فصل هشتم

محاسبه ضریب انبساط حرارتی

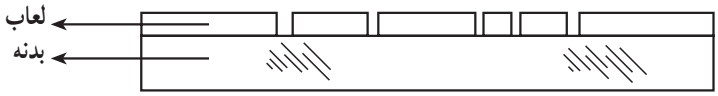
هدف‌های رفتاری: انتظار می‌رود هنرجو پس از پایان این فصل بتواند :
ــ با استفاده از نسبت مولی اجزای یک آمیز و ضریب انبساط حرارتی هریک از آن‌ها، ضریب انبساط حرارتی کل آمیز را حساب کند.

مقدمه

لعاب یک لایه شیشه‌ای است که جهت افزایش استحکام، ظرافت و زیبایی و بهداشتی نمودن بدنه، روی سطح سرامیک‌ها اعمال می‌شود. ساختار لعاب برخلاف ساختار بدنه که منظم می‌باشد، نامنظم (آمورف) است. تعیین ضریب انبساط حرارتی بدنه و لعاب، هر دو به روش دستگاهی و با استفاده از دیلاتومتر امکان‌پذیر است. در مورد لعاب و شیشه‌ها به‌دلیل آمورف بودن آن‌ها امکان محاسبه ضریب انبساط حرارتی وجود دارد.

۱ــ۸ــ محاسبه ضریب انبساط حرارتی لعاب

تطابق و هماهنگی بین ضریب انبساط حرارتی لعاب و بدنه، در کیفیت و استحکام قطعات سرامیکی نقش مؤثری دارد. لازم به تذکر است که به‌هنگام تولید بدنه‌های لعابدار، ضریب انبساط حرارتی لعاب اندکی کوچک‌تر از ضریب انبساط حرارتی بدنه درنظر گرفته می‌شود. در صورتی‌که ضریب انبساط حرارتی لعاب بزرگ‌تر از بدنه باشد، هنگام سرد شدن قطعه از دمای پخت تا دمای محیط، لعاب ترک خواهد خورد. از طرف دیگر اگر ضریب انبساط حرارتی لعاب بسیار کم‌تر از ضریب انبساط حرارتی بدنه باشد، احتمال پوسته‌ای شدن لعاب نیز وجود خواهد داشت (مطابق شکل ۱ــ۸). حال با توجه به اهمیت و نقش ضریب انبساط حرارتی در کیفیت محصول پخته شده، به تعریف این خاصیت و چگونگی محاسبه‌ی آن می‌پردازیم.



الف ــ ۱ــ۸ــ عیب ترک خوردن لعاب

ب ــ۱ــ۸ــ عیب پوسته‌کردن لعاب

شکل ۱ــ۸ــ عیوب ایجاد شده در لعاب به علت تفاوت زیاد ضریب انبساط بدنه و لعاب

بنابر تعریف، مقدار تغییر طول نسبی ماده ($\frac{\Delta L}{L_1}$) را به ازای تغییر دما به‌اندازه یک درجه کلوین، ضریب انبساط حرارتی آن ماده گویند. می‌دانیم که انبساط حرارتی خطی اجسام را با رابطه (۱ــ۸) نمایش می‌دهند.

$$L_2 = L_1[1 + \alpha(T_2 - T_1)] \qquad (۱ــ۸)$$

در این رابطه L_2 طول قطعه در درجه حرارت T_2، L_1 طول قطعه در درجه‌حرارت T_1 و α ضریب انبساط حرارتی خطی جسم است. رابطه (۱ــ۸) را می‌توان به‌صورت دیگری نوشت :

$$L_2 - L_1 = L_1\alpha(T_2 - T_1)$$

$$\Rightarrow \Delta L = L_1\alpha\ \Delta T \quad \Rightarrow \boxed{\alpha = \frac{\Delta L}{L_1 \Delta T}}$$

این رابطه، مبنای اندازه‌گیری دستگاهی ضریب انبساط حرارتی با استفاده از دستگاه دیلاتومتر[1] است. روش کار با دیلاتومتر به این صورت است که ابتدا قطعه را با روش معمول در خط تولید ــ مثلاً اگر روش تولید ریخته‌گری دوغابی باشد به صورت دوغابی و اگر روش تولید پرس باشد به کمک پرس ــ به ابعاد استاندارد شکل‌دهی کرده، حال اگر هدف تعیین رفتار حرارتی در حالت خام باشد، پس از خشک‌کردن نمونه، آن‌را در داخل دستگاه قرار داده و کوره دستگاه را پس از تنظیم کردن روشن می‌کنیم، سیستم رایانه دستگاه منحنی حرارتی را برحسب تغییرات طول نسبی ($\frac{\Delta L}{L_1}$) نسبت به حرارت رسم می‌کند. در مورد لعاب و شیشه می‌توان از طریق محاسبه، ضریب انبساط حرارتی را از روی آنالیز اکسیدهای تشکیل‌دهنده به تقریب به‌دست آورد.

برخی از محققین با تهیه و ارائه ضریب برای اکسیدهای متداول در لعاب‌های سرامیکی، در

۱ــ دیلاتومتر دستگاهی است که تغییرات طول ناشی از تغییرات درجه حرارت را اندازه‌گیری و رسم می‌کند.

جدول ۱ــ۸ ــ ضرایب مربوط به محاسبه‌ی ضریب انبساط حرارتی لعاب

ماده	وینکلمن و شوت	انگلیش و ترنر (۲۵ــ۹۵° C)	هال (نقطه بحرانی پایینی ــ ۲۰° C)	واتر من و ترنر (۰ــ۱۵۰° C)	ون‌گورون و اسپانگن برگر
P_2O_5	۹/۴۶		٪۶۰ ۲/۴۰		
SiO_2	۱/۶۰	۰/۱۵	٪۷۰ ۲/۰۴		
			٪۸۰ ۱/۵۶		۰/۸۰
TiO_2			٪۹۰ ۰/۹۰		۶/۶
ZnO_2					۱/۴
B_2O_3	۰/۲۳	– ۴/۶	۱/۴		– ۱/۵
Al_2O_3	۱۷/۰	۱/۴۳	۵/۱		۰/۴۷
Fe_2O_3					۰/۰
BeO					۰/۵
					۰/۱
MgO	۰/۱۳	۱/۸	۰/۸۱		۱۳/۸
CaO	۹/۳	۹/۱	۸/۴	۹/۰	۱۹/۲
Se_2O	–	–	–	–	–
BaO	۱۵/۳	۲۱/۵	۱۸/۴		۲۹/۱
ZnO	۴/۹	۵/۷	۸/۱		۵/۰
PbO	۲۲/۳	۲۳/۷	۱۶/۷		
FeO					
MnO					
Li_2O				۱۴/۶	
Na_2O	۲۰/۷	۲۶/۸	۲۳/۶	۲۵/۹	۲۵/۸
K_2O	۲۶/۷	۳۶/۷	۲۸/۳	۳۲/۰	
Rb_2O				۴۸/۶	۵۰/۰

در بالای هر ستون مربوط به ضرایب، نام محققین پیشنهاد دهنده و محدوده حرارتی که در آن ضریب مورد نظر قابل استفاده است دیده می‌شود. دارای واحد $\frac{۱}{\text{درصد مولکولی} \times k}$ هستند.

جهت محاسبه‌ی ضریب انبساط حرارتی لعاب از روی ترکیب آن، تلاش‌هایی کرده‌اند. در روش‌های ارائه شده از سوی این افراد با ضرب‌کردن ضریب مربوط به هر جزء اکسیدی لعاب در درصد مولکولی آن جزء و به‌دست آوردن مجموع این مقادیر، ضریب انبساط حرارتی لعاب محاسبه می‌شود. جدول (۱ــ۸) ضرایب پیشنهاد شده از سوی محققین مختلف و شرایط دمایی متفاوت را نشان می‌دهد. با قرار دادن این ضرایب در رابطه (۲ــ۸) می‌توان ضریب انبساط حرارتی را محاسبه کرد.

$$۱۰^{۶} \times \frac{\Delta L}{L_{۱} \Delta T} = f_{۱}p_{۱} + f_{۲}p_{۲} + f_{۳}p_{۳} + \ldots + f_{n}p_{n} \qquad (۲ــ۸)$$

در این رابطه، f ضریب هر اکسید و p درصد مولی آن در لعاب (یا شیشه) است.

نتایج تجربی حاصل از به کارگیری این ضرایب، نشان داده است که استفاده از آن در مورد تمامی لعاب‌ها و درجات حرارت، با صحت کافی امکان‌پذیر نیست. با این‌حال در بعضی از شرایط با استفاده از این محاسبات می‌توان تخمین‌هایی را پیرامون ضریب انبساط حرارتی لعاب انجام داد و یا دو لعاب مختلف را از نظر ضریب انبساط حرارتی با یکدیگر مقایسه کرد.

مثال ۱: آمیز لعابی در جدول (۲ــ۸) آمده است. با استفاده از ضرایب وینکلمن و شوت، ضریب انبساط حرارتی این لعاب را محاسبه کنید.

جدول ۲ــ۸

نوع اکسید	$SiO_{۲}$	$Al_{۲}O_{۳}$	CaO	MgO	$Na_{۲}O$	$B_{۲}O_{۳}$
درصد وزنی	۵۰/۵	۱۴/۱	۶/۴	۰/۴	۱۰/۲	۱۸/۴

حل:

برای محاسبه‌ی تعداد مول از رابطه‌ی زیر استفاده می‌شود :

$$\text{تعداد مول} = \frac{\text{درصد وزنی}}{\text{وزن مولکولی}}$$

بنابراین تعداد مول اکسیدهای موجود را بدین‌ترتیب به‌دست می‌آوریم :

$SiO_{۲} : ۵۰/۵ \div ۶۰/۱ = ۰/۸۴۰$

$Al_{۲}O_{۳} : ۱۴/۱ \div ۱۰۲ = ۰/۱۳۸$

$CaO : ۶/۴ \div ۵۶/۱ = ۰/۱۱۴$

$MgO : ۰/۴ \div ۴۰/۳ = ۰/۰۰۹$

$Na_{۲}O : ۱۰/۲ \div ۶۲ = ۰/۱۶۴$

B_2O_3 : ۱۸/۴ ÷ ۶۹/۶ = ۰/۲۶۴

سپس برای محاسبه درصد مولی، تعداد مول هر جزء را به مجموع تعداد مول‌ها تقسیم می‌کنیم :

۰/۸۴۰ + ۰/۱۳۸ + ۰/۱۱۴ + ۰/۰۰۹ + ۰/۱۶۴ + ۰/۲۶۴ = ۱/۵۲۹

(مجموع تعداد مول‌ها)

SiO_2 : ۰/۸۴۰ ÷ ۱/۵۲۹ = ۰/۵۴۹۳

Al_2O_3 : ۰/۱۳۸ ÷ ۱/۵۲۹ = ۰/۰۹۰۲

CaO : ۰/۱۱۴ ÷ ۱/۵۲۹ = ۰/۰۷۴۵

MgO : ۰/۰۰۹ ÷ ۱/۵۲۹ = ۰/۰۰۵۸

Na_2O : ۰/۱۶۴ ÷ ۱/۵۲۹ = ۰/۱۰۷۲

B_2O_3 : ۰/۲۶۴ ÷ ۱/۵۲۹ = ۰/۱۷۲۶

حال با استفاده از رابطه (۲ــ۸) و ضرایب وینکلمن ــ شوت (موجود در جدول ۱ــ۸)، می‌توانیم ضریب انبساط حرارتی را محاسبه کنیم.

$$10^{6} \times \frac{\Delta L}{L_1 \Delta T} = \underset{0/8788}{(0/5493 \times 1/60)} + \underset{1/5334}{(0/0902 \times 17/0)} + \underset{0/6928}{(0/0745 \times 9/3)} +$$

$$\underset{0/00075}{(0/0058 \times 0/13)} + \underset{2/2190}{(0/1072 \times 20/7)} + \underset{0/0396}{(0/1726 \times 0/23)}$$

$$\Rightarrow 10^{6} \times \frac{\Delta L}{L_1 \Delta T} = 5/36$$

$$\frac{\Delta L}{L_1 \Delta T} = \alpha \Rightarrow \quad 10^{6} \times \alpha = \quad 5/36$$

$$\Rightarrow \alpha = \quad \frac{5/36}{10^{6}} \Rightarrow \alpha = \quad 5/36 \times 10^{-6} \left(\frac{1}{K}\right)$$

مثال ۲ : آمیز لعابی درجدول (۳ــ۸) موجود است.

جدول ۳ــ۸

نوع اکسید	SiO_2	Al_2O_3	CaO	MgO	Na_2O	B_2O_3
درصد وزنی	۵۲	۱۴/۱	۶/۴	۰/۴	۸/۷	۱۸/۴

الف ــ با استفاده از ضرایب وینکلمن و شوت ضریب انبساط حرارتی این لعاب را محاسبه کنید.

ب ــ ضریب انبساط حرارتی به‌دست آمده را با ضریب انبساط حرارتی لعاب موجود در جدول (۲ــ۸) مقایسه کنید. از این مقایسه چه نتیجه‌ای می‌گیرید. در صورتی که بدنه‌ای با ضریب انبساط حرارتی $(\frac{1}{K})5/45\times10^{-6}$ داشته باشید، احتمال پوسته کدام‌یک از این دو لعاب بیش‌تر خواهد بود؟

حل:

الف ــ همانند مثال قبل، ابتدا تعداد مول هر جزء را محاسبه می‌کنیم.

$SiO_2 : 52/0 \div 60/1 = 0/865$

$Al_2O_3 : 14/1 \div 102 = 0/138$

$CaO : 6/4 \div 56/1 = 0/114$

$MgO : 0/4 \div 40/3 = 0/009$

$Na_2O : 8/7 \div 62 = 0/140$

$B_2O_3 : 18/4 \div 69/6 = 0/264$

سپس برای محاسبه درصد مولی، تعداد مول هر جزء را به مجموع تعداد مول‌ها تقسیم می‌کنیم :

$0/866 + 0/138 + 0/114 + 0/009 + 0/140 + 0/264 = 1/531$

$SiO_2 : 0/865 \div 1/531 = 0/565$

$Al_2O_3 : 0/138 \div 1/531 = 0/0901$

$CaO : 0/114 \div 1/531 = 0/0745$

$MgO : 0/009 \div 1/531 = 0/0058$

$Na_2O : 0/140 \div 1/531 = 0/0915$

$B_2O_3 : 0/264 \div 1/531 = 0/1725$

حال ضریب انبساط حرارتی را محاسبه می‌کنیم :

$$10^6 \times \frac{\Delta L}{L\Delta T} = \underset{0/9040}{(0/565\times1/60)} + \underset{1/5317}{(0/0901\times17/00)} + \underset{0/6928}{(0/0745\times9/3)} +$$

$$\underset{0/0007}{(0/0058\times0/13)} + \underset{1/894}{(0/0915\times20/70)} + \underset{0/0396}{(0/1725\times0/23)}$$

$$\Rightarrow 10^6 \times \frac{\Delta L}{L\Delta T} = 5/06$$

$$\frac{\Delta L}{L\Delta T} = \alpha \Rightarrow \quad ۱۰^{۶} \times \alpha = \quad ۵/۰۶$$

$$\alpha = \quad ۵/۰۶ \times ۱۰^{-۶} (\frac{۱}{K})$$

ب ــ از مقایسه ضریب انبساط حرارتی این دو لعاب متوجه می‌شویم که اولاً ضریب انبساط حرارتی لعاب مثال ۲ کم‌تر از لعاب مثال ۱ است و ثانیاً افزایش درصد $SiO_۲$ به‌ازای کاهش درصد $Na_۲O$ ، موجب این تغییرات شده است. با توجه به آنچه قبلاً گفته شد، نتیجه می‌گیریم که احتمال پوسته‌شدن لعاب مثال ۲ بیشتر از لعاب موجود در جدول (۲ــ۸) است.

تمرین

۱ــ آمیز لعابی در جدول (۴ــ۸) موجود است. با استفاده از ضرایب وینکلمن و شوت ضریب انبساط حرارتی این لعاب را محاسبه کنید.

جدول ۴ــ۸

نوع اکسید	$SiO_۲$	$Al_۲O_۳$	CaO	BaO	$Na_۲O$	$K_۲O$	$B_۲O_۳$
درصد وزنی	۶۰/۸۰	۸/۰۰	۷/۸۶	۲/۳۸	۶/۱۲	۲/۰۱	۱۲/۸۴

۲ــ ضریب انبساط حرارتی آمیز لعاب در تمرین قبل را با استفاده از ضرایب انگلیش و ترنر محاسبه کنید. از این مقایسه به چه نتیجه‌ای می‌رسید؟

۳ــ آمیز لعابی درجدول (۵ــ۸) موجود است. با استفاده از ضرایب وینکلمن و شوت و انگلیش و ترنر ضرایب انبساط حرارتی لعاب را محاسبه کنید. از مقایسه نتایج حاصله به چه نتیجه‌ای می‌رسید؟ از مقایسه نتیجه به‌دست آمده از ضرایب انگلیش و ترنر برای این آمیز و آمیز لعاب تمرین شماره (۱) به چه نتیجه‌ای می‌رسید؟ از مقایسه نتیجه به‌دست آمده از ضرایب وینکلمن و شوت برای این آمیز و آمیز لعاب تمرین (۱) به چه نتیجه‌ای می‌رسید؟ آیا می‌توان گفت که در صورت استفاده از هریک از ضرایب موجود در جدول (۱ــ۸) برای دو لعاب مختلف، می‌توان ضرایب انبساط حرارتی آن دو لعاب را به‌طور نسبی با یکدیگر مقایسه کرد؟

جدول ۵ــ۸

نوع اکسید	$SiO_۲$	$Al_۲O_۳$	CaO	$Na_۲O$	$K_۲O$	$B_۲O_۳$	PbO	ZnO
درصد وزنی	۳۵/۹	۵/۰	ــ	۲/۷	۰/۳	۵/۰	۴۳/۵	۷/۶