلاف فولادی و یا اکستروژن یک شمش برنجی، نه تنها با تغییر دما مواجه هستیم، بلکه سیلان و تغییر شکل ماده نیز رخ می‌دهد که مطالعه‌ی هر دو و اثر متقابل آن‌ها بر هم، گنجینه‌ای از اطلاعات گران‌بها و ارزشمند را در اختیار یک مهندس و یا محقق حوزه‌ی مواد قرار می‌دهد.

در فرآیندهای عملیات حرارتی، رفتار مواد در چرخه‌ای از دماها و در فرآیندهای ترمومکانیکی، تحلیل رفتار و خواص مواد مهندسی در ترکیبی از شرایط دمایی و مکانیکی مورد مطالعه قرار می‌گیرد. تسهیل، دقیق شدن و استاندارد سازی مطالعه‌ی رفتار مواد مهندسی در دماهای بالا، نیازمند ابزار و ادوات آزمایشگاهی پیشرفته است. دیلاتومترها، از جمله‌ی این ادوات بسیار پیشرفته هستند که از سال‌های دور برای مطالعه‌ی رفتار حرارتی مواد بر مبنای

انقباض و انبساط طولی و یا حجمی آن‌ها، مورد استفاده قرار گرفته‌اند. از این ابزار، برای مطالعه و استخراج اطلاعات بسیار متنوعی از جمله دماهای بحرانی در دگرگونی‌های فازی طی یک فرآیند حرارتی، استفاده‌های متعددی شده است.

در سال‌های اخیر، با تجهیز و توسعه دیلاتومترهای دارای ابزارهای اعمال تغییر شکل، درجه‌های بسیار نویی و ارزشمندی برای مطالعه و تحلیل رفتار ترمومکانیکی مواد مهندسی گشوده شده است. تجهیز این ابزار ارزشمند به سیستم‌ها و تحلیل‌گرهای الکترونیکی و مکانیکی پیشرفته و کوره‌ها و سیستم‌های سرمایشی و گرمایشی بسیار پیچیده، تحلیل و مطالعه‌ی کوچک‌ترین و ظریف‌ترین رفتار ماده در یک روند حرارتی را با دقت‌های در مقیاس میکرو و نانومتر فراهم آورده است.

منابع و کتاب‌های بسیار اندکی در زمینه‌ی تحلیل رفتار ترمومکانیکی مواد مهندسی به چاپ رسیده است و جالب این‌که، مؤلفین، کتابی که رفتار ترمومکانیکی مواد را بر مبنای اطلاعات به‌دست آمده از ابزارهای دیلاتومتری ارائه کرده باشد، مشاهده نکرده‌اند. این خلأ اطلاعاتی و منابع علمی و همچنین، تجربه‌ی چندین ساله‌ی مؤلفین در استخراج و مطالعه‌ی رفتار مواد مهندسی بر مبنای اطلاعات دیلاتومتری، زمینه‌ساز طبع و نگارش این کتاب گردیده است.

در این کتاب، پس از توضیح مبانی انبساط حرارتی در فصل اول، در یک فصل کامل و جامع، مبانی دیلاتومتری و توضیحات دستگاهی برای انواع دیلاتومترها ارائه شده است. در فصل سوم، نمودارهای حاصل از دیلاتومتری، به دقت تشریح گردیده است. پس از فصل چهارم با عنوان کالیبراسیون دیلاتومترها، یکی از مهم‌ترین بهره‌برداریه‌ها از نتایج آزمون‌های دیلاتومتری در ترسیم منحنی‌های زمان-دما-استحاله TTA و TTT با ذکر مثال‌های متنوع، در فصل پنجم مورد بحث قرار گرفته است. در فصل ششم، مدل‌سازی رفتار ترمومکانیکی مواد در یک چرخه‌ی حرارتی-مکانیکی با ذکر چند مثال کاربردی و با استفاده از نتایج آزمون‌های دیلاتومتری دارای واحد تغییر شکل مورد تحلیل قرار گرفته است. در نهایت، در فصل هفتم، روش‌هایی برای آنالیز کمی تبدیل فازها در فرآیندهای حرارتی و حرارتی-مکانیکی با ابزارهای پیشرفته‌ی دیلاتومتری، ارائه شده است.

بدیهی است، نگارش هر اثر علمی هرچند بر پایه‌ی تلاش، دقت و تجربه صورت گرفته

باشد، خالی از اشکال، خطا و نقصان نخواهد بود. بیان ایرادها و نقطه نظرات اصلاحی از طرف محققین، کاربران و صنعت‌گران حوزه‌ی مواد مهندسی، مورد امتنان نویسندگان خواهد بود.

www.ketab.ir