

کزین برتر اندیشه برنگذرد
خداوند روزی ده رهنمای

به نام خداوند جان و خرد
خداوند نام و خداوند جای

پوشش های سد حرارتی آشنایی - طراحی

مؤلف : Mohit Gupta

مترجمین : گروه مترجمین مهندسی مواد

مهندس امیر جابری

(کارشناس ارشد مهندسی مواد؛ دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران)

مهندس شهرام محبوبی زاده

(دانشجوی دکتری مهندسی مواد؛ دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران)

مهندس شیرین صادقی

(کارشناس مهندسی مواد؛ دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران)

مهندس آناهیتا چشمه خضر

(کارشناس مهندسی مواد؛ دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران)

مهندس سمیرا اصلانی

(کارشناس مهندسی مواد؛ دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران)

سرشناسنامه	: گوپتا، موهیت – Gupta, Mohit
عنوان و نام پدیدآور	: پوشش‌های سد حرارتی آشنایی - طراحی / [موهیت گوپتا]: مترجمین امیرجابری... [و دیگران].
مشخصات نشر	: تهران: انتشارات دکتر مقصودی، ۱۳۹۸.
مشخصات ظاهری	: ۱۱۰ ص.
شابک	: 978-600-9227-60-0
وضعیت فهرست نویسی	: فیپا
یادداشت	: عنوان اصلی Design of thermal barrier coatings: a modelling approach, 2015
یادداشت	: مترجمین امیر جابری، شهرام محبوبی‌زاده، شیرین صادقی، آناهیتا چشمه‌خضر، سمیرا اصلانی.
موضوع	: انرژی -- مصرف -- مهندسی حرارت -- خوردگی -- پوشش‌های محافظ
موضوع	: Energy consumption – Heat engineering – Corrosion and ant – corrosives – Protective coatings
شناسه افزوده	: جابری: امیر، ۱۳۶۹ – مترجم
رده‌بندی کنگره	: HD۹۵۰۲
رده‌بندی دیویی	: ۳۳۳/۷
شماره کتابشناسی ملی	: ۵۸۰۵۷۷۴

این اثر، مشمول قانون حمایت مؤلفان و مصنفان و هنرمندان مصوب ۱۳۴۸ است، هرکس تمام یا قسمتی از این اثر را بدون اجازه مؤلف، ناشر نشر یا پخش یا عرضه کند مورد پیگرد قانونی قرار خواهد گرفت.

شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۹۲۲۷-۶۰-۰

ISBN 978-600-9227-60-0

- نام کتاب : پوشش‌های سد حرارتی آشنایی - طراحی
- مولف : Mohit Gupta
- مترجمین : گروه مترجمین مهندسی مواد (مهندس امیر جابری، مهندس شهرام محبوبی‌زاده، مهندس شیرین صادقی، مهندس آناهیتا چشمه خضر، مهندس سمیرا اصلانی)
- ناشر : دکتر مقصودی (با همکاری نشر طراح)
- صفحه‌آرا : فاطمه نیکبختیان
- تیراژ : ۵۰ جلد
- نوبت چاپ : اول، پاییز ۱۳۹۸

کلیه حقوق برای نشر دکتر مقصودی محفوظ است.

آدرس انتشارات: گیشا - خیابان ۱۱ - پلاک ۵۸ - واحد ۹

آدرس پخش: خیابان انقلاب - مقابل دانشگاه تهران - ساختمان فروزنده - طبقه منفی یک واحد ۲۰۸

(تلفن: ۷۹۹۹ ۶۶۴۶ و ۶۶۹۵۱۸۳۲ و ۶۶۹۵۱۸۳۱ -۰۲۱ - فکس: ۳۶۲۶ ۶۶۹۵ -۰۲۱ - و ۳ ۱۱۲ ۱۱۲ ۹۱۲ -۰)

مقدمه مؤلف

پوشش‌های سد حرارتی (TBC) به‌عنوان عناصر کلیدی در طراحی توربین‌های گازی پیشرفته به شمار می‌روند. TBCها به‌طور گسترده در طیف وسیعی از قطعات جانبی توربین‌های گازی نظیر موتورهای مولد برق دریایی و هوایی استفاده می‌شوند. بکارگیری از TBCها، افزایش راندمان توربین‌های گازی را همراه با ارتقاء عمر مفید قطعات به‌دلیل حفاظت حرارتی بالای خود موجب می‌شوند. در این زمینه تحقیقاتی شگرف به‌منظور تداوم پیاده‌سازی سیستم‌های پوششی پیشرفته نوین برای دستیابی به میزان نشر کمتر از آلاینده‌ها همراه با کاهش هزینه سوخت، در حال انجام می‌باشد.

پوشش‌های TBC با عملکرد بالا هدایت حرارتی پایین، تحمل فشار بالا و عمر مفید طولانی را ارائه می‌دهند. بدین ترتیب، این سه ویژگی نیاز به بهینه‌سازی بوسیله ی کنترل عیوب ریزساختاری به‌منظور حفظ خواص حرارتی-مکانیکی TBCها همراه با افزایش زبری فصل مشترک اتصال-پوشش را که عامل تعیین‌کننده در عمر کاربری بالای آنهاست، دارند. هدف از این کتاب، توصیف مدلی از طراحی است که بتواند به منظور دستیابی به یک TBC بهینه برای استفاده در نسل آتی از توربین‌های گازی استقرار یابد.

فصل اول به بیان موضوع در جزئیات پرداخته و گستره وسیع این قطعات را توصیف می‌دارد. اطلاعات زمینه‌ای جامع درباره فناوری فرآوری و مواد به کار رفته در قطعات TBC، در فصل دوم این کتاب ارائه می‌شود. ویژگی‌های وابسته به ریزساختار در این قطعات، خواص و مکانیزم‌های شکست از موضوعات بحث شده در فصل سوم می‌باشند. روش‌ها و متدهای آزمایشگاهی متداول در مشخصه‌یابی قطعات TBC نیز به طور خلاصه در فصل چهارم آورده شده‌اند.

فصل پنجم، رویکردی بر پایه شبیه‌سازی را به‌منظور طراحی خواص حرارتی-مکانیکی مطلوب در قطعات TBC که عموماً شامل تصاویر ریزساختاری حقیقی همراه با دیگر تصاویر ساختگی در این باره است را با توصیف نتایج حاصل از بکارگیری چنین روشی بیان می‌دارد. فصل ششم نیز به دنبال ارائه رویکردی متفاوت بر اساس شبیه‌سازی در طراحی زبری فصل مشترک سطوح اتصالی-پوششی در این قطعات بوده و شامل مواردی همچون مشخصات دقیق زبری فصل مشترک حقیقی و نتایج حاصل از استقرار چنین متدی می‌باشد. فصل هفتم به توصیف رویکرد شبیه‌سازی براساس تئوری نفوذ به‌منظور مطالعه دقیق‌تر نحوه

تشکیل لایه اکسیدی در این قطعات در حین شرایط کاربری به همراه نتایج حاصل از اعمال چنین روشی می‌پردازد. در پایان، برآیند حاصل از تمامی رویکردهای مدلسازی توصیفی در فصول مختلف کتاب، در فصل آخر به عنوان متدولوژی طراحی TBCهای بهینه ارائه می‌گردد.

فعالیت علمی حاضر با همکاری مرکز فناوری تولید (PTC) ترولهاتن سوئد به عنوان بخشی از گروه تحقیقات پاشش حرارتی در دانشگاه وست صورت پذیرفته است. بخش اصلی این پژوهش در طول مطالعات دکتری نویسنده انجام گرفته است. نویسنده علاقه‌مند می‌باشد تا مراتب سپاسگزاری و قدردانی ویژه خود را نسبت به سرپرست و ناظر اصلی خود در پژوهش دکتری، پروفیسور پرنایلن، بدلیل راهنمایی‌ها، حمایت بی‌شائبه و پیشنهادات ارزشمندشان در حین گردآوری این مجموعه ابراز دارد.

موهبت گوپتا - ترولهاتن، سوئد

۲۵ فوریه ۲۰۱۵

مقدمه مترجم

سیاس بیکران پروردگار را که به انسان قدرت اندیشیدن بخشید تا به یاری این موهبت راه ترقی و تعالی را بییماید. امید به این که عنایات الهی شامل حال ما بوده تا با بضاعت اندک علمی خود در خدمت میهن عزیزمان باشیم.

گسترده علوم و توسعه روز افزون آن، شرایطی را به وجود آورده است که هر روز شاهد تحولات اساسی چشمگیری در سطح جهان هستیم. این گسترش و توسعه نیاز به منابع مختلف از جمله کتاب را به عنوان قدیمی ترین و آسان ترین راه دستیابی به اطلاعات و اطلاع رسانی، بیش از پیش روشن می نماید.

در همین راستا گروه مترجمین مهندسی مواد با همکاری جمعی از نخبگان، پژوهشگران، مؤلفان و مترجمان مجرب در صدد است تا با تلاش های دائمی خود منابعی معتبر و با کیفیت را در اختیار متقاضیان و علاقه مندان حوزه مهندسی مواد قرار دهد.

امید است تا این مجموعه نقشی هر چند کوچک را در جهت ترویج علم و فرهنگ ایفا نماید. در خاتمه از اساتید، خوانندگان و دانشجویان عزیز خواهشمندیم تا با ارائه پیشنهادات، انتقادات و نظرات خود ما را در انجام بهتر امور یاری رسانند.

امیر جابری

سرپرست گروه مترجمین مهندسی مواد

تابستان ۱۳۹۷

فهرست VII

مقدمه (۱-۵)	فصل ۱
۴	۱-۱ محدوده و گستره
دورنمای گذشته (۷-۱۵)	فصل ۲
۷	۱-۲ پاشش حرارتی
۸	۱-۱-۲ پاشش پلاσμα اتمسفری
۹	۲-۱-۲ پاشش اکسیژنه سریع
۹	۳-۱-۲ پاشش پلاσμα تزریق مایع
۱۰	۲-۲ پوشش‌های سد حرارتی
۱۱	۳-۲ ساختار پوشش
۱۱	۴-۲ عوامل فرآیندی
۱۲	۵-۲ مواد پوششی برای TBC
۱۲	۱-۵-۲ لایه پوششی
۱۴	۲-۵-۲ لایه اتصالی
۱۵	۳-۵-۲ اکسیدهای پیشرو حرارتی
خواص قطعات TBC (۱۷-۳۱)	فصل ۳
۱۷	۱-۳ ریزساختار
۲۰	۲-۳ مکانیزم انتقال حرارت
۲۰	۱-۲-۳ تئوری عمومی
۲۲	۲-۲-۳ کاربرد TBCهای
۲۴	۳-۳ رفتار مکانیکی
۲۴	۱-۳-۳ شکل‌گیری تنش
۲۵	۲-۳-۳ مدول یانگ (الاستیسیته)
۲۵	۳-۳-۳ خواص غیرخطی
۲۷	۴-۳ زبری فصل مشترک
۲۷	۱-۴-۳ رابطه‌ی زبری با طول عمر
۲۸	۲-۴-۳ نظریه وارونگی تنش
۲۹	۵-۳ شکل‌گیری لایه اکسیدی
۳۱	۶-۳ مکانیزم شکست

فهرست VIII

روش‌های تجربی TBC (۴۱-۳۳)	فصل ۴
--	--------------

- | | | |
|----|---------------------------------|--|
| ۳۳ | ۱-۴ ویژگی‌های ریزساختار | |
| ۳۴ | ۲-۴ اندازه‌گیری هدایت حرارتی | |
| ۳۵ | ۳-۴ اندازه‌گیری مدول الاستیسیته | |
| ۳۷ | ۴-۴ اندازه‌گیری زبری | |
| ۳۹ | ۵-۴ آزمون تخمین طول عمر | |

شبیه‌سازی خواص قطعات TBC (۶۴-۴۳)	فصل ۵
---	--------------

- | | | |
|----|----------------------------------|--|
| ۴۳ | ۱-۵ هدایت حرارتی | |
| ۴۳ | ۱-۱-۵ مدلسازی تحلیلی | |
| ۴۶ | ۲-۱-۵ مدلسازی عددی | |
| ۴۸ | ۲-۵ مدول یانگ (الاستیسیته) | |
| ۴۸ | ۱-۲-۵ مدلسازی تحلیلی | |
| ۴۹ | ۲-۲-۵ مدلسازی عددی | |
| ۴۹ | ۵-۲ مدلسازی المان محدود | |
| ۵۰ | ۱-۳-۵ مبانی FEM و FDM | |
| ۵۱ | ۲-۳-۵ مدلسازی تصویری المان محدود | |
| ۵۶ | ۴-۵ شبیه‌ساز مورفولوژی پوشش | |
| ۵۸ | ۵-۵ پژوهش‌های صورت گرفته اخیر | |

شبیه‌سازی زبری سطوح مشترک در قطعات TBC (۷۱-۶۵)	فصل ۶
---	--------------

- | | | |
|----|------------------------------|--|
| ۶۵ | ۱-۶ مدلسازی ساده زبری سطح | |
| ۶۶ | ۲-۶ رابطه واقعی مدلسازی سختی | |
| ۶۷ | ۱-۲-۶ رویکرد دوبعدی | |
| ۶۸ | ۲-۲-۶ رویکرد سه بعدی | |
| ۶۹ | ۳-۶ نتایج | |

شبیه‌سازی لایه اکسیدی پیشرو در TBC (۸۱-۷۳)	فصل ۷
---	--------------

- | | | |
|----|--------------------------------|--|
| ۷۴ | ۱-۷ شبیه‌سازی نفوذی | |
| ۷۴ | ۱-۱-۷ فعالیت‌های پیشین | |
| ۷۵ | ۲-۱-۷ شبیه‌سازی حقیقی زبری سطح | |

فهرست IX

۷۷

۳-۱-۷ پژوهش‌های اخیر

۷۹

۲-۷ آمیختگی لایه اکسیدی پیشرو

فصل ۸ جمع‌بندی: یک قطعه TBC چگونه طراحی می‌شود؟ (۸۳-۸۴)

۸۴

۱-۸ پژوهش‌های آینده

مراجع (۸۵-۹۸)