

### محاسبه ضریب انبساط حرارتی

هدف‌های رفتاری: انتظار می‌رود هنرجو پس از پایان این فصل بتواند:

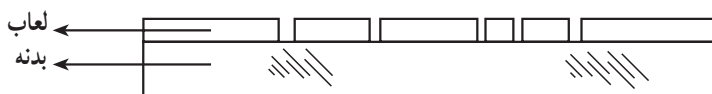
– با استفاده از نسبت مولی اجزای یک آمیز و ضریب انبساط حرارتی هریک از آن‌ها، ضریب انبساط حرارتی کل آمیز را حساب کند.

#### 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.

#### ۸-۱- 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 در نظر گرفته می‌شود. در صورتی که 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 ۸-۱). 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 - ۸-۱ - عیب ترک خوردن لعاب



ب - ۸-۱ - عیب پوسته کردن لعاب

شکل ۸-۱- 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 به اندازه یک درجه کلوین، ضریب انبساط حرارتی آن ماده گویند. می دانیم که انبساط حرارتی خطی اجسام را با رابطه (۸-۱) نمایش می دهند.

$$L_2 = L_1 [1 + \alpha(T_2 - T_1)] \quad (8-1)$$

در این رابطه  $L_2$  طول قطعه در درجه حرارت  $T_2$ ،  $L_1$  طول قطعه در درجه حرارت  $T_1$  و  $\alpha$  ضریب انبساط حرارتی خطی جسم است. رابطه (۸-۱) را می توان به صورت دیگری نوشت:

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

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

این رابطه، مبنای اندازه گیری دستگاهی ضریب انبساط حرارتی با استفاده از دستگاه دیلاتومتر<sup>۱</sup> است. روش کار با دیلاتومتر به این صورت است که ابتدا قطعه را با روش معمول در خط تولید - مثلاً اگر روش تولید ریخته گری دوغابی باشد به صورت دوغابی و اگر روش تولید پرس باشد به کمک پرس - به ابعاد استاندارد شکل دهی کرده، حال اگر هدف تعیین رفتار حرارتی در حالت خام باشد، پس از خشک کردن نمونه، آن را در داخل دستگاه قرار داده و کوره دستگاه را پس از تنظیم کردن روشن

می کنیم، سیستم رایانه دستگاه منحنی حرارتی را برحسب تغییرات طول نسبی  $(\frac{\Delta L}{L_1})$  نسبت به حرارت

رسم می کند. در مورد لعاب و شیشه می توان از طریق محاسبه، ضریب انبساط حرارتی را از روی آنالیز اکسیدهای تشکیل دهنده به تقریب به دست آورد.

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

۱- دیلاتومتر دستگاهی است که تغییرات طول ناشی از تغییرات درجه حرارت را اندازه گیری و رسم می کند.

جدول ۱-۸ - ضریب مربوط به محاسبه ضریب انبساط حرارتی لعاب

ماده	ویسکوزیته و شوت	انگلیش و تترز (۹۵-۲۵ °C)	هال (نقطه بحرانی بایستی - ۲۰ °C)	واتر من و تترز (۱۵-۰ °C)	ون گرون و اسپانگن برگر
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	۹/۴۶		۲/۴۰	۱۴/۶	
SiO <sub>2</sub>	۱/۶۰	۰/۱۵	$\left. \begin{array}{l} ۲/۰۴ \\ ۱/۰۵۶ \\ ۱/۸۰ \\ ۱/۹۰ \end{array} \right\}$	۲۵/۹	۰/۸۰
TiO <sub>2</sub>			۰/۹۰	۳۲/۰	۶/۶
ZnO <sub>۲</sub>				۴۸/۶	۱/۴
B <sub>۲</sub> O <sub>۳</sub>	۰/۲۳	-۴/۶	۱/۴		-۱/۵
Al <sub>۲</sub> O <sub>۳</sub>	۱۷/۰	۱/۴۳	۵/۱		۰/۴۷
Fe <sub>۲</sub> O <sub>۳</sub>					۰/۰
B <sub>۲</sub> O					۰/۵
MgO	۰/۱۳	۱/۸	۰/۸۱	۹/۰	۰/۱
CaO	۹/۳	۹/۱	۸/۴		۱۳/۸
Se <sub>۲</sub> O	-	-	-		۱۹/۲
BaO	۱۵/۳	۲۱/۵	۱۸/۴		-
ZnO	۴/۹	۵/۷	۸/۱		۲۹/۱
PbO	۲۲/۳	۲۳/۷	۱۶/۷		۵/۰
FeO					
MnO					
Li <sub>۲</sub> O					
Na <sub>۲</sub> O	۲۰/۷	۲۶/۸	۲۳/۶	۱۴/۶	۲۵/۸
K <sub>۲</sub> O	۲۴/۷	۲۶/۷	۲۸/۳	۳۲/۰	
Rb <sub>۲</sub> O				۴۸/۶	۵۰/۰

در بالای هر ستون مربوط به ضریب، نام محققین پیشنهاد دهنده و محدوده حرارتی که در آن ضریب مورد نظر قابل استفاده است

دیده می شود. دارای واحد  $\times 10^{-۶}$  درصد مولکولی هستند.

۱

جهت محاسبه‌ی ضریب انبساط حرارتی لعاب از روی ترکیب آن، تلاش‌هایی کرده‌اند. در روش‌های ارائه شده از سوی این افراد با ضرب کردن ضریب مربوط به هر جزء اکسیدی لعاب در درصد مولکولی آن جزء و به دست آوردن مجموع این مقادیر، ضریب انبساط حرارتی لعاب محاسبه می‌شود. جدول (۸-۱) ضرایب پیشنهاد شده از سوی محققین مختلف و شرایط دمایی متفاوت را نشان می‌دهد. با قرار دادن این ضرایب در رابطه (۸-۲) می‌توان ضریب انبساط حرارتی را محاسبه کرد.

$$10^6 \times \frac{\Delta L}{L_1 \Delta T} = f_1 p_1 + f_2 p_2 + f_3 p_3 + \dots + f_n p_n \quad (8-2)$$

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 این حال 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 (۸-۲) آمده است. با استفاده از ضرایب وینکلن و شوت، ضریب انبساط حرارتی این لعاب را محاسبه کنید.

جدول ۸-۲

نوع اکسید	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
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 بدین ترتیب به دست می‌آوریم:

$$\text{SiO}_2 : 50/5 \div 60/1 = 0/840$$

$$\text{Al}_2\text{O}_3 : 14/1 \div 102 = 0/138$$

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

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

$$\text{Na}_2\text{O} : 10/2 \div 62 = 0/164$$

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

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

$$0/840 + 0/138 + 0/114 + 0/009 + 0/164 + 0/264 = 1/529$$

(مجموع تعداد مول‌ها)

$$SiO_2 : 0/840 \div 1/529 = 0/5493$$

$$Al_2O_3 : 0/138 \div 1/529 = 0/0902$$

$$CaO : 0/114 \div 1/529 = 0/0745$$

$$MgO : 0/009 \div 1/529 = 0/0058$$

$$Na_2O : 0/164 \div 1/529 = 0/1072$$

$$B_2O_3 : 0/264 \div 1/529 = 0/1726$$

حال با استفاده از رابطه (۲-۸) و ضرایب وینکلن - شوت (موجود در جدول ۱-۸)، می‌توانیم ضریب انبساط حرارتی را محاسبه کنیم.

$$10^6 \times \frac{\Delta L}{L_1 \Delta T} = \begin{matrix} 0/8788 & 1/5334 & 0/6928 \\ (0/5493 \times 1/60) + (0/0902 \times 17/0) + (0/0745 \times 9/3) + \\ 0/00075 & 2/2190 & 0/0396 \\ (0/0058 \times 0/13) + (0/1072 \times 20/7) + (0/1726 \times 0/23) \end{matrix}$$

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

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

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

مثال ۲: آمیز لعی در جدول (۳-۸) موجود است.

جدول ۳-۸

نوع اکسید	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
درصد وزنی	۵۲	۱۴/۱	۶/۴	۰/۴	۸/۷	۱۸/۴

الف - با استفاده از ضرایب وینکلن و شوت ضریب انبساط حرارتی این لعاب را محاسبه کنید.  
 ب - ضریب انبساط حرارتی به دست آمده را با ضریب انبساط حرارتی لعاب موجود در جدول (۲-۸) مقایسه کنید. از این مقایسه چه نتیجه‌ای می‌گیرید. در صورتی که بدنه‌ای با ضریب انبساط حرارتی

$$\left(\frac{1}{K}\right)^{-6} \times 10^{-6} \times 5/45 \text{ داشته باشید، احتمال پوسته کدام یک از این دو لعاب بیش تر خواهد بود؟}$$

حل:

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

$$\text{SiO}_2 : 52/0 \div 60/1 = 0/865$$

$$\text{Al}_2\text{O}_3 : 14/1 \div 102 = 0/138$$

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

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

$$\text{Na}_2\text{O} : 8/7 \div 62 = 0/140$$

$$\text{B}_2\text{O}_3 : 18/4 \div 69/6 = 0/264$$

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

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

$$\text{SiO}_2 : 0/865 \div 1/531 = 0/565$$

$$\text{Al}_2\text{O}_3 : 0/138 \div 1/531 = 0/0901$$

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

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

$$\text{Na}_2\text{O} : 0/140 \div 1/531 = 0/0915$$

$$\text{B}_2\text{O}_3 : 0/264 \div 1/531 = 0/1725$$

حال ضریب انبساط حرارتی را محاسبه می‌کنیم:

$$10^6 \times \frac{\Delta L}{L\Delta T} = \left(\frac{0/565 \times 1/60}{0/9040}\right) + \left(\frac{0/0901 \times 17/00}{1/5317}\right) + \left(\frac{0/0745 \times 9/3}{0/6928}\right) +$$

$$\left(\frac{0/0058 \times 0/13}{0/0007}\right) + \left(\frac{0/0915 \times 20/70}{1/894}\right) + \left(\frac{0/1725 \times 0/23}{0/0396}\right)$$

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

$$\frac{\Delta L}{L\Delta T} = \alpha \Rightarrow 10^{-6} \times \alpha = 5/0.6$$

$$\alpha = 5/0.6 \times 10^{-6} \left(\frac{1}{K}\right)$$

ب- 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  $SiO_2$  به‌ازای کاهش درصد  $Na_2O$ ، 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 (۸-۲) است.

### تمرین

۱- آمیز لعابی در جدول (۸-۴) موجود است. با استفاده از ضرایب وینکلن و شوت ضریب انبساط حرارتی این لعاب را محاسبه کنید.

جدول ۸-۴

نوع اکسید	$SiO_2$	$Al_2O_3$	CaO	BaO	$Na_2O$	$K_2O$	$B_2O_3$
درصد وزنی	۶۰/۸۰	۸/۰۰	۷/۸۶	۲/۳۸	۶/۱۲	۲/۰۱	۱۲/۸۴

۲- 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؟

۳- آمیز لعابی در جدول (۸-۵) موجود است. با استفاده از ضرایب وینکلن 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 وینکلن 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 (۸-۱) برای دو لعاب مختلف، می‌توان ضرایب انبساط حرارتی آن دو لعاب را به‌طور نسبی با یکدیگر مقایسه کرد؟

جدول ۸-۵

نوع اکسید	$SiO_2$	$Al_2O_3$	CaO	$Na_2O$	$K_2O$	$B_2O_3$	PbO	ZnO
درصد وزنی	۳۵/۹	۵/۰	-	۲/۷	۰/۳	۵/۰	۴۳/۵	۷/۶