بسم الله الرحمن الرحیم

دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده نساجی

بررسی رفتار تاخیر حرارتی پارچه های چند لایه متشکل از پارچه و لایه آلومینیوم در برابر تشعشع گرمایی

پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی نساجی – تکنولوژی نساجی

طاهره امیرانی

استاد راهنما

دکتر محمد قانع

۱۳۹۱

دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده نساجی

پایان نامه کارشناسی ارشد رشته مهندسی نساجی- تکنولوژی نساجی خانم طاهره امیرانی

تحت عنوان

بررسی رفتار تاخیر حرارتی پارچه های چند لایه متشکل از پارچه و لایه آلومینیوم در برابر تشعشع گرمایی

در تاریخ ۹۱/۱۱/۴ توسط کمیته تخصصی زیر مورد بررسی و تصویب نهایی قرار گرفت.

۱- استادراهنمای پایان نامه — دکتر محمد قانع

۲- استاد داور — دکتر سید عبدالکریم حسینی

۳- استاد داور — دکتر محمد شیخ زاده

سرپرست تحصیلات تکمیلی دانشکده — دکتر صدیقه برهانی

تشکر و قدردانی

با سپاس و درود بی پایان از الطاف خداوند منّان بر خود لازم می دانم از همه کسانی که در طی انجام این پروژه مورد راهنمایی ایشان قرار گرفته‌ام تشکر و قدردانی نمایم.

از زحمات و پشتیبانی های پدر و مادر مهربان و همسر عزیزم که در طول این مدت یار و یاور من بوده اند تشکر و قدردانی ویژه می نمایم. از راهنمایی ها و زحمات جناب آقای دکتر قانع، استاد راهنمای پروژه سپاسگذاری می کنم. از تلاش های بی دریغ جناب آقای مهندس مهرورزان کارمند محترم اداره استاندارد صمیمانه تشکر و قدردانی می نمایم. از کمک های آقایان زندی و سرلک سپاسگذاری می کنم. از دوستان عزیزم خانم ها پاشایی، شکری، احمدوندو رضایی به خاطر کمک های ارزنده ایشان صمیمانه تشکر و سپاسگذاری می کنم.

در پایان از دو خواهر و دو برادر عزیزم و همه کسانی که در طول این مدت همواره مورد توجه و راهنمایی ایشان قرار گرفته‌ام تشکر و سپاسگذاری می نمایم.

کلیه حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات، ابتکارات

و نوآوری‌های ناشی از تحقیق موضوع این پایان نامه (رساله)

متعلق به دانشگاه صنعتی اصفهان است.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فهرست مطالب ..... هشت
چکیده ۱

فصل اول: مقدمه

۱-۱ مقدمه ۲
۱-۲ انواع روش‌های انتقال گرما ۲
۱-۲-۱ رسانش ۲
۱-۲-۲ همرفت ۳
۱-۲-۳ تابش ۴
۱-۳ تابش‌های مهم ۶
۱-۳-۱ امواج ماورء بنفش ۶
۱-۳-۲ نور مرئی ۷
۱-۳-۳ اشعه مادون قرمز ۷
۱-۴ عملکرد منسوجات در برابر اشعه مادون قرمز ۷
۱-۵ برخی از تحقیقات صورت گرفته در رابطه با محافظت منسوجات در برابر تشعشعات گرمایی ۹
۱-۵-۱ مقایسه دو نوع پارچه آلومینیومی ۹
۱-۵-۲ مدلسازی و مقایسه پارچه‌های چندلایه آلومینیومی ۱۱
۱-۵-۳ مدلسازی انتقال حرارت از طریق لباس‌هاس چندلایه ۱۲
۱-۵-۴ مدل حسگر شبیه‌سازی پوست ۱۳
۱-۵-۵ انتقال حرارت تشعشعی در بی‌بافت‌ها ۱۴
۱-۵-۶ عملکرد محافظتی گرمایی پارچه‌هایی از جنس بازالت ۱۵
۱-۶ انواع روش‌های بررسی منسوجات دربرابر گرمای تشعشعی ۱۵

۱-۶-۱ سیستم عملکرد لباس‌های حفاظتی گرمایی (TPP) ۱۵
۱-۶-۲ سیستم عملکرد حفاظتی تشعشعی (RPP) ۱۷
۱-۶-۳ سیستم تابش صفحه‌ای ۱۸
۱-۷ هدف از انجام پروژه ۱۹

فصل دوم: مواد و روش‌ها

۲-۱ ساخت دستگاه عملکرد محافظت تشعشعی منسوجات ۲۱
۲-۱-۱ استاندارد ASTM F1939-08 ..... ۲۱
۲-۱-۲ نحوه ساخت دستگاه اندازه‌گیری شار تشعشعی منسوجات ۲۴
A: منبع حرارت تشعشعی ۲۵
B :نگهدارنده نمونه ۲۸
C :حسگر شار تشعشعی ۲۹
D: میکرو ولت‌متر ۳۰
E: دماسنج مادون قرمز ۳۱
۲-۲ وسایل و نرم‌افزارهای مورد استفاده ۳۲
۲-۳ مواد مورد استفاده در پروژه ۳۲
۲-۴ مشخصات منسوجات مورد استفاده ۳۲
۲-۵ تهیه نمونه‌ها ۳۳
۲-۶ چگونگی اندازه‌گیری شار تشعشعی ۳۶

فصل سوم: بحث و نتایج

۳-۱ تاثیر فویل آلومینیوم درمحافظت تشعشعی نمونه خام ۳۷
۳-۲ تاثیر ضخامت نمونه خام در در میزان شار تشعشعی گرمایی عبوری ۴۴
۳-۳ تاثیر ضخامت فویل آلومینیوم در محافظت در برابر تشعشع گرمایی ۴۵
۳-۴ مقایسه بین شار تشعشعی گرمایی عبوری از نمونه‌های آلومینیومی‌شده ۴۷
۳-۵ محاسبه شاخص محافظت تشعشعی گرمایی ۵۳

فصل چهارم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات

۴-۱ نتیجه گیری ۵۵

۴-۲ پیشنهادات ۵۶

مراجع ۵۷

چکیده

هرساله هزاران آتش‌نشان در مواجهه با تشعشعات گرمایی ناشی از آتش دچار آسیب می‌شوند. اندازه‌گیری‌ها نشان می‌دهد که شار تشعشعی ناشی از تشعشعات گرمایی، کمتر از ۳۰ درصد گرمای همرفتی است. بنابراین لباس‌های محافظتی گرمایی با محافظت عالی در برابر تشعشع گرمایی امروزه بسیار مورد توجه می‌باشد. همانطور که می‌دانیم سطوح انعکاسی در فراهم آوردن محافظت در برابرتشعشع گرمایی مفید هستند. دمای سطح پارچه در مواجهه با تشعشع گرمایی بوسیله یک سطح آلومینیومی شده با ۹۰ درصد انعکاس در هوای ساکن به حدود نصف و در هوای متحرک به طور قابل ملاحظه‌ای بیشتر از نصف، کاهش می‌یابد. در طول سال‌های اخیر مطالعات زیادی در رابطه با منسوجات محافظ به خصوص منسوجات محافظ در برابر گرما و آتش انجام شده است. این منسوجات کاربردهای فراوانی از جمله محافظت در برابر کوره و آتش‌نشانی دارد. در این پروژه به بررسی میزان محافظت منسوجات در برابر تشعشعات گرمایی در دمای بالا پرداخته شده‌است. به همین منظور دستگاهی طبق استاندارد ASTM F1939-99a طراحی و ساخته شد. این دستگاه شامل یک منبع حرارتی، نگهدارنده نمونه و یک حسگر شار تشعشعی گرمایی است. منبع گرمایی شامل ۵ لامپ کوارتز می‌باشد. به منظور انجام آزمایش در ابتدا شار گرمای تشعشعی لامپ‌ها بدون نمونه اندازه گیری می‌شود. سپس نمونه در مقابل منبع گرمایی قرار می‌گیرد و گرمای تشعشعی عبوری از آن اندازه‌گیری می‌شود. به این ترتیب شاخص محافظت تشعشع گرمایی نسبی نمونه‌ها می‌تواند محاسبه شود. سه نوع پارچه از جنس شیشه با ضخامت‌های متفاوت تحت آزمایش قرار گرفت. سپس این پارچه‌ها با فویل آلومینیوم پوشش داده شدند. فویل آلومینیوم نیز در سه ضخامت متفاوت مورد آزمایش قرار گرفت. نتایج نشان داد که ضخامت پارچه‌های از جنس شیشه تاثیر معناداری روی محافظت گرمایی نمونه‌ها دارد. به این صورت که با افزایش ضخامت پارچه‌ها، میزان گرمای تشعشعی عبوری از آن‌ها کاهش می‌یابد. پارچه‌های آلومینیومی شده کاهش بسیار زیادی را در گرمای تشعشعی عبوری نشان دادند. در هر حال ضخامت فویل آلومینیوم تاثیر معناداری در میزان محافظت گرمایی ندارد.

کلمات کلیدی:تشعشع گرمایی، محافظت تشعشعی، حسگر شار تشعشعی، پارچه آلومینیومی‌شده

فصل اول
مقدمه

۱-۱- مقدمه

همانطور که می دانیم عامل انتقال گرما از یک جسم به جسم دیگر، اختلاف دما بین آن دو جسم است و گرما همیشه خود به خود از جایی که دمای آن بیشتر است به جایی که دمای آن کمتر است منتقل می‌شود ولی این انتقال محدود است و پس از آن که دو جسم به حال تعادل درآمدند، متوقف می‌شود. این انتقال ممکن است به سه صورت رسانش، جریان همرفتی و تابش انجام شود[۱].

۱-۲- انواع روش‌های انتقال گرما

۱-۲-۱. رسانش[۱]

نوعی از انتقال گرما که بدون جابه جا شدن اتم‌ها و مولکول‌ها انجام می‌شود، رسانش نام دارد. انتقال گرما از طریق رسانش را می‌توان به این صورت توجیه کرد که اتم‌ها یا مولکول‌هایی که در مجاورت چشمه گرما قرار دارند از چشمه گرما گرفته و دامنه ارتعاشات آن‌ها افزایش می‌یابد. این امر موجب برخورد مولکول‌ها به مولکول‌های مجاور شده و در این

---

[۱] Conduction

برخورد، مقداری انرژی به مولکول‌های مجاور منتقل می‌شود. به این صورت، گرما مولکول به مولکول در جسم پخش می‌شود، بدون آنکه خود مولکول‌ها حرکت انتقالی انجام دهند[۱]. فرآیندهای انتقال گرما را برحسب معادله‌های آهنگ مربوط می‌توان به طور کمی بیان کرد. از این معادله‌ها برای محاسبه مقدار انتقال انرژی در واحد زمان می‌توان استفاده کرد. معادله آهنگ رسانش گرما به قانون فوریه معروف است. معادله آهنگ انتقال گرمای رسانش به کمک رابطه (۱-۱) محاسبه می‌شود[۲]:

$$q = kA\frac{\Delta T}{L} \qquad (۱-۱)$$

در این رابطه k یک خاصیت انتقال است که به آن رسانندگی گرمایی(ضریب رسانش) برحسب وات بر متر در کلوین، می‌گویند که مشخصه‌ای از مواد می‌باشد. L ضخامت سطح، A مساحت سطح و ΔT اختلاف درجه حرارت محیط سرد و گرم می‌باشد. واحد آهنگ انتقال گرمای رسانشی وات می‌باشد[۲]. معادله شار گرمای رسانشی بر حسب وات بر متر مربع به کمک رابطه (۱-۲) محاسبه می‌شود:

$$q \qquad (۱-۲)$$

۱-۲-۲. همرفت[۲]

مایعات و گازها اغلب نارسانا هستند ولی مولکول‌های این مواد برخلاف جامدات دارای حرکت انتقالی هستند و می‌توانند از یک نقطه به نقطه دیگر منتقل شوند و ضمن حرکت، گرما را نیز به همراه خود منتقل کنند. انتقال گرما به وسیله جریانی از مولکول‌ها را جریان همرفت یا کنوکسیون گویند.

وقتی بین دو نقطه درون یک گاز یا یک سیال اختلاف دمایی ایجاد شود، موجب به وجود آمدن جریان همرفتی در داخل سیال می‌شود. اگر قسمت پایین یک سیال در مجاورت چشمه گرما قرار گیرد، دمای آن قسمت افزایش یافته و منبسط می‌شود. انبساط سیال موجب کاهش چگالی و حرکت خود به خود آن به طرف بالا و ایجاد جریان همرفتی می‌شود. این نوع جریان همرفتی که به علت اختلاف چگالی بین نقاط مختلف یک سیال ایجاد می‌شود را کنوکسیون آزاد یا طبیعی می‌گویند. نوع دیگری از کنوکسیون که آن را کنوکسیون اجباری می نامند در اثر تاثیر نیروی خارجی بر سیال نظیر وزش باد، بادبزن و... بوجود می آید[۱]. معادله آهنگ انتقال گرمای همرفتی عبارت است از:

$$q \qquad (۱-۳)$$

---

[۱] convection

در معادله (۱-۳) q شار گرمایی همرفتی برحسب وات ، با اختلاف دمای T_s سطح و دمای T_∞ سیال متناسب است. ثابت تناسب h (برحسب وات برمترمربع بر کلوین) را ضریب انتقال گرمای جابجایی می‌گویند. این ضریب به شرایط موجود در لایه مرزی بستگی دارد و این شرایط نیز به هندسه سطح، نوع حرکت سیال و به خواص ترمودینامیکی و انتقالی سیال وابسته‌اند. معادله شار گرمای همرفتی بر حسب وات بر متر مربع به کمک رابطه (۱-۴) محاسبه می‌شود[۲]:

$$q \qquad (۱-۴)$$

۱-۲-۳ تابش[۳]

گرما برای انتقال، همیشه به ماده نیاز ندارد. بزرگترین منبع گرما خورشید است. بین زمین و خورشید خلا است و هیچ ماده ای وجود ندارد. بنابراین انتقال گرمای خورشید به زمین از طریق رسانش ویا جریان همرفتی صورت نمی‌گیرد. این نوع انتقال گرما یعنی انتقال گرما بدون دخالت ماده را تابش می‌گویند. در این روش، گرما بوسیله امواج الکترومغناطیس منتقل می‌شود. امواج الکترومغناطیس از جنس نور هستند و برای انتشار به محیط مادی نیاز ندارند و در خلا نیزمنتشرمی‌شوند[۱].

همه اجسام همیشه و بطور دایم در حال تابش هستند و از خود انرژی پس می‌دهند. قسمتی از انرژی که به یک جسم می‌رسد جذب و بخشی منعکس شده و بقیه آن از جسم عبور می‌کند. قسمتی که جذب می‌شود مجدداً به انرژی حرارتی تبدیل می‌شود. آن قسمت از انرژی که منعکس می‌شود مجدداً توسط اجسام مجاور جذب و به حرارت تبدیل می‌شود. آن قسمت از انرژی که از جسم عبور می‌کند نیز به همین سرنوشت دچار شده و به گرما تبدیل می‌شود. بنابراین پس از چند انعکاس و جذب متوالی کلیه انرژی تابشی به گرما تبدیل و بین اجسام مجاور تقسیم می‌شود. پس هر جسم در عین اینکه از یکطرف انرژی از خود می‌تابد از طرف دیگر از اجسام مجاور انرژی دریافت می‌کند[۳].

بنابراین مبادله حرارت از طریق تابش با تبدیل توأم گرما-تابش-گرما صورت می‌گیرد. یعنی یک جسم در عین حال هم انرژی تابش را به گرما تبدیل کرده بالعکس انرژی گرمایی را به انرژی تابشی تبدیل می‌کند. مقدار حرارت مبادله شده از طریق تابش برابر است با تفاضل دو مقدار مذکور یعنی انرژی تشعشع شده توسط جسم با انرژی دریافتی جسم از طریق جذب اشعه حرارتی[۳].

هرگاه دمای دو جسم با هم برابر باشد مبادله حرارتی بین این دو جسم صفر است. یعنی جسم اول همانقدر انرژی که به جسم دوم می‌دهد به همان اندازه نیز از آن انرژی تابشی دریافت می‌دارد. در این حال دو جسم را در حال تعادل دمایی می نامند[۳].

فرض کنیمQ_O انرژی اولیه ایست که به جسمی تابیده، Q_A قسمتی از این انرژی است که جذب شده،Q_R قسمت

---

[۳] Radiation

دیگر آن است که منعکس گردیده و Q_D قسمتی است که از جسم عبور کرده است. در این صورت خواهیم داشت:

$$Q_A+Q_R+Q_D = Q_O \qquad (۵-۱)$$

هرگاه طرفین رابطه را بر Q_O تقسیم کنیم خواهیم داشت:

$$Q_A/Q_O+Q_R/Q_O+Q_D/Q_O = ۱ \qquad (۶-۱)$$

کسر اول سمت چپ فرمول بالا را ضریب جذب اجسام[۴]، کسر دوم را ضریب انعکاس[۵] و کسر سوم را ضریب شفافیت[۶] جسم می نامند. هرگاه این سه ضریب به ترتیب با A و R و D نمایش دهیم خواهیم داشت:

$$A+R+D =۱ \qquad (۷-۱)$$

ضرایب مذکور بدون واحد بوده و هریک بین صفر تا یک می‌توانند تغییر کنند. هرگاه $A=۱$ باشد R و D برابر صفرند. در این صورت تمام اشعه تابیده شده به جسم جذب می‌شود. چنین جسمی را جذب کننده کامل یا جسم سیاه می‌نامند. هرگاه $R=۱$ باشد A و D صفرند و انرژی تابیده شده به جسم تماماً منعکس می‌شود. هرگاه این انعکاس به صورت منظم بوده و تابع قوانین و نور هندسی باشد جسم را صیقلی کامل می‌نامند و اگر اشعه ای که به صورت منظم می‌تابد به اشعه نامنظم تبدیل شود جسم را سفید کامل می‌گویند. هرگاه $D=۱$ باشد A و R صفرند و همه انرژی نورانی تابیده شده به جسم از آن عبور می‌کند. در چنین صورتی جسم را شفاف کامل می‌نامند [۳].

در طبیعت هیچ جسم سیاه، سفید، صیقلی و یا شفاف کامل وجود ندارد و هرگاه جسمی سفید یا سیاه وغیره نامیده می‌شود خاصیت مربوط به آن قویتر از سایر خواص آن است. ضرایب A و R و D تابع جنس جسم، دمای آن و طول موجی است که به آن می‌تابد. مثلاً هوا برای اشعه حرارتی شفاف است ولی وجود بخار آب در آن باعث می‌شود که برای همین اشعه حرارتی نیمه شفاف باشد[۳].

تشعشعی که توسط سطح گسیل می‌شود از انرژی گرمایی ماده‌ای که توسط سطح محدود شده است منشأ می‌گیرد. آهنگ دفع انرژی از مساحت واحد را توان گسیل سطح و یا E می‌گویند. حد بالای توان گسیل مربوط به اجسام سیاه می‌باشد و از طریق معادله زیر بدست می‌آید[۲]:

$$E_b=\sigma T_s^4 \qquad (۸-۱)$$

---

[۴] Absorptivity

[۵] Reflectivity

[۶] Transmissivity

که در آن T_s دمای مطلق سطح و σ ثابت استفان – بولتزمن[۷] است ($\sigma = ۵/۶۷ \times ۱۰^{-۸}\ w/m^2.k^4$). شار گرمای گسیل شده توسط سطوح حقیقی کم‌تراز شار گرمایی جسم سیاه، با همان دما، می‌باشد و با رابطه (۱-۹) نشان داده می‌شود:

$$E = \varepsilon\sigma T_s^4 \qquad (۹-۱)$$

در معادله (۱-۹)، ε یکی از خواص تشعشعی سطح به نام گسیلمندی (ضریب نشر)[۸] است. این خاصیت با مقدار $۰ < \varepsilon < ۱$، قابلیت گسیل انرژی از سطح را نسبت به جسم سیاه می‌سنجد. ε به جنس و پرداخت سطح بستگی دارد. برای جسم سیاه $\varepsilon = ۱$ است[۲].

۱-۳- تابش‌های مهم

انواع تشعشع‌هایی که بشر با آنها روبرو است اشعه ماوراء بنفش[۹]، اشعه مرئی[۱۰] و اشعه مادون قرمز[۱۱] می‌باشد که به اجمال به آن‌ها پرداخته می‌شود[۴].

۱-۳-۱- امواج ماوراء بنفش

این اشعه محدوده ای از طیف نور خورشید است که پس از طی میلیون‌ها کیلومتر از خورشید به انسان می‌رسد. این قسمت از نور خورشید در محدوده بینایی انسان نیست و نمی توان آن را دید، به همین خاطر به آن نور تاریک نیز می‌گویند. این اشعه خود به سه دسته تقسیم می شود[۴]:

UV-A، UV-B و UV-C

جو زمین شدت ورود اشعه را می‌گیرد. علاوه بر جو زمین عواملی چون گردوغبار، آلودگی هوا و ابرها نیز از شدت ورود اشعه می‌کاهند. به همین خاطر کوهنوردان در ارتفاعات کوه‌ها بیشتر در معرض تابش این اشعه هستند. به طور کلی با هر ۱۰۰۰ متر افزایش ارتفاع شدت این اشعه ۱۰ تا ۱۲ درصد بیشتر می‌شود. طول موج این سه نوع اشعه به این شکل است: حدود ۲۰۰ تا ۲۹۰ نانومتر برای UV-C و ۲۹۰ تا ۳۲۰ نانومتر برای UV-B و ۳۲۰ تا ۴۰۰ نانومتر برای UV-A. هر چه طول موج کوتاهتر باشد یا به عبارتی عدد کوچکتر باشد، قدرت اشعه بیشتر است. طیف نور قابل رویت برای ما انسان‌ها از ۴۰۰ تا ۷۰۰ نانومتر است. با این حساب UV-C از همه قویتر و سپس UV-B و آخر هم UV-A است. خوشبختانه لایه ازن، شدت نورهای وارد شده به جو با طول موج ۲۰۰ تا ۳۴۰ نانومتر را کاهش میدهد [۴].

---

[۷] Stefan- Boltzman constant

[۸] Emissivity

[۹] Ultra Violet

[۱۰] Visible

[۱۱] Infra Red

۱-۳-۲- نور مرئی

شدت این تشعشع تقریباً به محدوده طول موج امواج ماوراء بنفش یا نور آبی می‌رسد، که از قرنیه و لنز چشم گذشته و چشم را خیره می‌کند و در موارد شدید، به سیستم شبکه عصبی شبکیه چشم آسیب می‌زند. طول موج‌هایی از نور قابل رویت که به امواج مادون‌قرمز می‌رسد تاثیرات متفاوتی دارد، اما می‌تواند علائم مشابهی ایجاد کند. این تاثیرات به مدت زمان و شدت تابش بستگی دارد [۴].

۱-۳-۳- اشعه مادون‌قرمز

این اشعه از نظر طول موج بزرگتر از فرکانس نورهای قابل رویت می‌باشد و از نظر ادراکی همان گرماست. منطقه اشعه مادون‌قرمز بین طول موج‌های ۰/۸ میکرومتر (که حد نور مرئی است) و۳۴۳ میکرومتر قرار دارد. در اشعه مادون‌قرمز طول موج‌های کوتاهتر از۱/۵ میکرومتر از پوست می‌گذرند و بقیه جذب شده و تولید حرارت می‌کنند. اشعه مادون‌قرمز را به دو قسمت تقسیم می‌کنند:

طول موج‌های بین۰/۸ میکرومتر تا ۴ میکرومتر.

طول موجهای بلندتر از۴ میکرومتر که اغلب بوسیله مواد جذب می‌شوند، بخصوص طول موج‌های بلندتر از ۱۰میکرومتر بوسیله هوا کاملا جذب می‌شوند[۴].

بزرگترین منبع طبیعی اشعه مادون‌قرمز، خورشید است. مقداری از نور آفتاب که به ما می‌رسد، دارای اشعه مادون-قرمز کوتاه است، زیرا پرتوهای مادون‌قرمز بلند آن در طبقات هوا جذب شده‌اند. برای اندازه گیری اشعه مادون‌قرمز از جذب انرژی حرارتی آن استفاده می‌نمایند، یعنی این اشعه را به جسمی می‌تابانند که بتواند کلیه انرژی را جذب کند و سپس مقدار حرارتی را که در جسم مزبور تولید گشته، اندازه می‌گیرند. وسیله دقیق دیگر برای اندازه گیری اشعه مادون‌قرمز، استفاده از پیل ترموالکتریک می‌باشد که در آن انرژی حرارتی تبدیل به انرژی الکتریکی می‌شود و به سهولت قابل اندازه گیری است[۴].

۱-۴- عملکرد منسوجات در برابر اشعه مادون قرمز

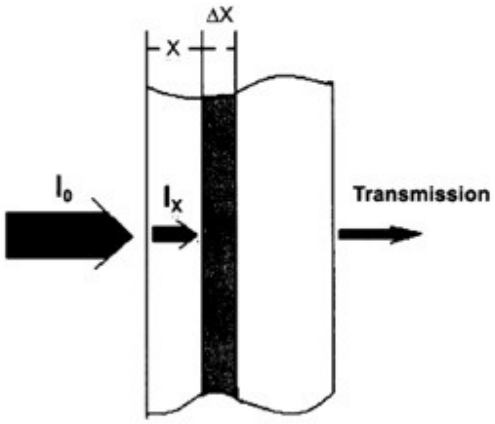
اشعه مادون‌قرمز اغلب می‌تواند از منسوجات عبور کند، ممکن است که این اشعه ضرر چندانی برای پوست نداشته باشد ولی از آن جا که پوست هم توانایی جذب آن را دارد، پس از دریافت آن، دمای پوست بسرعت بالا می‌رود که این امر اغلب در تابستان رخ می‌دهد. لباس‌های طراحی شده برای کارکنان فولادسازی و آتش‌نشانان معمولاً با خاصیت ضد اشعه مادون‌قرمز تکمیل می‌شوند، هرچند دمای منسوج وقتی دربرابر اشعه مادون‌قرمز قوی قرار گیرد تا حد زیادی افزایش می-یابد[۵].

برای محاسبه افزایش دمای منسوج تحت اشعه مادون‌قرمز می‌توان بصورت زیر عمل کرد:

اگر فرض شود که منسوج فیلمی یکنواخت است که انژری مادون‌قرمز را در هر طول موجی بطور یکنواخت دریافت می‌کند، طبق قانون لمبرت- بیر[۱۲] انتقال اشعه مادون‌قرمز از معادله زیر بدست می‌آید:

$$I_x = I_0 . \exp(-\mu x) \qquad (۱۰-۱)$$

I_x شدت اشعه مادون‌قرمزی است که در فاصله x از سطح رویی منسوج قرار گرفته، I_0 شدت اشعه مادون قرمز و μ ضریب جذب اشعه مادون‌قرمز منسوج است.شکل ۱-۱ انتقال اشعه مادون قرمز را در منسوج نشان می‌دهد.



شکل ۱-۱: انتقال اشعه مادون‌قرمز در منسوج[۵]

وقتی منسوج انژی مادون‌قرمز را جذب می‌کند، دمای منسوج در موقعیت x افزایش خواهد یافت. انرژی جذب شده توسط منسوج مطابق معادله (۱-۱۱)خواهد بود. بطوری که Q انرژی مادون‌قرمز جذب شده توسط منسوج است و ΔT نرخ افزایش دما بعد از جذب انرژی توسط منسوج و C_v ظرفیت گرمایی ویژه منسوج است.

$$Q = C_v M \Delta T \qquad (۱۱-۱)$$

همچنین مقدار K_x، نرخ افزایش دمای منسوج در برابر اشعه مادون قرمز در هر لحظه برابر است با:

$$K_X = \frac{\mu . I_x}{C_V . \rho} \qquad (۱۲-۱)$$

[۱۲] Lambert- Beer

که ρ وزن مخصوص منسوج می‌باشد. بنابراین یک شاخص مناسب برای ارزیابی خاصیت جذب اشعه مادون قرمز توسط منسوجات و افزایش درجه حرارت آنها می‌تواند بصورت معادله زیر تعریف شود که توسط خواص فیزیکی داخلی مواد نساجی تعیین می‌شود:

$$B \qquad (۱۳-۱)$$

واحد اندازه گیری β، ژول بر سانتی‌متر مربع می‌باشد که یعنی مقدار افزایش درجه حرارت منسوج زمانی که یک ژول انرژی توسط یک مترمربع آن جذب شود. از لحاظ تئوری β شاخصی از خواص فیزیکی است که توسط خود ماده تعیین می‌شود و هیچ ارتباطی به سایر پارامترها ندارد[۵].

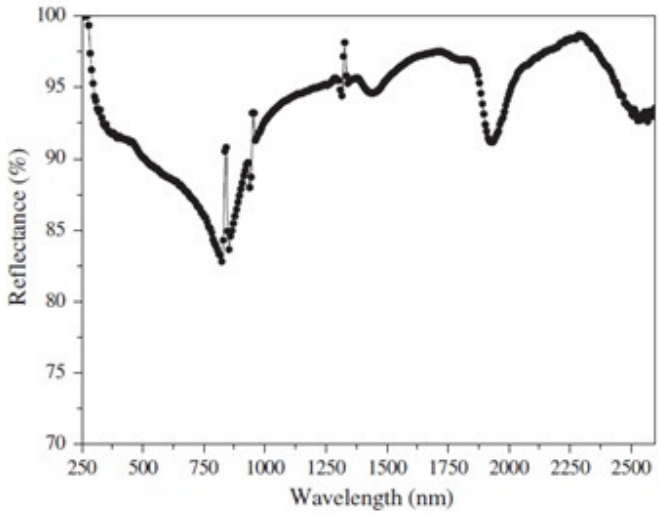
با توجه به روابط بالا می‌توان نتیجه گرفت که افزایش دمای منسوج به طور مثبت وابسته به شدت اشعه مادون‌قرمز در منسوج است. اگرچه براساس قانون لمبرت- بیر شدت اشعه مادون‌قرمز از سطوح رویی تا سطوح زیرین کاهش می‌یابد[۵].

۱-۵- برخی از تحقیقات صورت گرفته در رابطه با محافظت منسوجات در برابر تشعشعات گرمایی

پدیده انتقال حرارت در منسوجات پدیده‌ای بسیار مهم و در عین حال برای مهندسان مربوط به رشته همواره جالب بوده است. تاکنون تحقیقات زیادی در رابطه با عملکرد منسوجات در برابر گرما و تشعشعات گرمایی صورت گرفته است. در اکثر این تحقیقات انتقال گرما به صورت جابجایی(همرفتی) قابل صرف‌نظر بوده و در دماهای بالاتر از ۳۰۰ درجه سانتی-گراد، انتقال گرما به روش تشعشعی، مد حاکم می‌باشد[۹-۶]. در ادامه به برخی از این تحقیقات اشاره شده است.

۱-۵-۱- مقایسه دو نوع پارچه آلومینیومی شده

در آزمایشاتی که توسط Hao و Yu برای ارزیابی میزان انعکاس نوعی فویل آلومینیومی تحت شرایط شبیه سازی شده آتش که با استفاده از یک گاز مایع با قدرت kpa ۳۰ بوجود آمده بود انجام شد، میزان انعکاس فویل بویژه در محدوده طول موج‌های مادون‌قرمز، بسیار بالا و بیشتر از ۸۵٪ بود که دیاگرام آن در شکل ۱-۲ آورده شده است[۱۰].



شکل ۱-۲- میزان انعکاس فویل آلومینیوم در طول موج‌های مختلف[۱۰]

برای جلوگیری یا به حداقل رساندن سوختگی‌های پوست ناشی از جرقه‌های آتش، یک نوع پارچه مرکب محفاظتی گرمایی که سطح آن آلومینیومی شده است ارتقاء و بهبود یافت. با استفاده از اسپکتروفتومتر[۱۳]، عملکرد محافظت گرمایی تشعشعی پارچه‌های آلومینیومی ساخته شده از الیاف بازالت و پارچه‌های آلومینیومی ساخته شده از الیاف شیشه مورد ارزیابی و مقایسه قرار گرفتند. پارچه‌های آلومینیومی و پارچه‌های اصلی استفاده شده در معرض محیطی آتشی که توسط یک مشعل گاز مایع برای چندین ثانیه تولید شده بود، قرار گرفت تا اثر حفاظتی پوشش آلومینیوم، ارزیابی شده و عملکرد عایق گرمایی توصیف شود. ویژگی پارچه‌های آلومینیومی شده مورد آزمایش در جدول۱-۱آورده شده است[۱۰].

جدول ۱-۱. ویژگی‌های ساختاری پارچه‌های آلومینیومی‌شده[۱۰]

Sample no.	Material	Structure feature	Fabric count (10cm × 10cm)	Thickness (mm)	Area mass (g/m^2)
A1	Basalt fiber	Plain	52 × 52	0.37	316.7
A2	Glass fiber	Plain	196 × 104	0.30	289.5
A3	Glass fiber	Plain	120 × 76	0.49	425.4

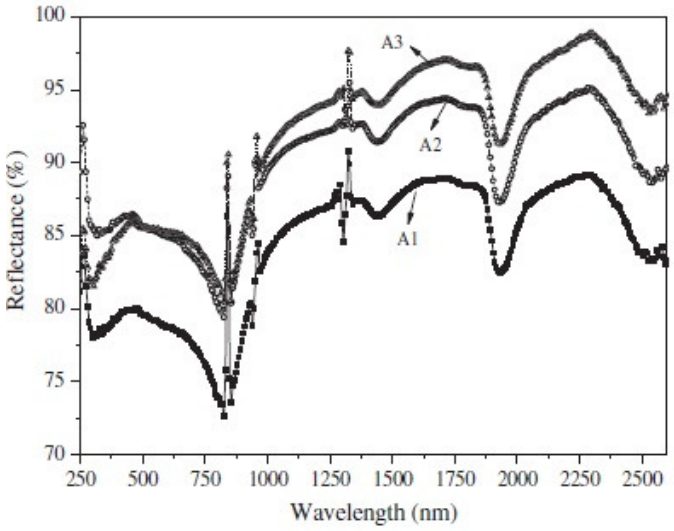
طیف انعکاسی پارچه‌های آلومینیومی و خواص انعکاسی میانگین آن‌ها در شکل ۱-۳ و جدول ۱-۲ آورده شده است. همانطور که دیده می‌شود پارچه‌ها در محدوده‌های طول موج دارای توزیع انعکاسی طیفی مشابهی هستند. نتایج

[۱۳] Spectrophotometer

تفاوت‌های آشکاری در میان سه پارچه مورد آزمایش نشان می‌دهد. پارچه A_3 دارای بهترین بازتابندگی که مقدار آن به ۹۰٪ هم می‌رسد می‌باشد و پارچه A_1 بدترین بازتابندگی را داراست. باید توجه داشت که میانگین بازتابندگی هر سه پارچه به مقدار۸۵٪ می‌رسد که تنها درصدکمی از فویل آلومینیومی کمتر است. و این نشان می‌دهد که پارچه‌های آلومینیومی باید عملکرد حفاظتی عالی را در معرض آتش از خود نشان دهند[۱۰].

جدول ۱-۲- خواص انعکاسی میانگین پارچه‌های آلومینیومی شده[۱۰]

Sample	UV reflectance (%)	Vis reflectance (%)	NIR reflectance (%)	Full range reflectance (%)
Aluminum foil	95.4	88.9	94.7	93.8
A1	79.5	78.6	85.9	84.3
A2	86.7	84.7	91.3	90.0
A3	82.9	85.0	94.1	91.9



شکل ۱-۳- طیف انعکاسی پارچه‌های آلومینیومی شده[۱۰]

۱-۵-۲- مدل سازی و مقایسه پارچه‌های چندلایه آلومینیومی

Chen و Yu مطالعه‌ای تئوری و آزمایشگاهی بر روی هدایت گرمایی موثر پارچه‌های چندلایه انجام دادند و مدلی ریاضی برای توصیف جریان گرما از طریق این پارچه‌ها ارائه کردند. . این پارچه ها شامل یک پارچه خارجی، یک پارچه داخلی و تعدادی عایق‌های چندلایه میانی است. برای کاهش انتقال گرما لایه های داخلی و خارجی به وسیله لایه‌ای پوشیده شده که باعث افزایش انعکاس گرما شده و نشر پایینی دارد. عایق‌های چندلایه میانی شامل تعداد زیادی از صفحات با انعکاس بالا می‌باشند و معمولاً بین ۶ تا ۱۲ میکرون ضخامت دارند و بوسیله لایه‌های نازک غیرهادی از هم جدا شده اند. این صفحات معمولاً از فیلم‌های پلاستیکی ساخته شده‌اند که استحکام بالا و هدایت گرمایی کمی دارند. برای افزایش انعکاس،

صفحات با لایه‌های آلومینیومی پوشیده شده‌اند. ضخامت لایه‌های نازک غیرهادی بین ۰/۰۳ تا ۰/۰۵ میکرون بوده و مواد رایج برای این لایه‌ها پلی استر، نایلون یا ابریشم می‌باشد[۱۱].

در مدل معرفی شده در این مقاله انتقال گرما شامل تشعشع گرمایی، Q_{Rad}، رسانش از طریق لایه‌های داخلی، Q_{cond}، و رسانش از طریق گاز باقیمانده، Q_{gcond} می‌باشد. که معادله هرکدام به ترتیب عبارت است از:

$$Q_{Rad} = \frac{\sigma A(T_2^4 - T_1^4)}{1/\varepsilon_c + A_C/A_h(1/\varepsilon_h - 1) + \Sigma A/A_i(2/\varepsilon_r - 1)} \quad (۱۴-۱)$$

$$Q \quad (۱۵-۱)$$

$$Q \quad (۱۶-۱)$$

در این معادلات σ، ثابت استفان بولتزمن، A مساحت صفحه انعکاسی، $T1$ دمای مرز گرم، T_2 دمای مرز سرد، ε ضریب نشر، δ فاصله بین دو صفحه انعکاسی، λ هدایت گرمایی، R مقاومت گرمایی و اندیس‌های c و h به ترتیب مربوط به مرز سرد و مرز گرم می‌باشد [۱۱].

۱-۵-۳- مدل‌سازی انتقال حرارت از طریق لباس‌های چندلایه

Das و همکارانش با استفاده از معادلات کلی انتقال حرارت در سیستم‌های متخلخل یک مدل ریاضی را برای یک سری از پارچه‌های چندلایه بیان کردند و اعتبار مدل را با کمک نتایج آزمایشگاهی بررسی نمودند.

ازآنجایی که انتقال گرمای همرفتی در پارچه‌ها ناچیز است در این مطالعه از آن صرف‌نظر شده‌است. بنابراین انتقال گرما در پارچه‌های چندلایه شامل انتقال حرارت از طریق رسانش و تشعشع می‌باشد. هدایت گرمایی موثر به صورت زیر تعریف می‌شود[۱۲]:

$$K_e = k_c + k_r \quad (۱۷-۱)$$

K_c انتقال حرارت از طریق رسانش و k_r انتقال حرارت از طریق تشعشع است. هدایت گرمایی یک پارچه چندلایه متشکل از هوا و پارچه بوسیله متد فریک[۱۴] تعریف شود:

[۱۴] Frick