

NGHIÊN CỨU TRUYỀN NHIỆT QUA VẢI DỆT SỬ DỤNG PHẦN MỀM ANSYS

INVESTIGATION HEAT TRANSFER THROUGH TEXTILE FABRIC USING ANSYS SOFTWARE

Trần Thụy Liên

Khoa Dệt may và Thời trang, Trường Đại học Kinh tế – Kỹ thuật Công nghiệp

TÓM TẮT

Trong nghiên cứu này, hiện tượng truyền nhiệt của vải được mô phỏng sử dụng phần mềm Ansys. Khác với các nghiên cứu trước đây vải thường được coi là dạng tấm đồng nhất, ở đây các mô hình hình học của vải sa tanh và vải dệt trơn đôi đã được thiết lập dựa trên độ dày và hình dạng mặt cắt ngang của sợi. Trong vải, không khí chiếm đến 80% thể tích nên không khí cần được xem xét khi tính toán truyền nhiệt bằng phương pháp phần tử hữu hạn. Trong quá trình tính toán mô phỏng, ô đơn vị của vải bao gồm miền sợi và miền không khí được sử dụng để dự đoán sự truyền nhiệt. Các kết quả đã cho thấy nhiệt độ của vải sa tanh tăng nhanh hơn vải hai lớp và tốc độ gia nhiệt của vải sa tanh tăng nhanh hơn so với vải dệt trơn đôi.

Từ khóa: Vải sa tanh; Vải dệt trơn đôi; Thông lượng nhiệt; Ansys.

ABSTRACT

In this study, the heat transfer phenomenon of fabrics is simulated using Ansys software. Different from previous studies, which are often considered to be a uniform plate, here the geometry of satin weave and double plain weave fabrics were established based on fabric thickness and yarn cross-sectional shape. In fabric, air accounts for up to 80% of the volume of the fabric unit. Therefore, the air in the fabric should be considered when calculating heat transfer in numerical simulation using finite element analysis. In the simulation, the unit cell of the fabric consisting of the fiber domain and the air domain is used to predict the heat transfer. The results showed that the temperature of satin fabric increased faster than that of double plain weaver fabric and the heating rate of satin fabric increased faster than that of double-layer plain weave fabric.

Keywords: Satin fabric; Double weave plain; Heat flux; Ansys.



1. GIỚI THIỆU CHUNG

Vải sợi thủy tinh có đặc tính mềm, nhẹ, cường độ cao, không cháy, cách nhiệt, ổn định hóa học và có thể dễ dàng tạo hình. Để phát triển loại vải bảo vệ nhiệt, các phương pháp hiện nay đều mang tính thử nghiệm, quá trình xử lý bao gồm thiết kế vải, dệt và thử nghiệm ở nhiệt độ cao. Phương pháp này kéo dài thời gian xử lý, chi phí cao, tiêu thụ năng lượng cao và tạo ra khói. Mô phỏng số về sự truyền nhiệt qua vải có thể cung cấp cơ sở lý thuyết cho việc thiết kế và ứng dụng vải chịu nhiệt. Nó có thể được sử dụng rộng rãi trong thiết kế nhiệt vải dùng cho lính cứu hỏa, thợ hàn... Đã có nhiều nghiên cứu khác nhau để dự đoán tính chất nhiệt của vải dệt thoi. Gong và cộng sự [1] đã thiết lập mô hình truyền nhiệt vải 1-D và phần mềm Ansys được sử dụng để mô phỏng và dự báo thời gian xảy ra vết phá hủy của các mẫu vải. Dupade và cộng sự [2] đã nghiên cứu ảnh hưởng của trình tự phân lớp đến phản ứng nhiệt của vật liệu sợi đa lớp trong trạng thái không ổn định. Vải dệt thoi được phân loại thành dệt hoặc cấu trúc theo kiểu sợi dọc và sợi ngang đan chéo nhau. Kết cấu của vải có ảnh hưởng đáng kể đến các đặc tính như cách nhiệt, hoạt động cơ học và khả năng thấm ẩm [3]. Đặc tính nhiệt của vải thay đổi khi kiểu dệt thay đổi. Vải là vật liệu có độ xốp cao bao gồm chủ yếu là sợi rắn và khoảng trống không khí. Độ xốp của hầu hết các loại vải dao động từ 60-80% [4]. Độ dẫn nhiệt hiệu quả của vải sợi khác nhau được tính toán bởi Muhammad và cộng sự [5].

Bài báo này nghiên cứu hiện tượng truyền nhiệt qua vải dệt bằng sợi thủy tinh (vải sa tanh 5/3 và vải dệt trơn đôi). Sự thay đổi nhiệt độ của vải theo thời gian, sự phân bố nhiệt độ tại các mặt cắt ngang của vải, nhiệt độ môi trường và ảnh hưởng của cấu trúc vải đến nhiệt lượng đã được đánh giá bằng mô phỏng và kiểm nghiệm bằng thực nghiệm.

2. MÔ PHỎNG SỐ QUÁ TRÌNH TRUYỀN NHIỆT

2.1. Xây dựng mô hình hình học

Cấu trúc hình học của vải được xác định chủ yếu bởi các đường đi và hình dạng mặt cắt ngang của các sợi. Phần mềm TexGen được sử dụng để mô tả hình dạng mặt cắt sợi, đường đi của sợi và cách đan xen của sợi. Độ dày vải được kiểm tra bằng máy đo độ dày vải kỹ thuật số J-40-T-25MM dưới diện tích chân ép 20 cm², trọng lượng ép 1 kPa. Hình thái của vải dệt sa tanh và vải dệt trơn đôi được quan sát bằng kính hiển vi điện tử (Dino-Lite AM5212ZT, Dino-Lite, Đài Loan, Trung Quốc). Hình ảnh mặt cắt ngang của sợi được phân tích bằng phần mềm ImageJ. Các thông số (khoảng cách sợi, chiều rộng và chiều cao, hình dạng mặt cắt ngang) đã được đo và giá trị của chúng được hiển thị trong bảng 1. Sau đó, chúng được sử dụng để tạo ra hình học ô đơn vị.

Bảng 1. Đo thông số hình học của mẫu vải [mm]

Cấu trúc	Độ dày	Bề rộng sợi (dọc/ngang)	Chiều cao sợi (dọc/ngang)	Khe hở giữa các sợi	Mặt cắt ngang sợi (dọc/ngang)
Dệt đôi trơn	1.51	0.971/0.969	0.37-0.67/0.43-0.68	1.74/1.26	Elip/Elip
Sa tanh	0.92	0.6/0.61	0.42/0.45	0.65/0.82	Elip/Elip

2.2. Giải số bằng phương pháp phần tử hữu hạn

2.2.1. Phương trình truyền nhiệt

Truyền nhiệt qua vải là một quá trình phức tạp, bao gồm các quá trình dẫn nhiệt, đối lưu và bức xạ. Xét kích thước độ dày của vải nhỏ hơn nhiều so với kích thước chiều rộng và chiều dài của vải, sẽ hợp lý khi cho rằng sự truyền nhiệt qua vải là hiện tượng một chiều. Trong nghiên cứu này, giả định rằng các tính chất vật lý nhiệt của vải và nhiệt độ của nguồn nhiệt là không đổi, quá trình truyền nhiệt là quá trình dẫn nhiệt và đối lưu và truyền nhiệt bức xạ là không đáng kể. Theo định luật Fourier và bảo toàn năng lượng của Newton. Ở điều kiện nhiệt nhất thời, sự truyền nhiệt dẫn qua vải theo chiều dày của tổ hợp vải được biểu thị [6]:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\lambda_f \phi}{c_f \rho_f} \frac{\partial^2 T_f}{\partial x_f^2} + \frac{\lambda_g (1-\phi)}{c_g \rho_g} \frac{\partial^2 T_g}{\partial x_g^2} - h \left(\frac{T_r - T_\infty}{\partial x} \right) \quad (1)$$

Trong đó: T , t , λ , c và ρ là nhiệt độ [K], thời gian [s], độ dẫn nhiệt [$\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$], nhiệt dung riêng [$\text{Jkg}^{-1}\text{K}^{-1}$], và x [m] là hướng truyền nhiệt, h [Wm^2K^{-1}] là hệ số đối lưu, T_r [K] là nhiệt độ bề mặt bên ngoài của vải, T_∞ [K] là nhiệt độ của không khí xung quanh, ϕ là phần diện tích truyền nhiệt của sợi và $(1-\phi)$ là phần diện tích truyền nhiệt của khe hở không khí, có thể thu được chính xác từ mô hình hình học trong Ansys.

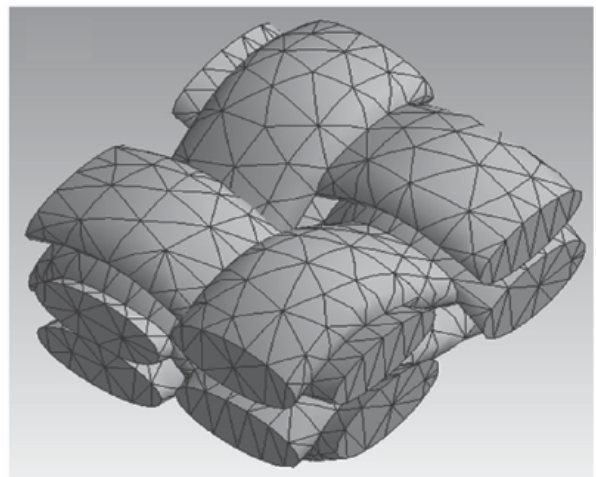
2.2.2. Tạo lưới và điều kiện biên

Nhiệt dung riêng và độ dẫn nhiệt của vải được đo ở 20°C bằng máy phân tích hằng số nhiệt đĩa nóng (TPS2500, Thụy Điển). Ở đây, độ dẫn nhiệt của vải được kiểm tra theo chiều dày của vải. Các phần tử tứ diện tuyến tính mười nút được sử dụng để chia lưới ô đơn vị và chiều dài cạnh phần tử là 0,15 mm. Việc

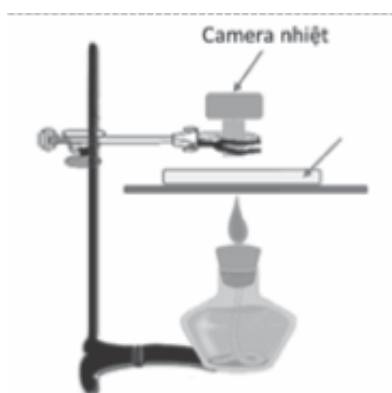
tạo lưới tự động được thực hiện trực tiếp trong các mô hình này. Có 42893 phần tử và 78686 nút cho sa tanh 5/3, 98092 phần tử và 150680 nút cho mô hình vải dệt trơn đôi. Các ô đơn vị có mắt lưới của vải dệt trơn kép được thể hiện trong hình 1. Nhiệt độ ban đầu của vải và môi trường được ấn định là 25°C . Nhiệt độ 950°C được đặt lên mặt sau của vải sợi thủy tinh. Giả định rằng sự truyền nhiệt giữa không khí và vải là đối lưu cưỡng bức. Hệ số truyền nhiệt đối lưu giữa không khí và vải là $15 \text{ W/m}^2\text{C}$.

2.2.3. Xác minh mô hình

Các thí nghiệm đã được thực hiện để xác nhận kết quả mô phỏng số (hình 2). Một miếng gạch a-mi-ăng được đặt phía trên ngọn lửa và một hình tròn có bán kính 3 cm được cắt ở giữa. Sau đó, vải được đặt trên gạch a-mi-ăng. Mặt trước của vải được làm nóng bằng cách sử dụng đèn đốt còn ở nhiệt độ 950°C và hệ số truyền nhiệt đối lưu $15 \text{ W/m}^2\text{C}$ được xác định cho mặt sau của vải. Một camera nhiệt (ImageIR® 5300, Infratec, Đức) được sử dụng để đo sự thay đổi nhiệt độ ở mặt sau của vải trong quá trình gia nhiệt. Nhiệt độ vải trong cùng thời gian gia nhiệt càng thấp thì khả năng chịu nhiệt càng tốt.



Hình 1. Mô hình ô vải đơn vị của vải dệt trơn đôi

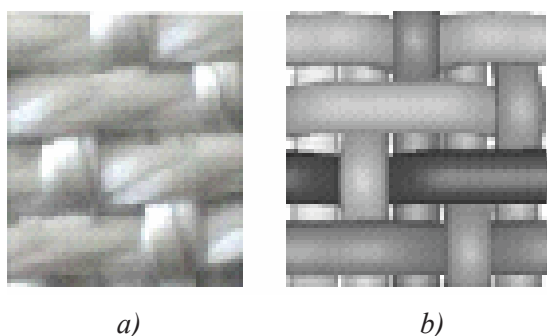


Hình 2. Hệ thống thực nghiệm truyền nhiệt qua vải

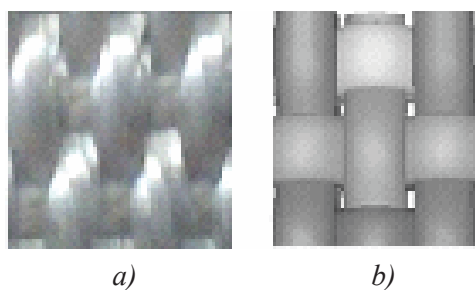
3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Ô vải đơn vị

Ô đơn vị vải được mô tả là đơn vị nhỏ nhất của cấu trúc vải. Để đơn giản hóa, các ô đơn vị của vải được sử dụng để điều tra bằng phân tích truyền nhiệt. Với kích thước hình học đo được, các ô đơn vị của vải sợi thủy tinh được tạo bằng phần mềm TexGen. Hình 3(a) là hình ảnh chụp bằng kính hiển vi điện tử của vải sa tanh 5/3, và hình 3(b) thể hiện mô hình hình học của nó. Các đường dẫn sợi của loại vải sử dụng các trục Bezier và kiểu dệt của sợi dọc và sợi ngang giống như vải thật. Vải hai lớp bao gồm hai lớp được dệt chồng lên nhau. Mô hình dệt trơn đôi được tạo ra được thể hiện trong hình 4. Mặt cắt hình elip được gán cho sợi dọc và sợi ngang.



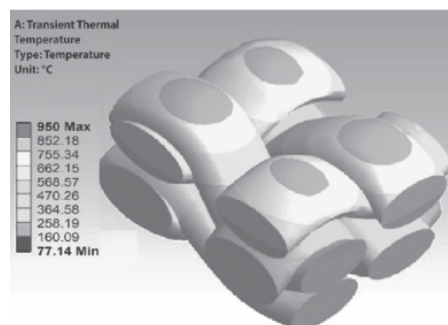
Hình 3. (a) Vải sa tanh dưới kính hiển vi và (b) Mô hình hình học dựng bằng TexGen



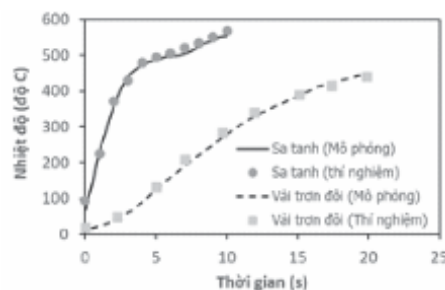
Hình 4. (a) Vải dệt trơn đôi dưới kính hiển vi và (b) Mô hình hình học dựng bằng TexGen

3.2. Truyền nhiệt qua vải sử dụng phương pháp phần tử hữu hạn

Kết quả mô phỏng sự phân bố nhiệt trong vải trơn kép sau 10 giây được thể hiện trên hình 5. Hình 5 thể hiện ô đơn vị vải (miền không khí đã bị ẩn), kết quả cho thấy nhiệt độ giảm dần từ mặt được làm nóng của vải sang mặt đối diện và vùng gần nguồn nhiệt có nhiệt độ cao.



Hình 5. Phân phối thông lượng nhiệt của vải dệt trơn đôi



Hình 6. So sánh truyền nhiệt của vải sa tanh và vải trơn đôi theo thời gian

Nhiệt độ thử nghiệm được so sánh với kết quả mô phỏng số trong hình 6. Nhiệt độ thực nghiệm của vải tăng nhanh, đạt 492°C trong 5 giây, sau đó nhiệt độ có xu hướng ổn định. Dữ liệu nhiệt độ bằng mô phỏng số tương đối sát với dữ liệu thực nghiệm, điều đó cho thấy mô hình mô phỏng có thể dự đoán tính chất truyền nhiệt của vải. Nhiệt độ thử nghiệm của kiểu dệt trơn đôi tăng lên 370°C trong 15 giây và 445°C trong 20 giây. Nhiệt độ mô phỏng số cao hơn một chút so với dữ liệu thí nghiệm. Độ lệch tương đối trung bình cho vải sa tanh và vải dệt trơn đôi là 7,2%, và 5,8%. Các thông số vật lý nhiệt của vải và không khí được sử dụng trong mô phỏng là các giá trị được đo ở nhiệt độ và độ ẩm tiêu chuẩn, không đổi trong quá trình mô phỏng truyền nhiệt. Tuy nhiên, độ dẫn nhiệt, nhiệt dung riêng và mật độ của vải và không khí thay đổi khi nhiệt độ tăng lên. Rõ ràng cho thấy nhiệt độ của vải sa tanh tăng nhanh hơn và tốc độ gia nhiệt của vải sa tanh cao hơn nhiều so với vải trơn đôi. Điều này là do vải sa tanh là loại vải một lớp và độ dày của vải nhỏ hơn vải hai lớp. Vải hai lớp có nhiều sợi hơn để bảo vệ dòng nhiệt và chúng có thể giữ nhiều không khí tĩnh hơn bên trong vải. Vì vậy, vải hai lớp có khả năng chịu nhiệt tốt hơn. Như được hiển thị trong hình 6, các mô hình số đã được sử dụng thành công để dự đoán đặc tính truyền nhiệt của vải và các kết quả bằng số có mối tương quan tốt so với dữ liệu thực nghiệm.

4. KẾT LUẬN

Trong công trình này, các mô hình hình học của vải đã được thiết lập và phương pháp phần tử hữu hạn được sử dụng để dự đoán sự truyền nhiệt qua vải. Có thể đưa ra những kết luận sau đây: Dựa trên độ dày vải, đường dẫn sợi và hình dạng mặt cắt ngang của sợi, các mô hình hình học của vải sợi thủy tinh sa tanh 5/3, vải trơn đôi đã được thiết lập. Các ô đơn vị vải

bao gồm miền sợi và miền không khí và các mô hình hình học vải rất gần với vải thật. Nhiệt độ tính toán số gần với nhiệt độ thực nghiệm đối với vải sợi thủy tinh, chứng tỏ mô hình phần tử hữu hạn có khả năng dự đoán tính chất truyền nhiệt của vải. Nhiệt độ của vải sa tanh 5/3 tăng nhanh hơn vải hai lớp và tốc độ gia nhiệt của dệt trơn đôi thấp hơn so với vải sa tanh. ❖

Ngày nhận bài: **21/02/2024**

Ngày phản biện: **20/3/2024**

Tài liệu tham khảo:

- [1]. Song G, Ding D, Chittrphiromsri P., *Numerical simulations of heat and moisture transport in thermal protective clothing under flash fire conditions*. Int J Occup Saf Ergon 2008;14:89–106. <https://doi.org/10.1080/10803548.2008.11076752>.
- [2]. Dupade V, Kumari R, Premachandran B, Rengasamy RS, Talukdar P., *Effect of layering sequence and ambient temperature on thermal insulation of multilayer high bulk nonwoven under extreme cold temperatures*. J Ind Text 2022;51:2709S-2730S. <https://doi.org/10.1177/15280837221097284>.
- [3]. Cao J, Akkerman R, Boisse P, Chen J, Cheng HS, de Graaf EF, et al., *Characterization of mechanical behavior of woven fabrics: Experimental methods and benchmark results*. Compos Part A Appl Sci Manuf 2008;39:1037–53. <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2008.02.016>.
- [4]. Suppakul P, Bandyopadhyay S., *The effect of weave pattern on the mode-I interlaminar fracture energy of E-glass/vinyl ester composites*. Compos Sci Technol 2002;62:709–17. [https://doi.org/10.1016/S0266-3538\(01\)00220-2](https://doi.org/10.1016/S0266-3538(01)00220-2).
- [5]. Siddiqui MOR, Sun D., *Finite element analysis of thermal conductivity and thermal resistance behaviour of woven fabric*. Comput Mater Sci 2013;75:45–51. <https://doi.org/10.1016/j.commatsci.2013.04.003>.
- [6]. Farnworth B., *Mechanisms of heat flow through clothing insulation*. Text Res J 1983;53:717–25. <https://doi.org/10.1177/004051758305301201>.