انتقال گرما در ولکانه شدن لاستیک

تألیف: دکتر علی اصغر کتاب
مهندس ژاله منصوری

The Heat Transfer in Rubber Vulcanization

کلیه واژه ولکانه شدن[1] انتقال گرما[2] تایر[3] حل عددی[4] هدایت حرارتی[5]

چکیده:

ساختمان شبکه‌ای حاصل از ولکانه شدن یک قطعه لاستیکی، نه تنها تابع سیستم پخت آمیزه، بلکه تابع دما، زمان اعمال گرما، سرعت انتقال گرما و نحوه توزیع آن در نقاط مختلف قطعه می‌باشد. بنابراین دستیابی به محصولی با خواص فیزیکی و ساختمان شبکه‌ای موردنظر، مستلزم اعمال پخت یکنواخت و معادل، در تمام نقاط قطعه است و انجام این کار بدون بررسی انتقال گرمای محصول در حین پخت امکانپذیر نمی‌باشد. آنچه این بررسی را به ویژه در مورد قطعات پیچیده مانند تایر مشکل می‌سازد مسئله تعیین چگونگی وابستگی خواص ترموفیزیکی آمیزه‌های گوناگون تشکیل دهنده آن به دما و درجه ولکانه شدن است.

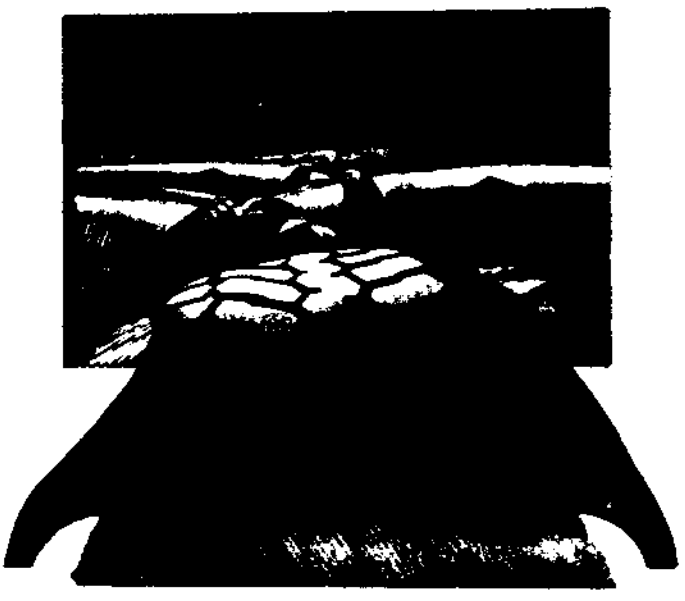
روشهای گوناگونی برای بررسی انتقال گرما در ولکانه شدن لاستیک پیشنهاد شده است که شامل روشهای تجزیه‌ای، ترسیمی، تجربی و تقریبی است.

در مقاله حاضر ضمن بررسی این روشها، کارآیی و عدم کارآیی هر یک در خصوص پخت تایر مورد بحث قرار می‌گیرد.

مقدمه:

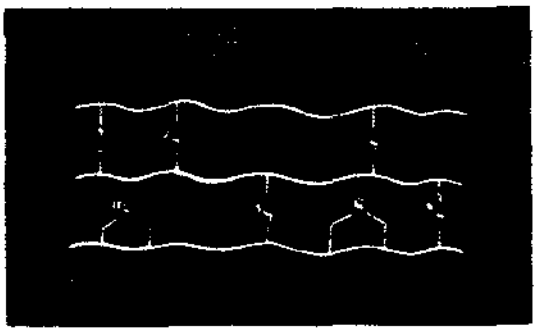
ولکانه شدن، فرآیندی است که طی آن یک کائوچوی حاوی مواد پیوند عرضی دهنده از قبیل گوگرد یا پراکسید تحت فشار و گرما از یک ترموپلاست ضعیف به یک حالت کشسان تبدیل می‌شود، به طوری که در پایان عمل لاستیک یک ساختمان دارای پیوند عرضی گرما سخت شده‌ای را به دست می‌آورد و شکل و ابعاد معینی را به خود می‌گیرد. واکنش ولکانه شدن باعث افزایش مقاومت لاستیک در مقابل نیروهای مختلف و به طورکلی بهبود خواص فیزیکی آن می‌گردد.

کشف ولکانه شدن، هنوز هم موضوع مورد بحث بین دست‌اندرکاران صنعت لاستیک می‌باشد. عده‌ای معتقدند که کشف ولکانه شدن توسط «لودر سدروف»[1] آلمانی در سال ۱۸۳۲ انجام گرفته است، اما مسلم آن است که اهمیت این فرآیند در سال ۱۸۳۹ توسط «چارلز گودیر»[2] آمریکایی شناخته شد. او کشف کرد که چنانچه به کائوچوی مخلوط شده با گوگرد حرارت داده شود، محصولی به دست می‌آید که خواص آن به مراتب بهتر از کائوچوی خام قبل از فرآیند است. گودیر در سال ۱۸۴۱ این کشف را به نام خود به ثبت رساند و می‌توان ادعا کرد که صنعت لاستیک مرهون همین کشف اوست. کلمه ولکانه شدن توسط «ویلیام بروکدون»[3] به «هنکوک»[4] پیشنهاد شد و منشأ لغوی آن «ولکان» به معنای خدای آتش در اساطیر یونان است.



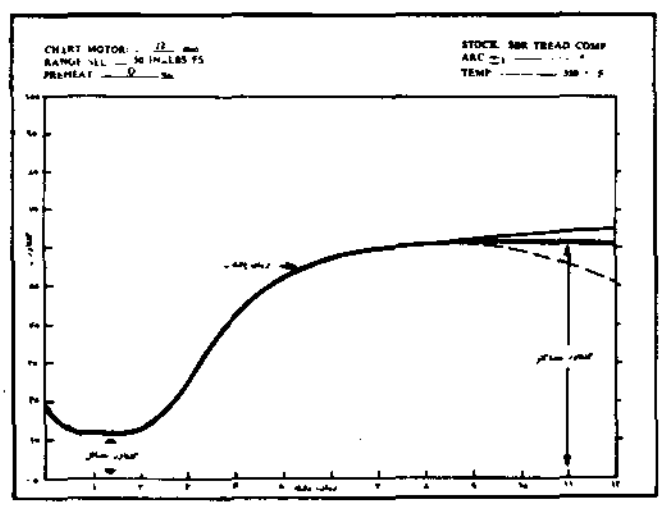
Key words
1) vulcanization (2) Heat transfer (3) Tire (4) NumericalAnalysis (5) Thermal conductivity

در شکل ۱ تصویری از ساختمان دارای پیوند عرضی لاستیک ولکانه شده توسط گوگرد، نشان داده شده است.



شکل ۱ـ تصویر شماتیک ساختار دارای پیوند عرضی لاستیک ولکانه شده با گوگرد

با گذشت زمان تحولات بسیاری در صنعت لاستیک به وجود آمد که از جمله می‌توان به کشف تسریع کننده‌های واکنش ولکانه شدن، آنتی‌اکسیدانها و بالاخره دوده به عنوان عامل تقویت کننده اشاره نمود. یک آمیزه لاستیکی در طول فرآیند پخت یا ولکانه شدن مراحل مختلفی را طی می‌کند که عبارتند از: مرحله ایمنی[5]، مرحله تشکیل پیوند عرضی، مرحله تسطیح[6] و بالاخره مرحله برگشت[7]. در مرحله ایمنی هیچگونه اتصال شیمیایی بین زنجیره‌های لاستیک به وجود نمی‌آید و به همین دلیل این مرحله، زمان ایمنی آمیزه نامیده می‌شود. در شکل ۲ کلیه مراحل ولکانه شدن یک آمیزه لاستیکی نشان داده شده است.



شکل ۲ـ نمونه‌ای از منحنی رئومتر که مراحل مختلف پخت یک آمیزه لاستیکی را نشان می‌دهد.

نوع ساختمان شبکه‌ای حاصل از ولکانه شدن یک آمیزه لاستیکی نه تنها به سیستم پخت به کار برده شده در آمیزه قطعه بستگی دارد، بلکه مقدار گرما، زمان اعمال گرما و از همه مهمتر سرعت انتقال گرما و نحوه توزیع آن در نقاط مختلف قطعه نیز از جمله پارامترهای مهم به شمار می‌آید. آنچه مسئله انتقال گرما در ولکانه شدن لاستیک را پیچیده می‌سازد، وابستگی پارامترهای ترموفیزیکی آمیزه به درجه ولکانه شدن و دما است. مهمترین مسائل گرمائی موجود در صنعت لاستیک را می‌توان به صورت زیر بیان نمود:

۱ ــ گرمای ایجاد شده در حین فرآیند یک آمیزه لاستیکی قبل از مرحله قالبگیری آن باید خارج گردد.

۲ ــ برای به دست آوردن یک ساختار دارای پیوند عرضی یکنواخت در محصول، لازم است تا فرآیندهای گرم و سرد کردن تنظیم شوند.

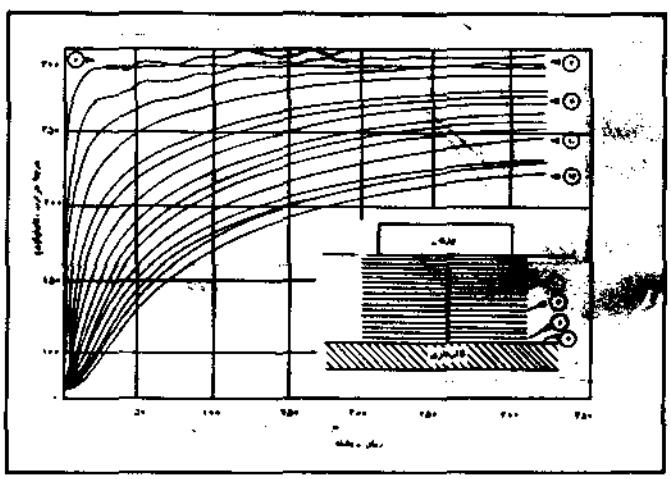
۳ ــ میزان گرمائی که در شرایط خدماتی در یک قطعه لاستیکی به ویژه تایر ایجاد می‌گردد و سرعت انتقال گرما به محیط خارج می‌بایستی تعیین شود.

در ولکانه شدن محصولات لاستیکی، انجام یک پخت یکنواخت و معادل آنچه در آزمایشگاه تعیین شده است، در نقاط مختلف محصول از اهمیت به سزائی برخوردار است. تنظیم شرایط پخت مناسب جهت این منظور با پیچیده شدن شکل هندسی قطعه مشکل می‌شود. به طوری که در بسیاری مواقع استفاده از فنون خاص، اجتناب ناپذیر است.

در مورد قطعات حجیم، زمانی که محصول در داخل قالب گرما داده می‌شود، یک گرادیان گرمائی بین سطوح و داخل قطعه به وجود می‌آید و لایه‌های نسبتاً دور از سطح قالب دارای دمای کمتری خواهند بود. از طرف دیگر چون لاستیک در تمام مدتی که در داخل قالب قرار می‌گیرد به طور مداوم گرم می‌شود، جریان گرما از لایه‌های موازی با سطح به قسمت داخل کاهش می‌یابد و این امر باعث غیرخطی شدن گرادیان گرمائی می‌شود.

مسئله تأخیر در رسیدن به دمای قالب در نقاط مختلف قطعه لاستیکی که عمدتاً از ضریب رسانش گرمایی کم لاستیک ناشی می‌گردد، از مسائل مهم در تنظیم شرایط پخت فرآورده‌های لاستیکی جهت نیل به یک پخت یکنواخت به شمار می‌آید.

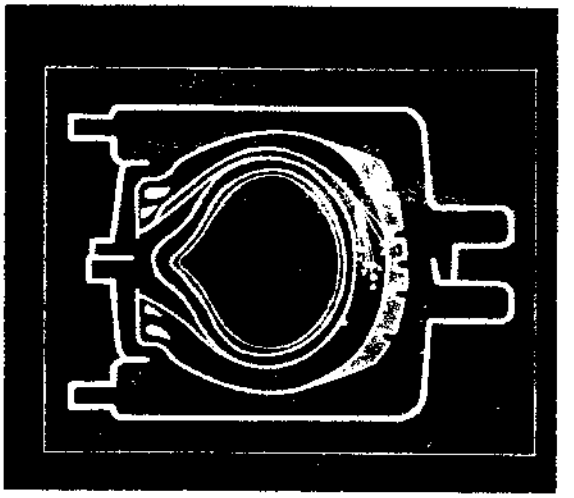
در شکل ۳ مسئله تأخیر دما در پخت تیوپ نشان داده شده است. ترموکوپلها در لایه‌های مختلف که هر یک دارای ضخامت ۱/۹ میلی‌متر و طول و عرض ۳۰ و ۳۸ میلی‌متر است استقرار یافته‌اند.



شکل ۳ـ اثر تأخیر دما در قطعات ضخیم لاستیکی

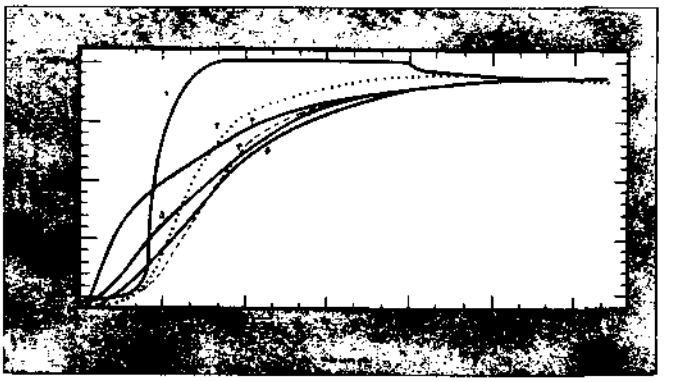
همانطور که مشاهده می‌شود لایه چهارم که ۷٫۶ میلی‌متر از سطح قالب فاصله دارد، بعد از ۱ ساعت و لایه به فاصله ۲۵ میلی‌متر از قالب بعد از ۵ ساعت به دمای ۲۳۹°F می‌رسند. برای حل مشکل تأخیر گرمایی از روشهای گوناگون می‌توان استفاده کرد که یکی از آنها افزایش زمان گرما دادن و دیگری استفاده از چرخه گرمائی متغیر و نیز اعمال گرما از داخل و خارج قطعه است. روش دوم در صنعت لاستیک مهم و رایج است و برای اولین بار توسط کمپانی «بی‌اف گودریچ» در حدود سالهای ۱۹۲۰ با اختراع تایر حاوی نخ، پیشنهاد گردید.

در این روش از داخل تایر، گرمای مناسب با استفاده از یک کیسه پخت اعمال می‌گردد و سطح خارجی آن نیز توسط قالب گرم می‌شود. در نتیجه با انتخاب دما و زمان مناسب می‌توان تمام نقاط قطعه را به یک دمای کافی و از قبل تعیین شده رسانید. در شکل ۴ سطح مقطع یک تایر همراه با کیسه پخت و قالب نشان داده شده است.



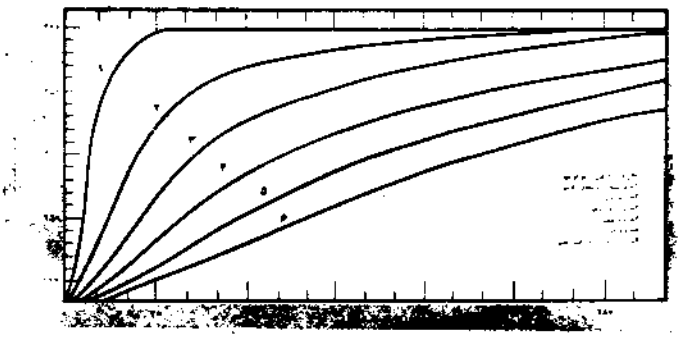
شکل ۴ــ سطح مقطع تایر و کیسه پخت در قالب

برتری روش اعمال گرما از داخل و خارج را می‌توان با مقایسه اشکال ۵ و ۶ دریافت.[۱]



شکل ۵ــ توزیع دما در یک تایر، حین پخت، زمانی که گرما از سطوح داخلی و خارجی اعمال می‌شود.

در بررسی چگونگی انتقال گرما و پیش‌بینی حالت پخت در یک



شکل ۶ــ توزیع دما در یک تایر، حین پخت، زمانی که گرما فقط از خارج اعمال می‌شود.

قطعه لاستیکی، اطلاعات زیر مورد نیاز است:

۱ ــ ضریب رسانش گرمائی و تابعیت آن از دما و درجه ولکانه شدن

۲ ــ ضریب نفوذ گرمائی و تابعیت آن از دما و درجه ولکانه شدن

۳ ــ ضریب همرفت[۸] انتقال گرما

۴ ــ گرمای ویژه آمیزه‌های به کار برده شده در ساختار قطعه و تغییرات آن با دما

۵ ــ چگونگی تغییر سرعت پخت با دما و به عبارت دیگر ضریب گرمائی ولکانه شدن

۶ ــ گرمای حاصل از واکنش ولکانه شدن آمیزه‌های مورد استفاده و تابعیت آن از دما و درجه ولکانه شدن.

مقادیر ضریب رسانش گرمائی و ضریب نفوذ گرمائی برای محاسبات انتقال گرما در پخت یک قطعه لاستیکی و تعیین رابطه بین خواص گرمائی و فرموله کردن آمیزه‌های مورد استفاده در ساخت قطعه بسیار ضروری است.

این دو پارامتر مهم دارای تفاوتهائی به شرح زیر هستند:

۱ ــ ضریب رسانش گرمائی، جریان گرما را از میان یک ماده نشان می‌دهد و ضریب نفوذ گرمائی، جریان گرما به داخل یا خارج از ماده را مشخص می‌کند.

۲ ــ ضریب رسانش گرمائی به انتقال انرژی گرمائی و ضریب نفوذ گرمائی به گرادیان دما مربوط می‌شود.

۳ ــ ضریب رسانش گرمائی برای کاربردهای عایق‌سازی مورد توجه است و ضریب نفوذ گرمائی برای تعیین سرعت گرم یا سرد کردن قطعه مفید است.

به طور کلی هر دو پارامتر تابعی از نوع کائوچو، نوع و مقدار پرکننده، تقویت کننده، و سایر مواد افزودنی به کائوچو، دانسیته اتصالات حاصل از ولکانه شدن و نیز دما هستند.

نظریه انتقال گرما در پخت لاستیک:

نوع انتقال گرمائی که در گرم کردن قطعات لاستیکی بایستی بررسی شود، از طریق حالت گذرا[۹] است. برای به دست آوردن تغییرات

دما در داخل یک قطعه لاستیکی در حین ولکانه شدن چهار روش را می‌توان به کار برد:

۱ ــ حل دقیق یا تجزیه‌ای[۱۰]

۲ ــ روش ترسیمی

۳ ــ اندازه‌گیری مستقیم توسط ترموکوپل (روش تجربی)

۴ ــ روشهای تقریبی

روش تجزیه‌ای فقط برای ساده‌ترین شرایط مرزی (مانند دمای ثابت در سطح و یا تغییر دما به طور خطی) و یا اشکال ساده کاربرد دارد. برتری این روش، در این است که با استفاده از معادلات به دست آمده و تشکیل جداول و رسم منحنیها امکان تعیین سریع دما در هر نقطه معین در داخل و در هر لحظه از زمان وجود دارد. معادله‌ای که بیان کننده انتقال گرما در حالت گذرا است به صورت زیر است:

$$\nabla^2 T = \frac{1}{\alpha}\frac{\partial T}{\partial t} \qquad (۱)$$

(α : ضریب نفوذ گرمائی)

همانطور که مشاهده می‌گردد ضریب نفوذ گرمائی مستقل از دما فرض شده است، در حالی که این پارامتر و نیز ضریب رسانش گرمائی تابع دما و دانسیته اتصالات شیمیائی حاصل از ولکانه شدن هستند.

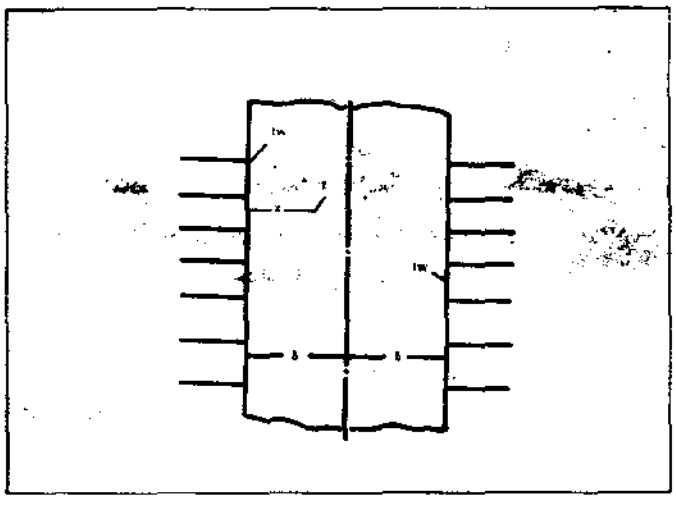
حل تجزیه‌ای از دو جنبه مورد توجه است، یکی در مواردی که با ساده‌سازیهائی در شرایط مرزی از یک حالت ساده به تخمین تقریبی حالت واقعی می‌توان دست یافت. جنبه دوم، اندازه‌گیری خواص ترموفیزیکی آمیزه لاستیکی است. در بعضی مواقع نیز با ساده‌سازیهائی، انتقال گرما در بعضی محصولات لاستیکی با اشکال هندسی پیچیده را توسط حل تجزیه‌ای می‌توان مورد بررسی قرار داد. در این رابطه کارهای انجام شده توسط «فوگل»[۱۱] جالب توجه است. فوگل روشهای تجزیه‌ای محاسبه دما که در شرایط گرما دادن در حین ولکانه شدن قطعات لاستیکی کاربرد دارد را، مورد توجه قرار داده است. وی در مورد قطعات لاستیکی که بیش از یک نوع آمیزه در ساختار آنها بکار رفته، ساده‌سازیهائی انجام داده است. بدین صورت که این قبیل قطعات را می‌توان مانند ورقه‌های[۱۲] جداگانه در نظر گرفت که هر یک دارای ثابتهای ترموفیزیکی مربوط به خود هستند. در سطح تماس بین لایه‌ها دما باید برابر باشد و نسبت گرادیان دمای آنها به طور معکوس متناسب با نسبت ضرایب نفوذ گرمائی آنها در نظر گرفته شود. در چنین مواردی حل معادلات دقیق انتقال گرما نسبتاً پیچیده است. اما با استفاده از رابطه (۲) و در نظر گرفتن مطالب فوق روش تقریبی زیر را برای محاسبه دما می‌توان به دست آورد.

$$\theta = f\left(Fo, \frac{X}{\delta}\right)$$

عدد فوریه	$Fo = \frac{\alpha t}{L^2}$
توزیع دما	θ:
ضریب نفوذ گرمائی	α:
زمان	t:
ضخامت ورقه	L:
فاصله از سطح گرما داده شده	x:

با فرض آنکه لایه‌های مجاور با سطح گرما دهنده، تا حدودی دارای ضخامت بیشتری نسبت به لایه‌های دیگر می‌باشند و ثابتهای ترموفیزیکی این لایه‌ها تفاوت کمی با یکدیگر داشته باشند و با توجه به آنکه در رسانش گرما از طریق حالت گذرا، عدد فوریه و موقعیت نسبی نقطه مورد نظر، فاکتورهای اساسی و تعیین کننده در محاسبه افزایش دما هستند، شرط لازم برای آنکه دما در فصل مشترک لایه‌ها در یک ورقه تشکیل شده از لایه‌های مختلف، برابر باشد این است که عدد فوریه در این قسمتها مساوی باشد.

با توجه به شکل ۷ می‌توان روابط زیر را نوشت:



شکل ۷ــ گرما دادن ورقه‌ای با ضخامت L و طول و عرض بی‌نهایت

$$Fo_1 = Fo_2 = Fo_3 = \cdots = Fo_n \qquad (۳)$$

n: تعداد لایه‌ها

$$\frac{\alpha_1 t_1}{\delta_1^2} = \frac{\alpha_2 t_2}{\delta_2^2} = \frac{\alpha_3 t_3}{\delta_3^2} = \cdots = \frac{\alpha_n t_n}{\delta_n^2}$$

$$t_1 = t_2 = t_3 = \cdots = t_n \qquad (۴)$$

(افزایش نسبی دما در یک زمان مشخص برای لایه‌ها محاسبه می‌شود).

$$\frac{\alpha_1}{\delta_1^2} = \frac{\alpha_2}{\delta_2^2} = \frac{\alpha_2}{\delta_3^2} = \cdots = \frac{\alpha_n}{\delta_n^2} \qquad (۵)$$

$$\frac{\alpha_1}{\delta_1^2} = \frac{\alpha_1}{\left(\sqrt{\frac{\alpha_1}{\alpha_2}}\delta_2\right)^2} = \frac{\alpha_1}{\left(\sqrt{\frac{\alpha_1}{\alpha_3}}\delta_3\right)^2} = \cdots = \frac{\alpha_1}{\left(\sqrt{\frac{\alpha_1}{\alpha_n}}\delta_n\right)^2} \qquad (۶)$$

$$\frac{\alpha_1}{\delta_1^2} = \frac{\alpha_1}{\delta_{2\ equiv}^2} = \frac{\alpha_1}{\delta_{3\ equiv}^2} = \cdots = \frac{\alpha_1}{\delta_{n\ equiv}^2} \qquad (۷)$$

$$\delta_{n\ equiv} = \sqrt{\frac{\alpha_1}{\alpha_n}}\,\delta_n$$

به طور کلی: (۸)

با توجه به معادله (۸) می‌توان نتیجه گرفت که در محاسبه دما در داخل یک قطعه غیر یکنواخت از نقطه نظر ترکیب آمیزه‌ها، کافی است که یک ورقه یکنواخت معادل با آن را که ضریب نفوذ گرمائی آن مساوی با ضریب نفوذ گرمائی یکی از لایه‌ها است، در نظر گرفت، به شرط آنکه ضخامت معادل هر لایه از معادله (۸) جایگزین گردد.[۲]

روشهای تقریبی:

در حل دقیق معادلات انتقال گرما در ولکانه شدن لاستیک محدودیت‌هائی وجود دارد که ناشی از مشکل بودن و در بسیاری از موارد عدم کارآئی آنها است. دو روش دیگر برای حل حالتهای پیچیده وجود دارد که روشهای تقریبی هستند و عبارتند از:

الف) روش تشابه‌سازی (آنالوگ)

ب) روش عددی

روش اول بر اساس تشابه‌سازی معادلات دیفرانسیلی جریان انتقال گرما به معادلات دیفرانسیلی جریان الکتریکی و هیدرودینامیکی است. به عنوان مثال «پگف»[12]، «نووسلوا»[14] و «سوخنوا»[15] از روش تشابه‌سازی هیدرولیکی برای مطالعه انتقال گرما در پخت تایر استفاده کردند. مطالعات انجام شده توسط آنها نشان داد که جریان گرمای دو بعدی برای تعیین دمای تایر حین پخت کافی است.[3]

استفاده از حل عددی معادلات انتقال گرما، در محاسبه توزیع دما در یک قطعه لاستیکی حین ولکانه شدن مانند تایر، در بسیاری از مواقع به دلایل زیر ضروری و اجتناب‌ناپذیر است:

۱ ــ شکل هندسی پیچیده قطعه

۲ ــ متغیر بودن پارامترهای ترموفیزیکی آمیزه‌های گوناگون تشکیل دهنده قطعه

۳ ــ شرایط مرزی متغیر

۴ ــ وجود موادی با خواص ترموفیزیکی کاملاً متفاوت، مانند آلومینیوم، لاستیک، نخ و غیره در ساختار یک تایر

معادله کلی انتقال گرما در حالت گذرا را می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$\rho C \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x}\left(k \frac{\partial T}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(k \frac{\partial T}{\partial y}\right) + \frac{\partial}{\partial z}\left(k \frac{\partial T}{\partial z}\right) + Q'' \quad (۹)$$

ρ: دانسیته

C_p: گرمای ویژه

k: ضریب رسانش گرمائی

Q: انرژی آزاد شده در اثر ولکانه شدن در واحد زمان

در حل عددی معادله فوق معمولاً فرضیات زیر انجام می‌گیرد:

۱ ــ ضریب رسانش گرمائی به صورت تابع خطی دما در نظر گرفته می‌شود:

$$K_t = a - bT \quad (۱۰)$$

که در مورد آمیزه‌های مصرفی در ساختار تایر حاوی مقادیر معمولی از پر کننده، معمولاً ضریب رسانش گرمائی به ازای هر یک درجه سانتی‌گراد، ۰/۱۵ درصد کاهش می‌یابد.

۲ ــ علیرغم پیچیدگی واکنش شیمیائی ولکانه شدن می‌توان سرعت کلی پخت را با معادله زیر بیان کرد:

$$Q'' = \frac{dQ(t)}{dt} = k_0 (Q_\infty - Q_t) e^{-E/RT} \quad (۱۱)$$

Q_t: گرمای آزاد شده از واکنش تا لحظه t

Q_∞: کل گرمای ایجاد شده از فرآیند ولکانه شدن

E: انرژی فعال‌ساز

R: ثابت گازها

K_0: تابع برخوردی

T: دمای مطلق

۳ ــ پخت تایر در پرس معمولاً با دماها و چرخه گرمائی نشان داده شده در جدول ۱ انجام می‌شود:

جدول (۱): چرخه گرمائی پخت تایر

[illegible]	قالب	کیسه پخت[16]
[illegible] گرم کردن (قالب بسته)	۱۲ دقیقه [illegible]	۱۳ دقیقه ۱۹۸°c بخار، در مدت ۱۳ دقیقه دمای بخار از ۱۹۸°c به ۱۷۰°c می‌رسد ۳/۵ دقیقه بخار ۱۷۰°c ۰/۵ دقیقه آب ۲۵°c
[illegible] (قالب باز)	۱۲ دقیقه دمای ۲۵°c	۱۳ دقیقه دمای ۲۵°c

چنانچه از این جدول برمی‌آید دمای کیسه پخت ثابت نیست، بلکه با زمان تغییر می‌کند. از طرفی ضریب همرفت انتقال گرما نیز تابع زمان است. همچنین اتلاف گرمای ناشی از همرفت در فصل مشترک قالب و تایر نیز از عوامل مهمی است که بایستی در نظر گرفته شود. لذا بدیهی است که دستیابی به توزیع دما در چنین حالتی تنها از طریق حل عددی میسر است.

در روشهای عددی معمولاً معادلات دیفرانسیل جریان گرما (معادله ۹) با معادلات «تفاضل محدود»[17] و یا «المان محدود»[18] جایگزین می‌شود.

فنون مختلف حل عددی معادلات انتقال گرما به طریق عددی توسط «دوزنبرگ»[19] ارائه شده است.[۴]

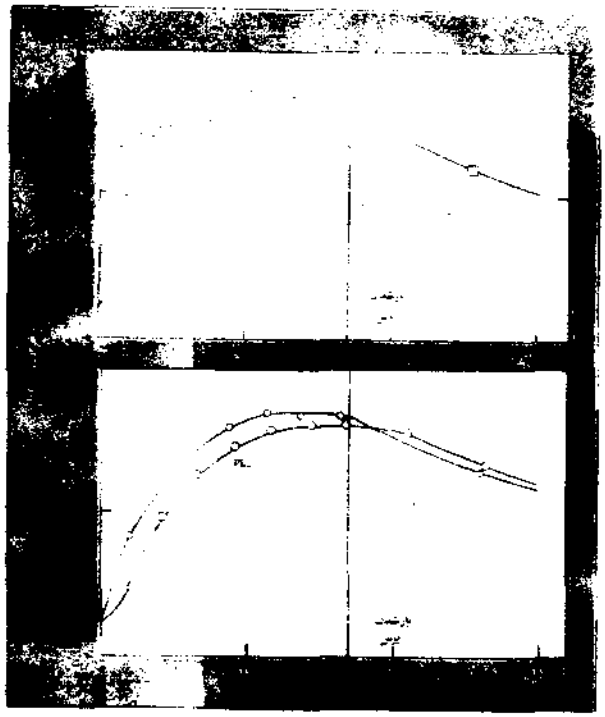
در اینجا به نمونه‌هائی از حل عددی انتقال گرمای تایر از دو روش فوق یعنی «تفاضل محدود» و «المان محدود» و میزان کارآئی آنها اشاره می‌شود.

در شکل ۸ شانه یک تایر نشان داده شده است که از خارج توسط پرس و از داخل توسط کیسه پخت، پخت می‌شود و برای به دست آوردن توزیع دما به طریق عددی گره بندی و به شبکه‌هائی تقسیم شده است. روش حل در این حالت تفاضل محدود است.

در شکل ۹ نتایج به دست آمده از حل عددی و نیز نتایج تجربی در محلهای مختلف شانه تایر که در شکل ۸ مشخص شده است ارائه گردیده است.

تطبیق نتایج، نشان دهنده دقت روش است. [۵]

شکل ۸ـشانه یک تایر گره‌بندی شده



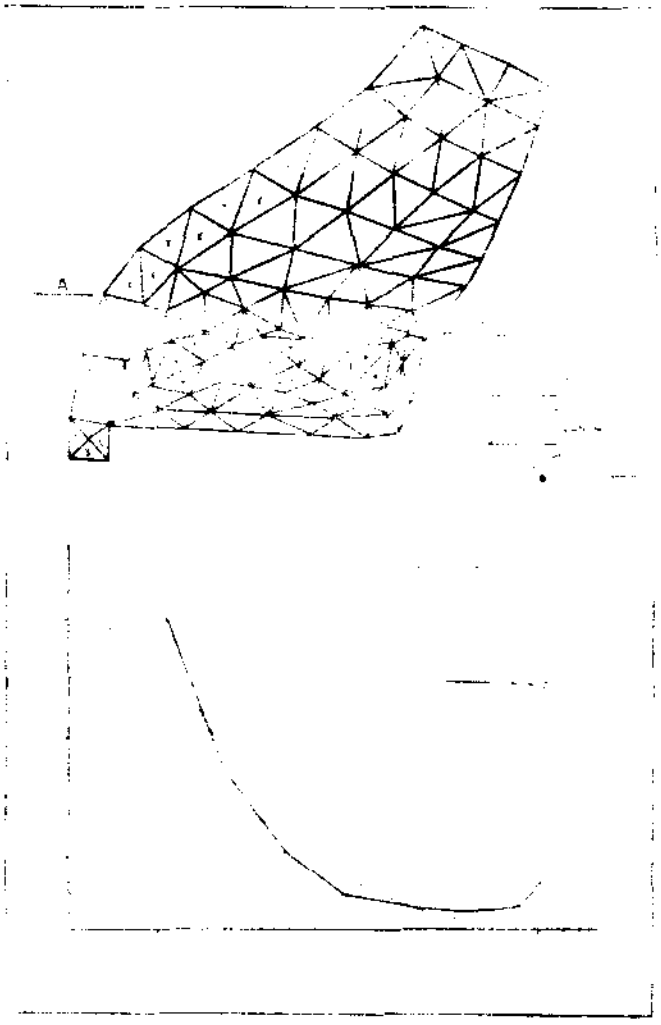
شکل ۹ـتوزیع دما در نقاط مشخص شده در شکل ۸

(نقاط، نشان دهنده نتایج تجربی و منحنی، نشان دهنده نتایج به دست آمده از حل عددی است.)

ناحیه دارای حداقل پخت:PLC نقطه بین قالب و تایر :MT

شانه پائینی :LS لایه اول :FP

در شکل ۱۰ نتایج حاصل از استفاده از روش المان محدود در بررسی انتقال گرما در ناحیه بید[20] یک تایر هواپیما که توسط «هوبسرد»[21] و «سیمپسون»[22] به دست آمده است، نشان داده شده است که باز هم می‌تواند نشان دهنده دقت روشهای عددی باشد. [۶]



شکل ۱۰ ــ ناحیه بید تایر هواپیما و پخت معادل به دست آمده در آن از دو روش المان محدود (——●——) و تجربی (...)

پانویس‌ها:

1 – F. Ludersdorff
2 – Charles Goodyear
3 – William Brockedon
4 – Han cock
5 – Scorch
6 – Plateau
7 – Reversion
8 – Convection
9 – Analytical
10 – Unsteady State
11 – Fogel
12 – Slab
13 – Pukov
14 – Novo Selova
15 – Sukhova
16 – bladder
17 – Finite difference
18 – Finite element
19 – Duisinberg
20 – bead
21 – Hubbard
22 – Simpson

بقیه در صفحه ۷۹

بقیه از صفحه ۵۶

می‌یابد. دریافت چشمگیر دیگر این است که حتی درجات پائین پیوندزنی نیز برای تغییر شدید در خواص ترموپلاستیک چوب استری شده کافی است. حتی محصولات پیوندی با افزایش وزن کلی کمتر از ٪۱۰، که توسط پرتودهی با یک دز کلی کمتر از ۰/۲ مگاراد تهیه می‌شوند، نیز رفتاری مانند مواد قابل ذوب گرمایی دارند.

ما همچنین سعی کردیم که چوب استیله شده غیرقابل ذوب را به موادی قابل ذوب تبدیل کنیم. ما توانستیم سه نوع از نمونه‌های چوب استیله شده را، که در دماهای ۲۵، ۳۵، ۴۵ درجه سانتی‌گراد تهیه شده بودند، به روش پیوندزدن به مواد قابل ذوب گرمائی تبدیل کنیم. در شکل ۱۵ نمونه‌ای از آن مشاهده می‌شود. به وضوح دیده می‌شود که پیوندزدن، برای تهیه مواد قابل ذوب گرمائی از چوب استیله شده مؤثر است. اگر چه در این مورد برای پیوند زدن از تابش پرتو با دز کلی ۲ مگاراد استفاده شد، پرتودهی با دز کمی چون یک مگاراد یا کمتر نیز تقریباً همان تأثیر را برای ترموپلاستیک کردن چوب استیله شده بر جا می‌گذارد.

این نتایج را می‌توان برحسب اثر نرم شدگی خارجی که توسط ذخیره شدن پلی‌استیرن در داخل دیواره سلولی چوب ایجاد شده است، تفسیر کرد که علاوه بر اثر نرم شدگی داخلی ناکافی ایجاد شده توسط اسیلاسیون است. چوب ترموپلاستیک شده را می‌توان به عنوان ماده‌ای برای قالبگیری و کامپوزیتهای آمیزه‌ای با پلی‌مرهای مصنوعی به کار برد. اگر این آمیختن به روش پیوند زدن انجام گیرد، حداقل دو مزیت دارد. اول اینکه خصلت ترموپلاستیکی مواد چوبی تشدید می‌شود (نتایج بهتر را با چوب استری شده می‌توان به دست آورد). دوم اینکه سازگاری چوب پلاستیکی شده با پلی‌مرهای مصنوعی به وسیله پیوندزدن، افزایش می‌یابد. این عوامل، تهیه کامپوزیتهای قالب‌ریزی شده با خواص نهائی عالی را باید امکانپذیر سازد.

۱ ــ Arthur
۲ ــ Uehimura
۳ ــ Whatman
۴ ــ mesh
۵ ــ Makanba
۶ ــ deformation
۷ ــ glass – rubber transition
۸ ــ amorph

[1] Arthur, J.C., Jr.; Blouin, F.A.Am.Dyest. Rep. 1962, 51, 1024.
[2] Yoshimura, S. Sen-i Gakkaishi 1965, 21, 359
[3] Mizumachi, H.; Kamiobzono, M. Holzforschung 1975, 29, 229.
[4] Tadokoro, K.; Sadoh, T.; Nakato, K. Mokuzai Gakkaishi 1976, 22, 309.
[5] Handa, T., Yoshizawa, S.; Ikeda, Y.; Saito, M. Kobunshi Robunshu 1976, 33, 147.
[6] Okumura, M.; Shiyaishi, N.; Sadoh, T.; Yokota, T.J. Soc. Mat. Sci, Jap. 1977, 26, 465.
[7] Kawakami, H.; Shiraishi, N; Yokota, T. Mokuzai Gakkaishi 1977, 23, 143.
[8] Okumura, M.; Aso, K.; Shiraishi, N.; Yokota, T. Holzforschung 1980, 34, 23
[9] Tsuzuki, M.;Hagiwara, T., Shiraishi, N.; Yokota, T.J. Appl. Polymer Sci. 1980, 25, 2909
[10] Shiraishi, N.; Sato, S.; Yokita, T. Mokuzai Gakkaishi 1975, 21, 297
[11] Shiraish, N.; Matsunaga, T.; Yokota, T.J. Appl, Polymer Sci 1979, 24, 2361
12] Funakoshi, H.; Shiraishi, N.; Norimoto, M.; Aoki, T.; Hayashi, S.; Yokota, T. Holzforshcung 1979, 33, 159.
[13] Shiraishi, N.; Okumura, M.; Yokota, T. Mokuzai Gakkaishi 1976, 22, 232
[14] Shiraishi, M.; Tsubouchi, K.; Matsunaga, T.; Yokota, T.; Aoki, T. "Abstract of Papers, "30th National Meeting of the Japan Wood Research Society, Kyoto, Japan, 1980, p 34.
[15] Aoki, T.; Shiraishi, N.; Tanachushi, M.; Yokota, T., Yamadu, T. Wood Res. Tech. Note 1980, 15, 61.
[16] Shiraishi, N.; Fukuhara, K.; Tsubouchi, K.; Yokota, T.; Aoki, T. "Abstracts of Papers," 31st National Meeting of the Japan Wood Reserach Society, Tokyo, 1981, p. 263

بقیه از صفحه ۷۵

به‌طورکلی می‌توان نتیجه گرفت که درصورت داشتن اطلاعات کافی درمورد خواص ترموفیزیکی آمیزه‌ها، حل عددی انتقال گرما در ولکانه شدن قطعات پیچیده مانند تایر به حصول نتایج دقیق و منطبق با نتایج تجربی منجر می‌گردد.

Refrance

1 – Staurt. H. Hahn., Rub. Chem. Tech., Vol 14,683 (1941)
2 – Fogel. V. O. Rub. Chem. Tech., Vol 30, 757 (1957)
3 – Pukhov. A. P., Novoselova. N. A., Suknova. R. M, Sovlet. Rub. Tech., 23 (8), 25 (1964)
4– Duisinberg, "Numerical Analysis of heat Flow." New york. (1949)
5 – Prentice. G. A. Williams. M. C., Rub. Chem. Tech., Vol 53 (1980)
6 – Hubbard. G. D. & Simpson G. M., Proc. Rub. Conf., (1979)