دانشگاه صنعتی اصفهان
دانشکدهٔ مهندسی نساجی

بررسی خواص حرارتی پارچه پلی‌استر/ ویسکوز پوشش داده شده با نانو ذرات سرامیکی

پایان نامهٔ کارشناسی ارشد مهندسی نساجی- تکنولوژی نساجی

ریحانه طرفه اصفهانی

استاد راهنما

دکتر محمد قانع

زمستان ۱۳۹۳

دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده مهندسی نساجی

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی نساجی- تکنولوژی نساجی خانم ریحانه طرفه اصفهانی

تحت عنوان

بررسی خواص حرارتی پارچه پلی استر / ویسکوز پوشش داده شده با نانوذرات سرامیکی

در تاریخ ۱۳۹۳/۱۰/۲۳ توسط کمیته تخصصی زیر مورد بررسی و تصویب نهایی قرار گرفت.

۱- استاد راهنمای پایان نامه	دکتر محمد قانع
۲- استاد مشاور پایان نامه	دکتر اکبر خدامی
۳- استاد داور پایان نامه	دکتر محمد ذره بینی
۴- استاد داور پایان نامه	دکتر حسین حسنی
سرپرست تحصیلات تکمیلی دانشکده	دکتر مصطفی یوسفی

تشکرو قدردانی

شکر و سپاس خدا را که بزرگترین امید و یاور در لحظه لحظه زندگیست.

تقدیر و درود فراوان خدمت پدر و مادر بسیار عزیزم، خواهر دلسوزم و محمد مبین دوست‌داشتنی‌ام که پیوسته در تمام مراحل زندگی همراه و تکیه گاه من بوده‌اند و وجودشان مایه دلگرمی من است.

از اساتید محترم راهنما و مشاور این پروژه، جناب آقای دکتر محمد قانع وجناب آقای دکتر اکبر خدامی که در انجام این تحقیق از هیچ راهنمایی‌ای دریغ ننمودند، کمال تشکر و سپاسگزاری را دارم.

با تشکر از اساتید بزرگوار جناب آقای دکتر محمد ذره‌بینی و جناب آقای دکتر حسین حسنی که با صمیمیت و حوصله، داوری و تصحیح پایان نامه بنده را قبول زحمت نمودند.

از جناب آقای دکتر مصطفی یوسفی، سرپرست محترم تحصیلات تکمیلی که در طول مدت تحصیل همواره مورد راهنمایی‌های ایشان قرار گرفته‌ام، کمال تشکر را دارم.

و با تشکر خالصانه از دوستان عزیزم که مرا در به انجام رساندن این مهم یاری نموده اند.

ریحانه طرفه اصفهانی

زمستان ۹۳

کلیه حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعـات، ابتکارات و نـوآوری‌هـای ناشـی از تحقیـق موضوع این پایـان‌نامـه متعلـق بـه دانشـگاه صنعتی اصفهان است.

تقدیم به

پدر و مادر مهربانم

که وجودشان شادی بخش و مایه آرامش من است.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

چکیده ۱

فصل اول : کلیات ۲

۱-۱- مقدمه ۲

۱-۲- عایق‌های حرارتی ۳

۱-۳- انتقال حرارت ۳

۱-۳-۱-انتقال حرارت در منسوجات ۷

۱-۴- سرامیک ها ۹

۱-۴-۱- دسته بندی سرامیک ها ۹

۱-۴-۲- خواص سرامیک ها ۱۰

۱-۵- فناوری نانو ۱۲

۱-۵-۱- عناصر پایه در فناوری نانو ۱۲

۱-۵-۲- نانو ذرات ۱۳

۱-۶- خواص نانوذرات ۱۴

۱-۶-۱- خواص الکتریکی ۱۴

۱-۶-۲- خواص مغناطیسی ۱۴

۱-۶-۳- خواص صوتی ۱۵

۱-۶-۴- خواص شیمیایی ۱۵

۱-۶-۵- خواص مکانیکی ۱۶

۱-۶-۶- خواص حرارتی ۱۶

۱-۷- روش های تولید نانو ذرات ۱۶

۱-۷-۱- چگالش از یک بخار ۱۷

۱-۷-۲- سنتز شیمیایی ۱۸

۱-۷-۳- فرایندهای حالت جامد ۱۹

۱-۷-۴- کاربرد فرایندهای فوق بحرانی در تولید میکرو و نانو ذرات ۱۹

۱-۹- انواع نانوذرات ۲۰

۱-۹-۴- نانوذرات سرامیکی ۲۱

۱-۱۰ متداول ترین نانوذرات سرامیکی ۲۱

۱-۱۰-۱- نانو اکسید تیتانیوم، TiO_2 ..... ۲۱

۱-۱۰-۲- نانو اکسید آلومینیوم، Al_2O_3 ..... ۲۲

۱-۱۰-۳- نانو اکسید سیلیکون (نانوسیلیکا)، SiO_2 ..... ۲۳

۱-۱۰-۴- نانو اکسید زیرکونیوم، ZrO_2 ..... ۲۴

۱-۱۰-۵- نانو اکسید روی، ZnO ۲۵

۱-۱۰-۷- نانواکسید آهن، Fe_2O_3 ..... ۲۵
۱-۱۰-۸- نانو اکسید مس، CuO ۲۶
۱-۱۱ مطالعات انجام گرفته ۲۶
۱-۱۱-۱- مطالعات انجام شده در رابطه با کاربرد نانوذرات سرامیکی در بهبود خواص منسوجات ۲۶
۱-۱۱-۲- مطالعات انجام شده در رابطه با کاربرد نانوذرات و ذرات سرامیکی در بهبود خواص حرارتی منسوجات ۳۰
۱-۱۲-تعریف پروژه ۳۳
۱-۱۳-هدف پروژه ۳۳

فصل دوم : تجربیات ۳۵
۲-۱- مقدمه ۳۵
۲-۲- دستگاه سنجش هدایت حرارتی ۳۶
۲-۲-۱- دماسنج غیر تماسی مادون قرمز ۳۸
۲-۲-۲- حسگر اندازه گیری شار گرما ۴۰
۲-۳- دستگاه‌ها ، تجهیزات و نرم افزارهای استفاده شده ۴۳
۲-۴- مواد شیمیایی استفاده شده ۴۴
۲-۵- مشخصات پارچه مورد استفاده ۴۴
۲-۶- آماده‌سازی نمونه‌ها ۴۵
۲-۶-۱- آغشته‌سازی نمونه‌ها به نانوذرات سیلیکا با روش تیغه‌ای ۴۵
۲-۶-۲- آغشته سازی نمونه ها به روش غوطه‌وری ۴۷
۲-۷- بررسی تغییرات در میزان ثبات سایشی نمونه‌ها ۵۰
۲-۸- بررسی میزان نفوذ هوای نمونه‌ها ۵۱
۲-۹- اندازه‌گیری میزان ثبات شست و شویی ۵۲
۲-۱۰ اندازه‌گیری خواص خمشی نمونه‌ها ۵۲

فصل سوم : نتایج و بحث ۵۳
۳-۱- مقدمه ۵۳
۳-۲- تاثیر نانوذرات سیلیکا بر خواص حرارتی نمونه ها ۵۴
۳-۲-۱- بررسی تاثیر نانوذرات سیلیکا بر خواص حرارتی نمونه‌های پوشش داده شده به روش تیغه‌ای ۵۴
۳-۲-۲- بررسی تاثیر نانوذرات سیلیکا بر خواص حرارتی نمونه‌های آغشته‌شده به روش غوطه‌وری و با استفاده از پلی اتیلن گلیکول ۶۰
۳-۲-۳- بررسی خواص حرارتی نمونه‌های آغشته شده به پودر نانوسیلیکا به روش غوطه‌وری ۶۳
۳-۲-۴- بررسی خواص حرارتی نمونه‌های آغشته شده به امولسیون نانوسیلیکا به روش غوطه‌وری ۶۵
۳-۲-۵- مقایسه میزان انتقال دمای نمونه‌های آغشته شده به امولسیون و پودر نانوسیلیکا ۶۸
۳-۲-۶- تاثیر دمای سطح صفحه داغ بر میزان انتقال حرارت نمونه‌های آغشته شده به نانوسیلیکا ۶۹
۳-۲-۷- تاثیر میزان پودرو امولسیون نانوسیلیکا برمیزان اختلاف دمای نمونه‌ها ۷۰

۳-۲-۸- بررسی تاثیر روش های آغشته سازی بر خواص حرارتی پارچه ۷۰
۳-۲-۹- حالت بهینه در رابطه با خواص حرارتی نمونه‌ها ۷۱
۳-۳- نحوه قرارگیری نانوذرات سیلیکا برروی سطح پارچه ۷۲
۳-۴- بررسی تاثیرروش آغشته سازی نمونه‌ها بر افزایش میزان وزن و ضخامت نمونه‌ها ۷۴
۳-۵- بررسی تاثیر نانوذرات سیلیکا بر ثبات سایشی پارچه ۷۸
۳-۶- بررسی ثبات شست وشویی نمونه‌های آغشته شده به نانوسیلیکا ۷۹
۳-۷- بررسی تاثیر نانوسیلیکا بر میزان نفوذ هوای نمونه‌ها ۸۰
۳-۸- تاثیر نانو ذرات سیلیکا بر سختی خمشی نمونه ها ۸۲

فصل چهارم: نتیجه گیری و پیشنهادات ۸۵
۴-۱- مقدمه ۸۵
۴-۲- ۴- نتیجه گیری ۸۵
۴-۳- پیشنهادات ۸۶
پیوست ۸۸
مراجع ۱۰۵

چکیده

در چند دهه اخیر، به‌دلیل کاهش منابع انرژی و افزایش شدید قیمت آن، بهینه‌سازی مصرف انرژی مورد توجه بسیاری از کشورها می‌باشد. در این راستا تحقیقات و مطالعه در مورد بهینه‌سازی خواص عایق حرارتی منسوجات مورد توجه بسیاری از محققین قرار گرفته است. منسوج ترکیبی از هوا و الیاف است و به این دلیل که ضریب هدایت حرارتی هوا بسیار کمتر از الیاف است، هوای موجود در بین الیاف نقش مهمی در بهبود خواص عایق حرارتی منسوجات دارد. امروزه یافته‌های محققان در عرصه نانو فناوری بسیاری از ابعاد زندگی ما انسان‌ها را تحت تأثیر خود قرار داده است. عملکرد مواد در اندازه نانو ناشی از افزایش میزان سطح مخصوص آن‌ها می‌باشد. با استفاده از نانو ذرات سرامیکی و اتصال دهنده‌های مناسب می‌توان به خواص حرارتی مطلوب (جلوگیری از اتلاف انرژی) همراه با حفظ خواص مکانیکی منسوج دست‌یافت. نانوذرات سرامیکی دارای نقطه‌ذوب بالا و هدایت حرارتی پایین هستند؛ بنابراین می‌توانند سبب بهبود خواص حرارتی منسوجات شوند. هدف اصلی پروژه بهبود خواص عایق حرارتی پارچه جهت تولید البسه مقاوم در برابر تغییرات دمایی شدید با استفاده از نانو ذرات سیلیکا است. با استفاده از روش‌های معمول در تکمیل منسوجات، نانوذرات سیلیکا در دو حالت پودر و امولسیون بر روی پارچه پوشش داده شدند. پارچه پلی‌استر/ ویسکوز به دو روش پوشش دهی تیغه‌ای و غوطه‌وری با استفاده از پلی‌اتیلن گلایکول و دو نوع بیندر پلی اورتان و اکریلات، به نانوذرات سیلیکا آغشته شدند. پس از آماده‌سازی نمونه‌ها خواص حرارتی، ثبات سایشی، ثبات شست‌وشویی و سختی خمشی نمونه‌ها بررسی و مقایسه شدند. از نرم افزار SPSS و آزمون دانکن به منظور تحلیل آماری نتایج به‌دست‌آمده استفاده شد. نتایج نشان دادند که با افزایش میزان پودر و امولسیون نانو سیلیکا، میزان هدایت حرارتی نمونه‌ها کاهش و میزان اختلاف دمای میان سمت گرم (در تماس با صفحه داغ) و سمت سرد نمونه افزایش می‌یابد. آغشته سازی نمونه‌ها با روش پوشش دهی تیغه‌ای سبب توزیع یکنواخت نانو ذرات سیلیکا بر روی سطح پارچه، پوشش کامل سطح و درنتیجه کاهش معنی داری در میزان هدایت حرارتی پارچه شده است. استفاده از بیندر پلی اورتان نسبت به بیندر اکریلات سبب بهبود خواص حرارتی پارچه می‌گردد. نمونه آغشته شده به هشت درصد پودر نانوسیلیکا، به روش تیغه ای از نظر خواص حرارتی مطلوب‌ترین نمونه می‌باشد. استفاده از غلظت‌دهنده و بیندر، سبب افزایش سختی خمشی پارچه می‌شود. با انجام ۳ مرحله پد خشک توسط دستگاه فولارد با حداکثر فشار (۷×۱۰^{۵} پاسکال) میزان سختی خمشی پارچه کاهش داده‌شد. از این پارچه می‌توان جهت تولید البسه با خاصیت عایق حرارتی، جهت حفظ تعادل دمای بدن در محیط سرد استفاده نمود.

کلمات کلیدی: عایق‌بندی حرارتی، نانو سیلیکا، هدایت حرارتی، صفحه داغ، سختی خمشی، پوشش دهی تیغه‌ای، پوشش دهی غوطه‌وری

فصل اول

کلیات

۱-۱- مقدمه

در چند دهه اخیر، به‌دلیل کاهش منابع انرژی و افزایش شدید قیمت آن، بهینه‌سازی مصرف انرژی مورد توجه بسیاری از کشورها می‌باشد. در این راستا تحقیقات و مطالعه در مورد بهینه‌سازی خواص عایق حرارتی منسوجات مورد توجه بسیاری از محققین قرار گرفته است[۱]. منسوج، ترکیبی از هوا و الیاف است و به دلیل پایین‌تر بودن ضریب هدایت حرارتی هوا نسبت به الیاف، هوای موجود در بین الیاف نقش مهمی در عایق‌بندی حرارتی منسوجات دارد. پودر سرامیک دارای نقطه ذوب بالا و هدایت حرارتی پایین است که باعث بهبود خواص حرارتی منسوجات می‌شود[۳،۲].

امروزه یافته‌های محققان در عرصه نانو فناوری بسیاری از ابعاد زندگی ما انسان‌ها را تحت تأثیر خود قرار داده است. عملکرد مواد در این مقیاس بسیار شگفت‌انگیز است که تنها برخاسته از افزایش میزان سطح مخصوص و در نتیجه، افزایش واکنش‌پذیری آن‌ها خواهد بود؛ بنابراین با استفاده از نانو ذرات سرامیکی و اتصال دهنده‌های[۱] مناسب می‌توان به خواص حرارتی مناسب (جلوگیری از اتلاف انرژی) همراه با حفظ خواص مکانیکی منسوج دست‌یافت[۶ - ۴]. مطالعه بر روی مواد جدید با خواص مناسب بر پایه نانو پودرهای سیلیکا متداول است، این مواد

---

[۱] Binder

سبب افزایش استحکام و دوام محصولات می‌شود که این پوشش دهی به‌صورت سرد و یا گرم انجام می‌گردد. مقاومت حرارتی نانوکامپوزیت‌های حاوی نانوسیلیکا نسبت به سایر نانوکامپوزیت‌ها، افزایش چشمگیری داشته‌است. بر اثر کاهش اندازه ذرات، تغییراتی همچون کاهش مدول الاستیک، افزایش استحکام، افزایش انعطاف پذیری و بهبود خواص شیمیایی در نانوساختارها مشاهده می‌شود[۸].

۱-۲- عایق‌های حرارتی

در جهان امروز با توجه به رشد روزافزون جمعیت و کمبود سوخت‌های فسیلی، مقوله صرفه‌جویی در مصرف انرژی بسیار حائز اهمیت است؛ چراکه سوخت‌های فسیلی به‌سادگی و در مدت کوتاه تولید نمی‌شوند. بهترین ابزار جهت رسیدن به این هدف، استفاده از عایق‌های حرارتی است. خصوصیات مهمی که در انتخاب مواد عایق باید مدنظر قرارگیرند، عبارت‌اند از: مقاومت حرارتی، قابلیت احتراق، مقاومت فشاری، چروک‌خوردگی، مقاومت در برابر اشعه ماوراءبنفش، مقاومت در برابر قارچ و میکروب، ضریب انبساط و انقباض، خنثی بودن ازنظر شیمیایی (به‌منظور جلوگیری از آسیب رساندن به فلزات اطراف)، خاصیت موبینگی و چگالی[۱۲]. مهم‌ترین خصوصیت قابل‌توجه و بارز عایق‌ها، خواص حرارتی و به‌ویژه مقاومت حرارتی آن‌ها است. هرچه میزان مقاومت حرارتی[۱] یک عایق بیشتر باشد، عایق بهتری محسوب می‌شود. سرامیک‌ها باعث افزایش درخواص عایق حرارتی منسوجات و کاهش در نرخ انتقال بخارآب می‌شوند[۷،۲].

۱-۳- انتقال حرارت:

انرژی از طریق برهم‌کنش‌های[۲] سیستم بامحیط اطراف انتقال می‌یابد. به این برهم‌کنش‌ها کار و گرما می‌گویند. هرگاه در یک محیط یا میان دو محیط، اختلاف دما وجود داشته باشد، انتقال گرما روی می‌دهد. برای انتقال گرمایی که در محیط روی می‌دهد از واژه رسانش[۳] و برای انتقال گرما بین سطح و سیال متحرک که دمای آن‌ها باهم متفاوت است، از واژه جابجایی[۴] استفاده می‌شود. نوع سوم انتقال گرما، تشعشع گرمایی[۵] است. تمام سطوح با دمای معین انرژی را به شکل امواج الکترومغناطیسی گسیل می‌دارند. ازاین رو در صورت عدم وجود محیط واسط، میان دو سطح با دماهای مختلف، انتقال گرمای تشعشعی وجود دارد. در شکل (۱-۱) انواع روش‌های انتقال حرارت نشان داده‌شده است[۱۲].

---

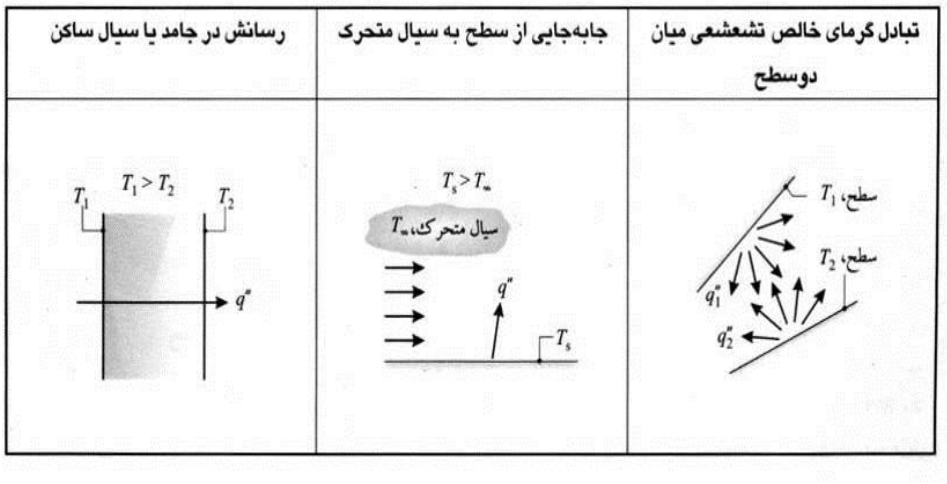
[۱] Thermal Resistance

[۲] Interactions

[۳] Conduction

[۴] Convection

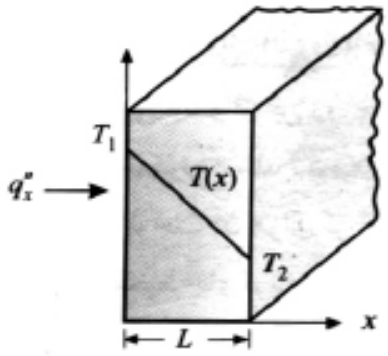
[۵] Radiation



شکل ۱- ۱: شیوه‌های انتقال گرما: رسانش، جابه‌جایی و تشعشع [۱۲]

در بررسی انتقال گرما از طریق رسانش، فعالیت اتمی و مولکولی موردتوجه است و این فرآیندها انتقال گرما را تداوم می‌بخشند. رسانش عبارت است از انتقال انرژی از ذرات پرانرژی به ذرات کم انرژی ماده براثر برهم‌کنش‌های بین آن‌ها. انتقال گرما از طریق رسانش در مایعات، گازها و جامدات صورت می‌گیرد. فرایندهای انتقال گرما را برحسب معادله‌های آهنگ مربوط می‌توان به‌طور کمّی بیان کرد. از این معادله‌ها برای محاسبه مقدار انتقال انرژی در زمان واحد می‌توان استفاده کرد. معادله‌آهنگ رسانش گرما به قانون فوریه[۱] معروف است. برای دیوار مسطح یک‌بعدی نشان داده‌شده در شکل (۱-۲) که توزیع دمای $T(x)$ را دارد، معادله آهنگ به‌صورت زیر است:

$$q''_x = -k\frac{dT}{dX} \qquad (۱-۱)$$



شکل۱-۲: انتقال گرمای رسانشی یک‌بعدی (پخش انرژی) [۱۲]

[۱] Fourier law

شار گرمایی[۱] q''_x بر حسب W / m^2، عبارت است از: آهنگ انتقال[۲] گرما در جهت x برای مساحت واحد عمود بر جهت انتقال، که با شیب دما (dT/dx)، در این جهت متناسب است. ثابت تناسب k یک خاصیت انتقال است، که به آن رسانندگی گرمایی (ضریب رسانش بر حسب $W/m.°K$) می‌گویند و مشخصه‌ای از مواد است. واحد انرژی حرارتی، وات[۳] یا همان ژول بر ثانیه است. $(W/m.°K)$ به معنای این است که اگر سطحی به ضخامت و مساحت واحد موجود باشد، و اختلاف درجه حرارت یک درجه سانتی‌گراد باشد، در مدت‌زمان یک ثانیه، k ژول انرژی از سطح گرم به سطح سرد منتقل می‌گردد[۱۲]. علامت منفی به این دلیل است که گرما در جهت کاهش دما منتقل می‌شود. در شرایط پایای نشان داده‌شده در شکل (۱-۴) که در آن توزیع دما خطی است. شیب دما را به‌صورت زیر می‌توان بیان کرد :

$$\frac{dT}{dx} = \frac{T_۲ - T_۱}{L} \qquad (۱-۲)$$

بنابراین شار گرما عبارت است از :

$$q''_x = - k \frac{T_2 - T_1}{L} \qquad (۱-۳)$$

یا :

$$q''_x = k \frac{\Delta T}{L} \qquad (۱-۴)$$

از معادله(۱-۴) شار گرما، یعنی آهنگ انتقال گرما برای مساحت واحد، به دست می‌آید. بنابراین، آهنگ انتقال گرمای رسانشی، $q_x(W)$، در دیوار مسطح با مساحت A برابر است با حـاصل‌ضرب شار در مساحت، $q_x = q''_x \times A$.

قانون فوریه اساس انتقال گرمای رسانشی و یک عبارت برداری است که نشان می‌دهد شار گرما برسطحی با دمای ثابت عمود است و در جهت کـاهش دمـا می‌باشد. قانـون فوریه برای تـمام مواد (جامد، مایع و گاز) به کار می‌رود [۱۲]. انتقال گرمای جابجایی، میان سیال متحرک و سطحی محدودکننده، که در دماهای مختلف‌اند، روی می‌دهد. دمای هوای در تماس با اجزای گرم افزایش‌یافته و چگالی آن کاهش می‌یابد. این هوا از هوای محیط سبک‌تر است؛

---

[۱] Heat flux

[۲] Heat transfer rate

[۳] Watt

بنابراین باعث ایجاد نیروهای عمودی شده و هوای گرم بالا رفته و هوای سرد جایگزین آن می‌شود. معادله آهنگ انتقال گرما به شیوه جابجایی به‌صورت زیر است :

$$q'' = h(T_S - T_\infty) \qquad (۱-۵ \text{ الف})$$

که در آن "q، شار گرمایی جابجایی بر حسب وات بر مترمربع(W/m^2)، با اختلاف دمای T_s سطح و دمای T_∞ سیال متناسب است. رابطه(۱-۵الف) را قانون سرمایش نیوتن و ثابت تناسب h (بر حسب $W/m^2 .°K$) را ضریب انتقال گرمای جابجایی می‌گویند. این ضریب به شرایط موجود در لایه مرزی بستگی دارد، این شرایط نیز به هندسه سطح، نوع حرکت سیال و خواص ترمودینامیکی و انتقالی سیال وابسته‌اند.

در معادله (۱-۵ الف)، اگر گرما از سطح انتقال یابد ($T_s > T_\infty$)، شار گرمای جابجایی مثبت فرض می‌شود و اگر گرما به سطح منتقل شود، ($T_\infty > T_s$)، منفی در نظر گرفته می‌شود. البته اگر $T_\infty > T_s$ باشد، مانعی ندارد که قانون سرمایش نیوتن به شکل زیر بیان شود :

$$q'' = h(T_\infty - T_S) \qquad (۱-۵ \text{ ب})$$

با تعریف ضریب جابجایی متوسط $\bar{h}$ برای تمام سطح، آهنگ انتقال گرمای کل را به‌صورت زیر می‌توان بیان کرد :

$$q = \bar{h} A_s (T_s - T_\infty) \qquad (۱-۶)$$

تشعشع گرمایی، انرژی گسیل‌شده توسط ماده در دمای معین است. به‌طورمعمول، تشعشع از سطوح جامد بررسی می‌شود، اما گسیل انرژی از مایعات و گازها نیز رخ می‌دهد. درواقع تشعشع همان انتشار امواج الکترومغناطیس است. انتقال انرژی از طریق رسانش یا جابجایی مستلزم وجود محیط مادی می‌باشد، درحالی‌که تشعشع در خلأ نیز انجام می‌پذیرد. بنابراین تمام اجسام در اطراف ما دارای تشعشع گرمایی هستند. انرژی آزادشده ناشی از نوسان‌ها یا انتقال الکترون‌های تشکیل‌دهنده ماده است و تمام حالت‌های مواد تشعشع می‌کنند. یکی از خواص تشعشعی سطح به نام گسیلمندی[۱] (ضریب گسیل) است. این خاصیت، با مقدار $0 \le \varepsilon \le 1$، قابلیت گسیل انرژی از سطح را نسبت به جسم سیاه می‌سنجد. ε به جنس ماده بستگی دارد. برای جسم سیاه ۱= ε است، اما باید توجه داشت که هیچ سطحی کاملاً سیاه نیست و خواص جسم سیاه را ندارد. تشعشع از اطراف یک سطح نیز بر آن فرود می‌آید و منشأ آن می‌تواند خورشید یا سایر سطوحی باشد که سطح تحت بررسی در برابر آن‌ها قرار دارد.قسمتی از شار تشعشعی فرودی و یا تمام آن، ممکن است توسط سطح جذب شود و انرژی گرمایی جسم افزایش یابد[۱۲].

[۱] Emissivity

جدول ۱-۱ : خلاصه فرایندهای انتقال گرما [۱۲]

شیوه	توضیح	معادله مربوطه	ضریب انتقال حرارت
رسانش	پخش انرژی ناشی از حرکت تصادفی مولکولی	$q''_x(W/m^2) = -k\frac{dT}{dx}$	$k(W/m.°K)$
جابه‌جایی	پخش انرژی ناشی از حرکت تصادفی مولکولی به‌علاوه انتقال انرژی ناشی از حرکت کپه‌ای	$q''_x(W/m^2) = h(T_s - T_\infty)$	$h(W/m^2.°K)$
تشعشع	انتقال انرژی توسط امواج الکترومغناطیس	$q''_x(W/m^2) = \varepsilon\sigma(T_s^4 - T_{sur}^4)$ $q(W) = h_r A(T_s - T_{sur})$	ε $h_r(W/m^2.°K)$

۱-۳-۱- انتقال حرارت در منسوجات

انسان از طریق پوست خود با محیط اطراف تبادل حرارت دارد. این اتلاف حرارت از دو بخش اتلاف حرارت از طریق رسانایی، جابجایی و اتلاف حرارت از طریق تبخیر، تشکیل‌شده است. خصوصیات انتقال حرارت منسوجاتی که به‌عنوان پوشاک معمولی و روزمره مورداستفاده قرار می‌گیرند، ازنظر ایجاد راحتی پوشش نیز بسیار حائز اهمیت است.دمای داخل بدن انسان در حالت عادی حدود ۳۷ درجه سانتی‌گراد است، که این دما در سطح پوست به ۳۲ درجه سانتی‌گراد کاهش می‌یابد. درصورتی‌که دمای داخلی بدن در اثر هر عامل خارجی نظیر تغییر دمای هوای محیط، فعالیت‌های بدنی زیاد و غیره، از این مقدار بیشتر شود، بدن احساس گرما کرده و انرژی اضافی خود را به محیط منتقل می‌کند. درصورتی‌که دمای داخلی بدن از ۳۷ درجه کمتر شود، بدن احساس سرما کرده و انرژی موردنیاز خود را از محیط جذب می‌کند. بنابراین همواره تبادل حرارتی بین بدن و محیط اطراف در جریان است. حال اگر این تبادل به حالت تعادل درآید، یعنی بدن در لحظه بتواند انرژی اضافی خود را به محیط منتقل کند یا انرژی موردنیاز خود را از محیط جذب کند، شخص احساس گرما و یا سرمای شدید نخواهد کرد. پوشاک حد واسطی میان بدن انسان و محیط اطراف می‌باشند و مهم‌ترین خصوصیت آن‌ها این است که شخص را از سرما و گرما حفظ کنند. طبیعی است برای شناختن میزان این توانایی، تعیین خصوصیات حرارتی پوشاک الزامی است. جهت افزایش راحتی پوشاک توجه به مواردی مانند ترکیبی مطلوب از الیاف، ساختار پارچه و تکمیل‌های مختلف بر روی پارچه ضروری است. ازآنجاکه منسوجات نقش بسیار مهمی در پوشاک نظامی ایفا می‌کنند، استفاده از منسوجات با تکمیل‌های

خاص امکان حفاظت از افراد در برابر خطرات مختلف را فراهم می‌کند. علاوه بر قابلیت حفاظتی پوشاک، یکی از عوامل مؤثر و مهم برای تمامی البسه و نیز پوشاک نظامی، راحتی انسان در حین پوشیدن لباس است. ازآنجایی‌که پوشاک نظامی جزء پوشاک محافظ به شمار می‌آید، ازاین‌رو کاهش راحتی در این البسه به‌واسطه ایجاد مانعی در برابر خطرات محیطی اجتناب‌ناپذیر است. بنابراین حفاظت لباس و راحتی آن همواره در تضاد باهم هستند و باید حد بهینه‌ای از حفاظت در نظر گرفته شود[۱۶-۱۳].

انتقال حرارت در منسوجات از هر ۳ طریق (رسانش، جابجایی و تشعشع) صورت می‌پذیرد. بااین‌وجود، انتقال حرارت در منسوجات، عمدتاً از طریق رسانش صورت می‌پذیرد. بنابراین برای منسوجات، انتقال حرارت از طریق رسانش مهم‌تر از سایر انواع انتقال حرارت است. منسوجات ترکیبی از الیاف و هوای به دام افتاده در بین الیاف می‌باشند. بنابراین انتقال حرارت منسوجات، ترکیبی از انتقال حرارت الیاف و انتقال حرارت هوا است. ازآنجایی‌که انتقال حرارت هوا کمتر از انتقال حرارت الیاف است، پس سهم انتقال حرارت از طریق الیاف بیشتر از انتقال حرارت از طریق هوا می‌باشد. درواقع می‌توان گفت انتقال حرارت منسوجات، انتقال حرارت از طریق الیاف آن‌ها است. از طرف دیگر، هوای ساکن به دام افتاده در بین الیاف نقش مهمی در مقاومت حرارتی منسوجات عایق دارا می‌باشد[۱۶].

راحتی حرارتی پوشاک به عواملی همچون نوع الیاف، طول الیاف، ظرافت الیاف، نوع و نمره نخ، ضریب پوشش پارچه، ضخامت پارچه و وزن پارچه بستگی دارد. انتقال گرما از مواد عایق با تخلخل بالا، ترکیبی از رسانش و تشعشع است. انتقال گرما به طریق جابجایی در عایق‌های لیفی با جرم حجمی[۱] بزرگ‌تر از ۲۰ کیلوگرم بر مترمکعب، وجود ندارد. زیرا الیاف، گاز را درون منافذ خود به‌طور مؤثری به دام می‌اندازند، بنابراین می‌توان انتقال گرما به طریق جابجایی را در نظر نگرفت. طبق مطالعات انجام شده، انتقال گرما از طریق تشعشع از این مواد، سهمی در حدود ۵۰-۴۰ درصد از کل انتقال گرما رادارند. هنگامی‌که جرم حجمی ماده عایق افزایش یابد، رسانش از طریق جامد نیز افزایش می‌یابد. پدیده رسانش در مواد با تخلخل بالا،کم‌اهمیت است. بنابراین جابجایی و تشعشع دو روش حاکم در انتقال گرما می‌باشند. با افزایش دما، انتقال گرما از طریق تشعشع افزایش و با افزایش چگالی ماده عایق،کاهش می‌یابد [۱۹-۱۷]. منسوجات باضخامت بالاتر عایق حرارتی بهتری هستند. همچنین مقاومت حرارتی منسوج با افزایش وزن منسوج افزایش می‌یابد.

[۱] Density

۱-۴- سرامیک‌ها

سرامیک[۱] از کلمه یونانی کراموس[۲] گرفته‌شده،که به معنی سفال یا شیء پخته‌شده است. به مواد جامدی که بخش عمده تشکیل‌دهنده آن‌ها غیرفلزی و غیر آلی باشد، سرامیک گفته می‌شود. توسعه سرامیک‌ها تأثیر بسیار زیادی بر تمدن گذاشته است. برای داشتن بسیاری از محصولات فوق‌العاده مانند رادیو، تلویزیون، الیاف شیشه‌ای، لیزر، فراصوت، اسباب ماکروویو و مخابرات، هواپیمای جت، رایانه خانگی و تلفن همراه مرهون سرامیک‌های نوین هستیم. الیاف سرامیکی جز ء عایق‌های گرم با پایه معدنی هستند. این الیاف به دلیل تحمل دمای بالا، انتقال حرارت پایین، وزن کم و مقاومت در برابر شوک‌های حرارتی جهت تهیه منسوجات عایق کاربردهای بسیار زیادی دارند[۲۰].

۱-۴-۱- دسته‌بندی سرامیک‌ها

به علت گستردگی ترکیبات سرامیکی دسته‌بندی‌های متفاوتی برای آن‌ها صورت گرفته است. ازنقطه‌نظر تاریخی می‌توان سرامیک‌ها را به دودسته سنتی و مدرن تقسیم‌بندی نمود:

۱) سرامیک‌های سنتی عمدتاً سرامیک‌های سیلیکیاتی هستند که ازجمله آن‌ها می‌توان به محصولات رسی، سیمان و شیشه‌های سیلیکاتی اشاره نمود.
۲) سرامیک‌های مدرن دارای خواص حرارتی، مکانیکی و شیمیایی ویژه‌ای هستند. سرامیک‌های اکسیدی بسیار خالص مانند آلومینا و زیرکونیا، سوخت‌های هسته‌ای بر پایه اکسید اورانیوم، کاربید ها و نیتریدهای سرامیکی و شیشه سرامیک‌ها در دسته سرامیک‌های مدرن جای می‌گیرند.

سرامیک‌های مدرن بر اساس ترکیب شیمیایی به دودسته سرامیک‌های اکسیدی و غیر اکسیدی تقسیم‌بندی می‌شوند.در میان سرامیک‌های اکسیدی می‌توان به آلومینا[۳]، زیرکونیا[۴]، توریا[۵]، برلیا[۶]، منیزیا[۷] و در بین سرامیک‌های غیر اکسیدی به نیترید سیلیسیوم[۸]، نیترید بور[۱]وکاربید سیلیسیم[۲] اشاره کرد.

---

[۱] Ceramics
[۲] Keramos
[۳] Al_2O_3
[۴] ZrO_2
[۵] ThO_2
[۶] BeO
[۷] MgO
[۸] Si_3N_4

۱-۴-۲- خواص سرامیک‌ها

ازجمله مهم‌ترین خواص سرامیک‌ها نسبت به سایر مواد نقطه ذوب بالا، هدایت حرارتی پائین، دیرگدازی بالا، سختی زیاد،مقاومت در برابر خوردگی بالا، استحکام فشاری بالا است. شرایط تمامی یون‌های تشکیل‌دهنده یک ماده یکسان است. اگر یک یون در خارجی‌ترین سطح جسم قرارگرفته باشد، یعنی در یک‌طرف از پیوند یون‌ها آزاد باشد، در این صورت پیوند آن با سایر یون‌های داخل جسم متفاوت است و تعداد پیوندهای داخلی با یون‌ها کاهش می‌یابد. بنابراین خواص سطحی با خواص داخلی جسم متفاوت است. درنتیجه سطح خارجی سرامیک‌ها بسیار مهم است [۲۰]. تخلخل یکی از مهم‌ترین خواص سرامیک‌ها است. تخلخل در اغلب مواد سرامیکی دیده می‌شود و بسیاری از عوامل مکانیکی و خواص سرامیک‌ها به شکل این تخلخل‌ها بستگی دارد. در بین خلل و فرج انتقال حرارت به‌صورت جابجایی از طریق هوا صورت می‌گیرد و در دماهای خیلی بالا، علاوه بر جابجایی، تشعشع در بین خلل و فرج هم باعث بروز انتقال حرارت می‌شود. مواد سرامیکی دارای نقطه ذوب بالا و انتقال حرارت خیلی کمی می‌باشند که دلیل این امر وجود هوا در تخلخل‌های داخلی این مواد است. می‌توان گفت پودرهای سرامیکی کپسول‌های کوچکی از هوا هستند که هدایت حرارتی کم آن‌ها و نقطه ذوب بالا، خاصیت ویژه‌ای به مواد سرامیکی می‌دهد، به‌طوری‌که از این مواد می‌توان به‌عنوان عایق حرارتی حتی در دماهای خیلی بالا نیز استفاده نمود، بنابراین مواد سرامیکی دارای کاربردهای وسیع در صنعت به‌عنوان عایق حرارتی می‌باشند[۲۰].

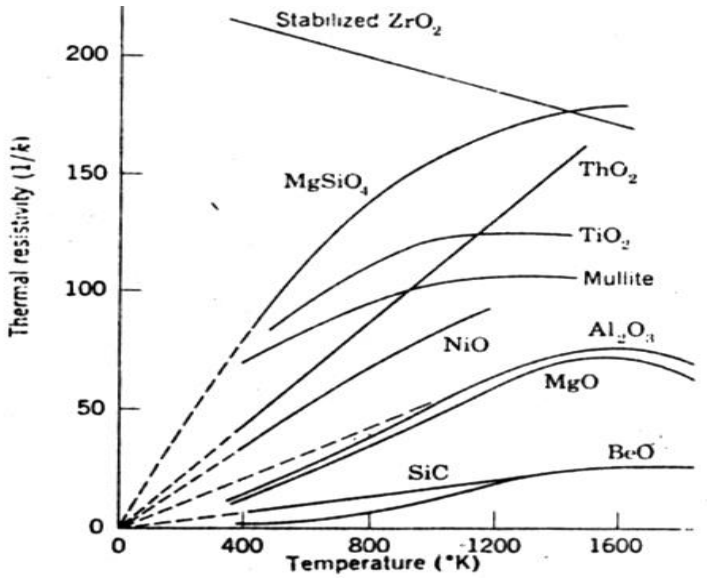
انتقال حرارت در سرامیک‌ها به دلیل جامد بودن آن‌ها، عمدتاً به‌صورت رسانش انجام می‌پذیرد و انتقال حرارت تشعشعی و جابجایی نقش بسیار کم‌رنگ‌تری در انتقال حرارت دارا می‌باشند. تنها در خلل و فرج‌ها، انتقال حرارت از طریق جابجایی و تشعشع به میزان بسیار کم صورت می‌پذیرد. در سرامیک‌ها و دی‌الکتریک‌ها، به دلیل عدم آزادی اتم‌ها، برخوردی میان آن‌ها صورت نمی‌گیرد، بنابراین انتقال حرارت توسط ارتعاش شبکه و انتقال ارتعاش انجام می‌گیرد. هرچه این انتقال بهتر صورت بگیرد، مقاومتی برای انتقال گرما وجود نداشته و هدایت گرما بهتر انجام می‌پذیرد. در دماهای پائین، ارتعاشات شبکه‌ای یکنواخت‌تر است، بنابراین به دلیل افزایش برخوردها،انتقال حرارت افزایش می‌یابد. در دماهای بین ۱۰۰ تا ۱۰۰۰ درجه کلوین، با افزایش دما، به دلیل نایکنواخت شدن ارتعاشات ذرات، میزان انتقال حرارت کاهش می‌یابد (مقاومت حرارتی افزایش می‌یابد)و سپس انتقال حرارت افزایش می‌یابد(پس از دمای ۱۰۰۰ کلوین). شکل شماره (۱-۳) مقاومت حرارتی مواد سرامیکی را نشان می‌دهد که معکوس هدایت حرارتی است. با توجه به این نمودار با افزایش دما تا ۱۰۰۰ درجه کلوین، هدایت حرارتی مواد سرامیکی کاهش می‌یابد، زیرا با افزایش دما، ارتعاشات ذرات نایکنواخت شده که باعث افزایش مقاومت حرارتی مواد سرامیکی می‌شود. همچنین در جدول (۱-۲) میزان انتقال حرارت مواد سرامیکی را

---

[۹] BN

[۱۰] SiC

می‌توان مشاهده نمود. مقاومت حرارتی این مواد بسیار پائین است. مواد سرامیکی با ساختار پیچیده نسبت به دیگر مواد سرامیکی، از میزان انتقال حرارت کمتری برخوردار هستند. به‌عنوان‌مثال آلومینات منیزیم با ساختمان بلوری پیچیده‌تر نسبت به آلومینا و اکسید منیزیم، دارای انتقال حرارت پائین تری می‌باشد[۲۰].



شکل ۱-۳: میزان مقاومت حرارتی برخی از مواد سرامیکی [۲۰]

جدول ۱-۲ : انتقال حرارت رایج‌ترین مواد سرامیکی [۲۰]

	انتقال حرارت (cal/sec/cm^2/°C/cm)	
مواد	100 °C	1000 °C
Al_2O_3	۰/۰۷۲	۰/۰۱۵
BeO	۰/۵۲۵	۰/۰۴۹
MgO	۰/۰۹۰	۰/۰۱۷
$MgAl_2O_3$	۰/۰۳۶	۰/۰۱۴
ThO_2	۰/۰۲۵	۰/۰۰۷
Mullite	۰/۰۱۴	۰/۰۰۹
$UO_{2.00}$	۰/۰۲۴	۰/۰۰۸
گرافیت	۰/۴۳	۰/۱۵
ZrO_2 (پایدار)	۰/۰۰۴۷	۰/۰۰۵۵
شیشه سیلیکاتی	۰/۰۰۴۸	۰/۰۰۶
شیشه کربنات سدیم – آهک	۰/۰۰۴	–
TiC	۰/۰۶۰	۰/۰۱۴
مواد نسوز	۰/۰۰۲۷	۰/۰۰۳۷
TiC	۰/۰۸	۰/۰۲