

حفاظت حرارتی

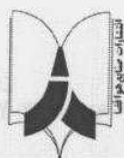
نویسندگان:

ی. و. پالزایف و اف. ب. یوروچ

(اسکو ۱۹۷۶)

ترجمه:

رجبعلی رضایی‌بنا



انتشارات صنایع هوافضا

سرشناسه	: پولژایف، یو. و. Polezhayev, Yu V.
عنوان و نام پدیدآور	: حفاظت حرارتی / نویسندگان یو. و. پولژایف و اف. ب. یورویچ؛ ترجمه رجبعلی رضایی بنا.
مشخصات نشر	: تهران: سازمان صنایع هوافضا، ۱۳۹۵.
مشخصات ظاهری	: ۵۵۴ص: مصور، جدول، نمودار.
شابک	: ۹۷۸-۹۶۴-۲۷۵۱-۴۶-۴
وضعیت فهرست نویسی	: فیبا
یادداشت	: کتابنامه.
موضوع	: عایق ها و عایق سازی حرارتی
موضوع	: Insulation (Heat)
موضوع	: آیرودینامیک -- ریاضیات
موضوع	: Aerodynamics -- Mathematics
موضوع	: ترمودینامیک
موضوع	: Thermodynamics
شناسه افزوده	: یورویچ، اف. ب.
شناسه افزوده	: Yurevich, F. B.
شناسه افزوده	: رضایی بنا، رج. مل. ۱۳۵۳ -
شناسه افزوده	: سازمان صنایع هوافضا
رده بندی کنگره	: ۱۳۹۵ ج ۹، ص ۱۷۱، T
رده بندی دیویی	: ۶۹۳/۸۳۲
شماره کتابشناسی ملی	: ۴۵۷۲۶۲۶



نام کتاب: حفاظت حرارتی

نویسندگان: یو. و. پولژایف و اف. ب. یورویچ (مسکو ۱۹۷۶)

ترجمه: رجبعلی رضایی بنا

صفحه آرا و طراح جلد: صابرگرافیک

توزیع: انتشارات اندیشگاه فناوری های نوین، ۷۷۲۶۳۳۴۳

سایت: www.aeroshop.ir

نوبت چاپ: اول - ۱۳۹۶

شمارگان: ۵۰۰ نسخه

قیمت: ۳۸۰۰۰ تومان

شابک: ۹۷۸-۹۶۴-۲۷۵۱-۴۶-۴

کلیه حقوق چاپ برای نشر محفوظ است.

نقل مطالب فقط با ذکر مشخصات کامل کتاب و با اشاره به نام ناشر مجاز است.

آدرس: تهران، میدان نوبنیاد، خیابان شهید لنگری، سازمان صنایع هوافضا تلفن: ۲۳۰۲۲۲۳۰

فهرست مطالب

۱۰	پیش‌گفتار.....
۱۳	مقدمه.....
۲۳	فصل اول: روش‌های حفاظت حرارتی.....
۲۴	۱-۱ جذب و ذخیره گرما توسط اجسام جامد.....
۲۷	۲-۱ خنک‌کاری به روش جابجایی.....
۲۸	۳-۱ خنک‌کاری با استفاده از انتقال جرم.....
۳۴	۴-۱ خنک‌کاری تابشی.....
۴۰	۵-۱ کنترل انتقال حرارت به روش الکترومغناطیسی.....
۴۱	۶-۱ حفاظت حرارتی اجسام در نتیجه تغییرات شیمیایی و فیزیکی در سطح آن‌ها.....
۴۷	فصل دوم: انتقال حرارت جابجایی در جریان گاز گرم با سرعت‌های خیلی بالا.....
۴۷	۱-۲ مدل گاز دینامیکی جریان گاز دما بالا روی جسم.....
۴۹	۲-۲ جریان در اطراف نقطه سکون.....
۵۲	۳-۲ فرایندهای شیمیایی و فیزیکی در لایه‌ی متراکم.....
۵۸	۴-۲ معادلات حاکم بر لایه‌ی مرزی آرام چند جزیی.....
۶۸	۵-۲ تشابه بین انتقال جرم و حرارت با اصطکاک.....
۷۷	۶-۲ توزیع شار حرارتی در سطح جسم.....
۸۵	فصل سوم: انتقال حرارت به داخل سپرهای حرارتی.....
۸۵	۱-۳ تاثیر شار حرارتی بر تغییرات دمای سطح با زمان.....
۹۶	۲-۳ تاثیر فداشوندگی جرمی به‌صورت پسروری سطح روی توزیع دما در داخل پوشش محافظ حرارتی.....
۱۱۱	۳-۳ پارامترهای مشخصه برقراری رژیم اتومدلی و شبه پایدار.....
۱۲۰	۴-۳ تاثیر متغیر بودن خواص ترموفیزیکی روی پروفیل دما.....
۱۲۹	۵-۳ تاثیر تغییرات شیمیایی و فیزیکی داخلی روی توزیع دما.....
۱۴۲	۶-۳ رابطه بین ضخامت لایه فدا شده و ضخامت ناحیه گرم شده در سپرهای حرارتی فداشونده.....

فصل چهارم: خنک کاری تراوشی (تخلخلی)..... ۱۴۷

۱-۴ ساختار مواد متخلخل و ۱۴۷

۲-۴ هدایت حرارتی در جسم متخلخل ۱۵۴

۳-۴ انتقال حرارت بین جسم متخلخل و سیال خنک کننده ۱۶۲

۴-۴ فرآیندهای فیزیکی در اطراف نقطه سکون و در لایه مجاور سطح متخلخل

وقتی که دمش گاز وجود داشته باشد ۱۶۶

۵-۴ تشابه بین انتقال جرم و حرارت و تنش سطحی ۱۷۸

فصل پنجم: اصول شیمیایی و فیزیکی تخریب سپرهای حرارتی ۱۸۷

۱-۵ مفهوم مکانیزم تعیین کننده تخریب ۱۸۷

۲-۵ مشخصه‌های برای مقایسه عملکرد سپرهای حرارتی فداشونده ۱۹۷

۳-۵ تخریب ناپایدار مواد محافظ حرارتی ۲۰۵

فصل ششم: سپرهای خنک‌کننده تجزیه‌شونده و تصعیدشونده ۲۱۱

۱-۶ مواد تصعیدشونده ۲۱۱

۲-۶ مکانیزم تجزیه سپرهای خنک‌کننده (گرم نرم) ۲۱۷

۳-۶ وابستگی پارامترهای تخریب رموپلاست (مواد گرمانرم) نسبت به شرایط جریان خارجی ۲۲۳

۴-۶ رفتار محصولات تجزیه و سرعت تخریب رموپلاست ۲۳۶

۵-۶ مکانیزم تخریب پلیمرهای گرما سخت (رژها) ۲۴۹

فصل هفتم: واکنش‌های بین مواد با اجزای جریان گاز ۲۵۱

۱-۷ سه رژیم اکسیداسیون مواد در دماهای بالا ۲۵۱

۲-۷ رژیم اکسیداسیون سینتیکی و تحت کنترل نفوذ ۲۶۱

۳-۷ تصعید گرافیت ۲۷۵

۴-۷ تاثیر ترکیب گاز بر تخریب گرافیت ۲۸۳

فصل هشتم: سپرهای حرارتی ذوب‌شونده ۲۸۷

۱-۸ مواد شیشه‌ای و مساله ذوب آنها ۲۸۷

۲-۸ فرآیندهای جاری در مرز جدایی بین شیشه و جریان گاز ۲۹۷

۳-۸ رابطه ذوب شبه پایدار مواد شیشه‌ای با خواص ترموفیزیکی آن و پارامترهای جریان بیرونی ۳۱۴

۴-۸ روش‌های تقریبی محاسبه پارامترهای فداشدن مواد شیشه‌ای ۳۲۴

۵-۸ ویژگی‌های فداشدن مواد شیشه‌ای نیمه‌شفاف ۳۴۹

فصل نهم: سپرهای حرارتی کامپوزیتی ۳۵۹

۱-۹ تاثیر ترکیب ماده بر خواص ترموفیزیکی ۳۵۹

۲-۹ انتقال حرارت حالت ناپایدار در مواد کامپوزیتی ۳۷۰

۳-۹ فرآیندهایی که در سطح بیرونی مواد کامپوزیتی رخ می‌دهد ۳۸۰

۳۹۶	۹-۴: گرمای موثر فرآیندهای سطحی
۴۰۴	۹-۵: فرآیندهایی که در لایه زیر سطحی اتفاق می‌افتد
۴۱۶	۹-۶: تاثیر مکانیسم فداشدن و پارامترهای جریان بر ویژگی‌های فداشوندگی سپرهای حرارتی کامپوزیتی در حالت شیه پایدار
۴۳۱	فصل دهم: حفاظت همزمان از گرمایش تابشی و جابجایی
۴۳۱	۱۰-۱: گرمایش تابشی از گاز دما بالا
۴۴۴	۱۰-۲: روش‌های حفاظت حرارتی به هنگام وجود گرمایش جابجایی و تابش
۴۵۲	۱۰-۳: کانیزم تخریب سپرهای حرارتی
۴۵۹	۱۰-۴: پهنه‌ازی سپرهای حرارتی در پرواز با سرعت‌های بین سیاره ای
۴۶۳	فصل یازدهم: روش‌های تجربی بررسی مواد محافظ حرارتی
۴۶۳	۱۱-۱: بررسی‌های تجربی
۴۶۶	۱۱-۲: تجهیزات آزمایشگاهی برای بررسی سپرهای حرارتی
۴۷۰	۱۱-۳: روش‌های اندازه‌گیری آراسترهای جریان گاز دما بالا
۴۸۱	۱۱-۴: مدل‌های مختلف تجهیزات تست و روش‌های انجام آزمایشات
۴۸۹	۱۱-۵: اندازه‌گیری‌های اپتیکی پارامترهای دبرهای حرارتی
۴۹۴	۱۱-۶: بررسی گرم شدن سپرهای آنتی با استفاده از ترموکوپل
۴۹۹	۱۱-۷: روش‌های تعیین خواص ترموفیزیکی سپرهای حرارتی
۵۰۷	۱۱-۸: روش‌های ترموگرویمتری بررسی سنیتیک واکنش‌های پیرولیز
۵۱۱	واژه نامه
۵۱۵	پیوست ۱
۵۱۷	پیوست ۲
۵۱۸	پیوست ۳
۵۲۳	پیوست ۴
۵۳۷	مراجع

پیش‌گفتار

پیشرفت‌های اخیر در زمینه‌ی انرژی و افزایش پارامترهای مختلف در فرآیندهای انتقال انرژی حرارتی مستلزم طراحی و ساخت مواد جدیدی است، به‌طوری‌که این مواد باید خواص حرارتی مناسبی داشته باشند.

تجربیات زیادی در زمینه‌ی ساخت مواد محافظ حرارتی با استحکام بالا در صنایع موشکی و فضایی کسب شده است. به گونه‌ای که پس از یک دوره کوتاه، نوآوری‌های زیادی در زمینه‌ی تکنولوژی ساخت، مزایای دیگر گداز و ترکیبات آن‌ها، سرامیک‌ها و سپرهای حرارتی فداشونده مثل مواد کامپوزیتی و تقویت‌شده صورت گرفته است.

در سال‌های اخیر الزامات موجود در ارتباط با سیستم‌های حفاظت حرارتی در بخش‌های تولید انرژی و نیروی محرکه و نیز در تجهیزات فضایی به یکدیگر نزدیک شده است. بنابراین سعی شده است، مهندسان و متخصصان علوم حرارتی و متخصصان سازه‌های مراکز و ایستگاه‌های تولید انرژی را با روش‌های نوین حفاظت حرارتی و قوانین اساسی انتقال جرم و حرارت در سپرهای حرارتی در همچنین با روش‌های بررسی خواص حفاظت حرارتی این مواد آشنا کرد.

در بخش تولید انرژی، استفاده از روش‌های فوق‌الذکر، این اجازه را می‌دهد که جهت‌گیری‌های اساسی در تولید و بهره‌برداری از مواد محافظ حرارتی انجام گیرد و به روش‌های نوینی در ارتقاء پارامترهای رژیم^۱ در پروسه‌های مرتبط با انرژی حرارتی دست یافت.

۱. منظور از پارامترهای رژیم «پارامترهای مشخص‌کننده یا محدودکننده شرایط کاری آن پروسه» است.

در کتاب حاضر تئوری، حفاظت حرارتی و عایق‌های حرارتی ارایه شده است. توجه اصلی در تهیه‌ی این کتاب روی روش‌ها، مواد و محدوده‌های دمایی کاری که بالاتر از ۱۰۰۰ درجه کلوین قرار دارد، متمرکز شده است. تکنولوژی ساخت و مونتاژ پوشش‌های حرارتی فقط از نقطه نظر مناسب بودن مواد محافظ حرارتی مورد توجه قرار گرفته است. بیشترین توجه این کتاب بر یافتن سیستم حفاظت حرارتی بهینه، آنالیز پروسه‌های انتقال جرم و حرارت و آنالیز پروسه‌های شیمیایی جاری در پوشش‌های محافظ حرارتی می‌باشد. چنین گردآوری و ارایه تئوری‌ها و روش‌های حفاظت حرارتی در ماه‌های بالا برای اولین بار انجام می‌گیرد. کتاب حاضر اولین کتاب ملی در زمینه حفاظت حرارتی است که یافته‌های علمی داخلی و خارجی در این زمینه از صنعت و علم را بعد از ۱۰ الی ۱۵ سال گردآوری می‌کند. در این کتاب داده‌های علمی و تجربی زیادی در زمینه‌ی انتقال حرارت در جریان‌ات گازی یونیزه‌شونده، همچنین مطالبی در خصوص انتقال حرارت به داخل مواد جامد تجزیه‌شونده ارایه شده است؛ که به‌طور مشخص می‌توان این کتاب را به‌عنوان یک کتاب مرجع^۲ معرفی کرد.

کتاب حاضر نه تنها برای استفاده متخصصان در زمینه‌ی انرژی مفید است بلکه برای مهندسان متالورژی، صنایع حرارتی، هوافضا، مهندسان سازه‌های صنایع شیمیایی و بسیاری از صنایعی که در آن‌ها از سیستم‌های حفاظت حرارتی استفاده می‌شود، مفید می‌باشد.

شیوه‌ی تالیف کتاب و ارایه‌ی مباحث پیچیده و نتایج تحقیقات دیگر نویسندگان در زمینه‌های مختلف علمی این امکان را فراهم کرده است که کتاب حاضر را به‌عنوان یک کتاب علمی - کاربردی و قابل تدریس در دوره‌های دکتری و فوق‌لیسانس در رشته‌های تولید انرژی و هوافضا پیشنهاد کرد.

مقدمه

لزام استفاده از سیستم‌های حفاظت حرارتی خاص در شرایطی احساس می‌شود که در آن حالت اثر ساز محافظت نشود حتما در اثر اعمال بارهای حرارتی، تخریب شده و از بین خواهد رفت. بیشترین شار حرارتی که در آن بدون استفاده از سپر حرارتی می‌توان از فلزات استفاده کرد، در حدود 10^5 W/m^2 وات بر متر مربع است که این میزان گمان می‌راند در سطح فلز، دمای تعادلی^۱ حدود K ۱۵۰۰ ایجاد کند. اعداد ذکر شده می‌تواند به صورت شرایط حدی مطرح باشد چرا که در بیشتر مواقع، بارهای حرارتی با تأثیرات مکانیکی یا فعالیت‌های شیمیایی جریان گاز بیرونی (همانند اکسایش) همراه است. این تأثیرات به تخریب سازه در دماهایی به مراتب پایین‌تر از حد ذکر شده منجر می‌گردد.

امروزه در مسایل مربوط به سیستم‌های حفاظت حرارتی لازم است که براساس تجربیات به دست آمده یک سری مشخصه‌های تعیین‌کننده‌ای را در نظر بگیرد. به گونه‌ای که براساس آن‌ها بتوان راه‌حل‌های نیمه تجربی به دست آمده در بررسی‌های هدفمند روی یک موضوع خاص را به صورت بهینه تغییر داد و در شرایط داده شده استفاده نمود. این نیاز به ویژه برای سپرهای حرارتی فداشونده دارای اهمیت بسیار زیادی

۱. منظور از دمای تعادلی سطحی، دمایی است که در حالت تعادل بین جسم و شار حرارتی اعمالی از بیرون (به هر روش ممکن) در سطح آن برقرار می‌شود البته با این شرط که تمام انرژی رسیده به جسم از طریق تابش از سطح دفع شود.

$$q = \sigma \epsilon T_w^4$$

است، چرا که تعداد این مواد در سایه پیشرفت‌های بدست آمده در حوزه‌ی شیمی آلی و تولید مواد، روز به روز در حال افزایش است. به همین خاطر اهمیت تدوین تئوری و مکانیزم پدیده‌های فدا شدن و انتقال حرارت به داخل مواد فداشونده و بررسی‌های نظری اثرات ترکیب مواد مختلف در انواع گوناگون سپرهای حرارتی روی پارامترهای فداشوندگی و نیز عمومی‌سازی نتایج بدست آمده از استندهای تست و به‌ست آوردن روش‌های جدید تست در زمینه سپرهای حرارتی فداشونده به‌طور کامل احساس می‌شود.

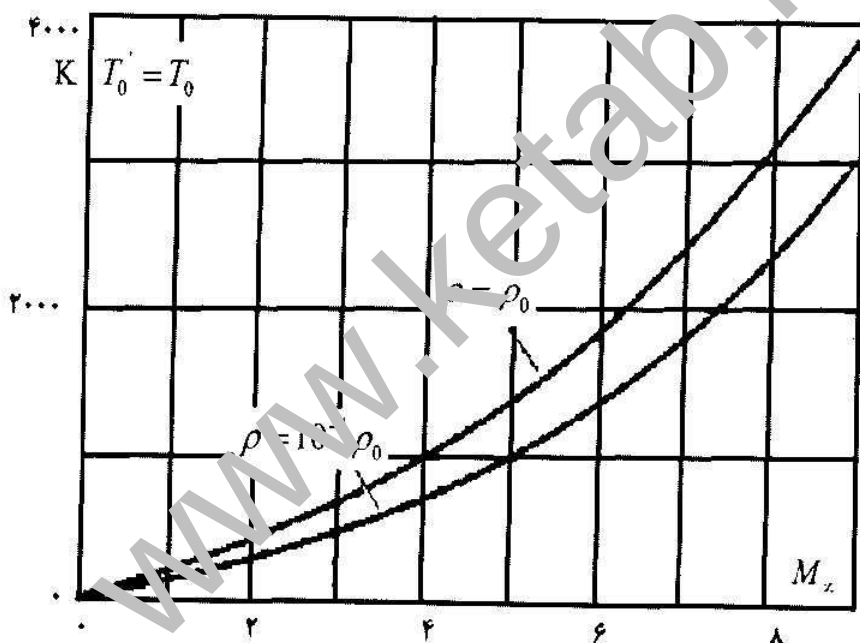
به این ترتیب ملاحظه می‌شود که لازم است پارامترهای بسیار زیادی که در مورد سپرهای حرارتی مطرح است و نیز عوامل مختلف تاثیرگذار بین جریان گاز داغ و ماده، شناسایی و طایفه بندی شود.

اولین بار مساله حفاظت حرارتی در صنایع هوافضا مطرح و در موضوعات مربوط به این صنعت به آن پرداخته شده. پیشرفت‌های قابل ملاحظه‌ای نیز در این زمینه بدست آمد. اولین موضوعی که در آن استفاده از سیستم سپر حرارتی لازم شد، مساله «پرواز ادوات پرنده با سرعت‌های هائپرریک در جو» بود. به هنگام حرکت هر جسمی با سرعتی بیش از ۶ برابر سرعت صوت در جریان درون گاز و نیز در سطح جسم مجموعه‌ای از تغییرات و تبدیلات شیمیایی و فیزیکی رخ می‌دهد. در هوای پشت موج ضربه^۱ تجزیه مولکول‌های اکسیژن و در پی آن تجزیه مولکول‌های نیتروژن صورت می‌گیرد. در سطح جسم نیز تخریب ماده تشکیل دهنده سطح بیرونی جسم انجام می‌گیرد. البته ترکیب مجدد مولکول‌های تجزیه شده نیز در سطح می‌تواند رخ دهد. در لایه‌ی بسیار نازک نزدیک دیواره، انرژی حرارتی ناشی از اصطکاک، آزاد می‌شود و شار حرارتی جابجایی^۲ از گاز به سطح جسم اعمال می‌گردد.

۱. در تمام این کتاب آنجا که از اصطلاح «پشت موج ضربه» استفاده می‌شود، منظور فضای بین موج و جسم می‌باشد.

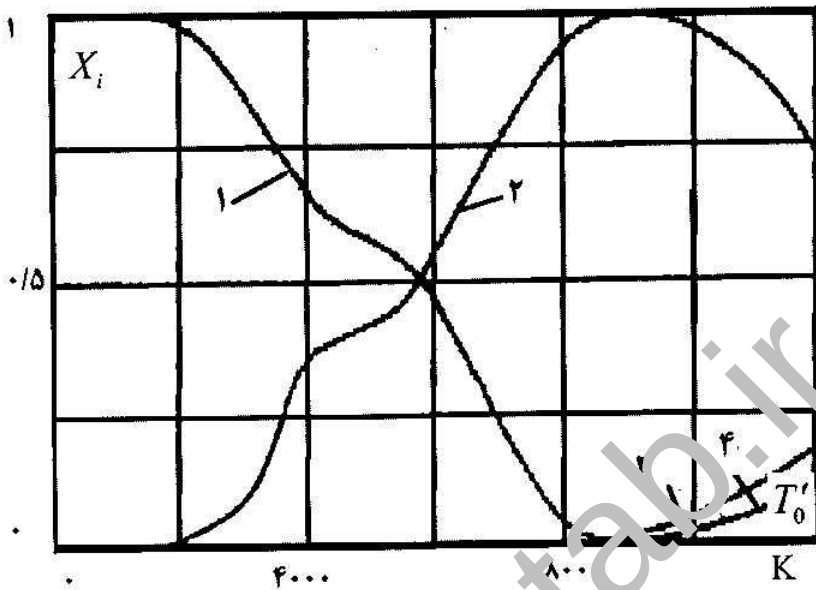
2. convection

در شکل ۱ نشان داده شده است که چگونه دمای گاز در پشت موج ضربه بنا افزایش سرعت جریان هوای آزاد (یا ماخ جریان) تغییر می‌کند. در شکل ۲ تغییرات ترکیب شیمیایی هوا نسبت به دمای گاز در پشت موج ضربه نشان داده شده است. تبدیل انرژی جنبشی جریان به انرژی حرارتی منجر به این می‌شود که در سرعت‌های هایپرسونیک، سطح جسم توسط یک گاز داغ که شامل اتم‌ها، مولکول‌ها، یون‌ها و الکترون است، تحت تاثیر قرار گیرد.



شکل ۱. تغییرات دمای گاز در پشت موج ضربه (دمای سکون T_0') نسبت به سرعت و دانسیته هوا در جریان آزاد. عدد بدون بعد ماخ M_∞ برابر نسبت سرعت جریان به سرعت صوت در همان شرایط جریان گاز آزاد است. ρ_0 نیز دانسیته هوا در شرایط استاندارد می‌باشد.

۱. پارامترهای مربوط به گاز در پشت موج ضربه در این کتاب معمولاً با علامت (*) مشخص شده است.



شکل ۲. وابستگی ترکیب هوا نسبت به دما در است موج ضربه (T_0') با فرض برقراری تعادل ترمودینامیکی در فشار اتمسفری $(P = 10^5 Pa)$. محور عمودی نشان‌دهنده غلظت‌های مولی اجزاء هوا می‌باشد.
۱- غلظت مولکول‌ها، ۲- نیتروژن، ۳- اکسیژن، ۴- الکترون‌ها

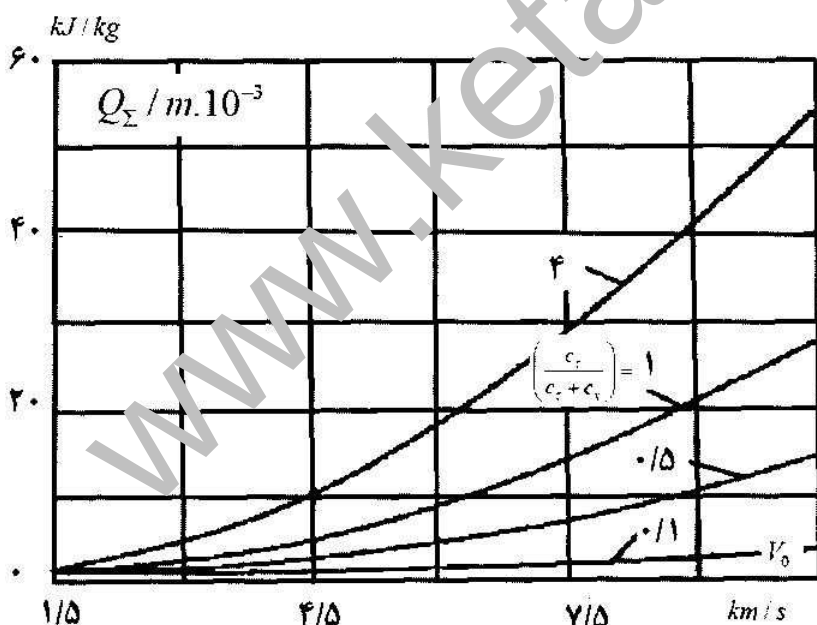
حالتی را بررسی می‌کنیم که اصطلاحاً توقف آیرودینامیکی در جو نامیده می‌شود. در این حالت همه انرژی اولیه جسم پرنده که با سرعت V_0 حرکت می‌کند صرف غلبه بر مقاومت می‌گردد. این نیروی مقاومت، حاصل نیروهای مقاوم فشاری (C_x) که در جهت عمود بر سطح وارد می‌گردد و نیروی مقاوم ناشی از ویسکوزیته گاز (C_f) در سطح جسم است که از بین این دو پارامتر، انتقال حرارت ارتباط مستقیمی با C_f دارد.

مجموع گرمایی (Q_{Σ}) که به سطح جسم در زمان توقف آیرودینامیکی وارد می‌شود با انرژی جنبشی^۱ اولیه جسم مرتبط است که به‌صورت رابطه ذیل بیان می‌شود:

$$Q_{\Sigma} = \left[\frac{mV_0^2}{2} \right] \left\{ \frac{[c_r / (c_r + c_x)]}{2} \right\}$$

اگر مجموع گرما (Q_{Σ}) را به جرم جسم تقسیم کنیم، ملاحظه می‌شود که در حالت $c_x = 0$ (حالت صفحه‌ی نازک) نصف انرژی جنبشی صرف گرم کردن جسم و بخش دوم آن صرف افزایش دمای گاز در اطراف جسم می‌گردد.

در شکل ۳ نشان داده شده است که چگونه انتقال حرارت نسبت به واحد جرم جسم با افزایش سرعت اولیه V_0 تغییر می‌کند. ملاحظه می‌شود که در سرعت‌های بالاتر از ۱۰۰۰ m/s، انرژی برای تخریب کامل جسمی که از فلز یا مواد مقاوم در برابر حرارت^۱ ساخته شده است، کافی می‌باشد.



شکل ۳. تغییرات گرمای کل رسیده به سطح جسم نسبت به سرعت اولیه V_0 که به هنگام توقف جریان مقابل جسم (با شکل‌های مختلف) از طریق جابجایی انتقال می‌یابد. نمودار A نشان‌دهنده تبدیل کامل انرژی جنبشی به انرژی حرارتی است.

رابطه‌ای که در بالا آورده شده است، راه حل کاهش میزان انتقال حرارت جابجایی از گاز به سطح جسم را نیز نشان می‌دهد. برای این منظور لازم است بخشی از مقاومت که به نیروهای عمودی مربوط است (c_x) را افزایش داد. یا به عبارت دیگر جسم را به شکل غیرآیرودینامیکی ساخت. نسبت ضرایب مقاومتی برای هواپیما برابر $0/3$ است؛ درحالی‌که این نسبت برای کره برابر $0/01$ می‌باشد.

مجموع حرارت جابجایی رسیده به سطح تنها پارامتری نیست که نحوه‌ی عملکرد سپر حرارتی تعیین می‌کند. در مواد جامد میزان جذب و انتقال حرارت با ضریب هدایت حرارتی جسم محدود می‌شود. بنابراین لازم است تغییرات شار حرارتی جابجایی با زمان را داشته‌باشد تا بتوان به‌صورت دقیق دمای سطح جسم را محاسبه و به دنبال آن عملکرد کلی سیستم را ارزیابی کرد. در دما و فشارهای بالای جریان گاز، لازم است تشعشع از گاز را نیز در نظر گرفت. این حالت - یعنی زمانی که میزان شار حرارتی تابشی در مقایسه با شار حرارتی جابجایی بیشتر باشد - بسیار قابل‌توجه است چرا که ویژگی دفع حرارت هر ماده در این حالت با حالتی که فقط شار حرارتی جابجایی وجود دارد، بسیار متفاوت است.

تأثیر متقابل بین گاز داغ و پوشش محافظ حرارتی با بروز تداوم پدیده‌های متعدد و مرتبط همراه است. در حالت کلی حل این مسأله از نظر تئوری باید بر مبنای حل سیستم معادلات دیفرانسیلی استوار باشد که این معادلات فرآیندهای انتقال جرم و حرارت بین گاز و ماده تشکیل‌دهنده سطح در حالت ناپایدار را توصیف می‌کنند. این معادلات عبارتند از: «روابط گاز دینامیکی حاکم بر جریان گاز روی جسم»، «معادلات لایه‌ی مرزی آرام یا آشفته در مخلوط گازی چند جزیی که غلظت اجزای آن تحت تأثیر واکنش‌های شیمیایی تغییر می‌کند»، «معادلات هدایت حرارتی به داخل لایه‌های پوشش محافظ حرارتی» و همچنین «معادلات و روابط سینتیکی واکنش‌های سطحی».

حل چنین مسأله‌ای با پیچیدگی‌های بسیاری همراه است و با توجه به این‌که بسیاری از پدیده‌ها و فرآیندهای جاری تک بعدی نیستند، از نقطه نظر ریاضیاتی و محاسباتی حل آن بسیار مشکل است. همچنین باید این واقعیت را نیز در نظر گرفت که هنوز مدل فیزیکی چنین پدیده‌های مرتبطی به‌طور کامل مشخص نشده است و محاسبات ضرایب انتقال و دیگر پارامترهای فیزیکی - شیمیایی به اندازه کافی قابل اطمینان نیستند.

با این - ن در سال‌های اخیر اهمیت حل مسأله حفاظت حرارتی باعث شده است، تحقیقات نظری و آزمایشگاهی متعددی انجام شود. این بررسی‌ها، هم در راستای شناسایی عوامل اصلی و موثر در فرآیند تأثیر متقابل جریان گاز داغ و جسم پوشش حرارتی، بوده است و هم در راستای دستیابی به روش‌های عددی محاسباتی و نیز ساخت تجهیزات آزمایشگاهی.

محتوای اصلی کتاب بیشتر - خصوصاً بخش اول این تحقیقات - یعنی در مورد دستیابی به فیزیک فرآیند تأثیر متقابل گاز داغ و جسم - می‌باشد. به روش‌های آنالیز عددی یا آزمایشگاهی به میزانی اشاره شد، که به درک بیشتر مدل فیزیکی پدیده‌هایی که در مرز بین دیواره‌ی جسم و جریان گاز و همچنین در داخل پوشش حرارتی اتفاق می‌افتد کمک کند.

نویسندگان کتاب بر این تأکید دارند که با توصیف خوب توانایی فیزیکی حاکم بر مسأله می‌توان مدل ریاضی دقیقی ارائه کرد که مسأله را به‌طور قابل درک برد. به این ترتیب می‌توان روش بهینه محاسبات عددی را انتخاب نمود. شرط لازم موفقیت متخصصان سازه یا کارشناسان امور آزمایشگاهی - در زمینه سپرهای حرارتی - درک روشن روش‌هایی است که با استفاده از آن‌ها مسأله را می‌توان حل کرد.

در حل مسائل سازه‌ای در زمینه‌ی سپرهای حرارتی، مدل‌های مختلفی برای مواد تجزیه‌شونده، ذوب‌شونده، تصعیدشونده و غیره ارائه شده است. در فصل‌های آتی کتاب، تخریب این مواد در پروسه گرم شدن توضیح و مدل‌های مذکور ارائه خواهد شد.