

## انقباض

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

- ۱- انقباض خطی و حجمی را توضیح دهد.
- ۲- درصد انقباض خشک را محاسبه کند.
- ۳- درصد انقباض پخت را پیدا کند.
- ۴- درصد انقباض کل را محاسبه کند.
- ۵- کاربرد درصد انقباض را در تولید سرامیک‌ها شرح دهد.
- ۶- درصد انقباض حجمی را محاسبه کند.

### ۳-۱-۳- انقباض خطی

۳-۱-۱-۳- انقباض تر به خشک: حین خشک شدن، قطعات رسی رطوبت خود را از دست می‌دهند. این رطوبت در واقع آب آزادی است که در بین ذرات رسی قرار گرفته و امکان شکل‌دهی بدنه را فراهم می‌آورد. خارج شدن این رطوبت حین خشک شدن، غالباً با انقباضی همراه است، که به آن انقباض تر به خشک یا انقباض خشک گویند. عموماً قطعاتی که در شروع مرحله خشک شدن از رطوبت بالایی برخوردارند، انقباض خشک زیادی را از خود نشان می‌دهند. ما می‌توانیم مقدار این انقباض را برحسب درصد محاسبه کنیم.

در صورتی که طول قطعه را پیش از خشک شدن  $L_W$  و پس از خشک شدن  $L_D$  بنامیم، انقباض خشک را می‌توانیم با استفاده از رابطه (۳-۱) محاسبه کنیم:

در این رابطه  $S_D$  معرف انقباض خشک است.

$$S_D = \frac{L_W - L_D}{L_W} \times 100 \quad \text{رابطه (۳-۱)}$$

W - مخفف کلمه‌ی Wet (به معنی تر) D مخفف کلمه‌ی Dried (به معنی خشک شده)، L مخفف کلمه‌ی Length (به معنی

طول) و S مخفف کلمه‌ی Shrinkage (به معنی انقباض) است.

مثال ۱: طول یک قطعه رسی در حالت تر ۱۵cm و پس از خشک شدن ۱۳/۵cm است. مقدار انقباض خشک این قطعه را برحسب درصد محاسبه کنید.  
حل:

$$S_D = \frac{L_W - L_D}{L_W} \times 100$$

$$= \frac{15 - 13/5}{15} \times 100 = 10\%$$

مثال ۲: در صورتی که قطر دهانه یک قوری پس از خشک شدن ۹/۶cm و مقدار انقباض خشک آن ۴٪ باشد، قطر دهانه‌ی آن را پیش از خشک شدن محاسبه کنید.  
حل:

$$S_D = \frac{L_W - L_D}{L_W} \times 100 \Rightarrow 0.04 = \frac{L_W - 9/6}{L_W}$$

$$\Rightarrow 0.04 L_W - L_W = -9/6 \Rightarrow L_W = 10 \text{ cm}$$

توجه: دانش‌آموزان عزیز دقت فرمایند در صورتی که در امتحان کردن جواب مثال‌ها، دقیقاً به عدد فرض مسأله نمی‌رسند، علت این است که جواب مثال‌ها اغلب رُند (گرد) شده است.  
مثال ۳: قطر یک بشقاب چینی در حالت تر ۱۸/۶cm است. اگر میزان انقباض خشک آن ۲٪ باشد قطر بشقاب را پس از خشک شدن برحسب میلی‌متر به دست آورید.  
حل:

$$18/6 \text{ cm} = 186 \text{ mm}$$

$$S_D = \frac{L_W - L_D}{L_W} \times 100 \Rightarrow 2 = \frac{186 - L_D}{186} \times 100 \Rightarrow 2 \times 186 = 18600 - 100 L_D$$

$$\Rightarrow L_D = 182/28 \text{ mm}$$

۲-۱-۳- انقباض پخت (انقباض بین قطعه خشک و قطعه‌ی پخته شده): همان‌طور که می‌دانید بعد از خشک شدن، قطعات سرامیکی در دمای مناسب پخته می‌شوند. حین پخت، بعضی از اجزای آمیز ذوب شده و باعث پُر شدن بخشی از خلل و فرج و فضاهای خالی قابل دسترس در داخل بدنه سرامیکی می‌شوند. مقدار این انقباض وابسته به آمیز و منحنی پخت است. محاسبات مربوط به این انقباض که آن را انقباض پخت می‌نامیم، شبیه به محاسباتی است که در قسمت قبلی و در مورد انقباض خشک ذکر شد.

در صورتی که طول قطعه خشک شده را  $L_D$  و طول قطعه پخته شده را  $L_F$  بنامیم، درصد انقباض پخت، از طریق رابطه (۳-۲) محاسبه می‌شود.

$$S_F = \frac{L_D - L_F}{L_D} \times 100 \quad \text{رابطه (۳-۲)}$$

بدیهی است که این انقباض نیز خطی است. به مثال زیر توجه کنید:

مثال ۴: طول یک مقره چینی در حالت خشک  $6/53 \text{ cm}$  است. پس از اتمام مرحله‌ی پخت (در دمای  $130^\circ \text{C}$ ) طول قطعه  $6/18 \text{ cm}$  است. میزان انقباض پخت این قطعه را (برحسب درصد) محاسبه کنید.

حل:

$$S_F = \frac{L_D - L_F}{L_D} \times 100 \Rightarrow S_F = \frac{6/53 - 6/18}{6/53} \times 100$$

$$\Rightarrow S_F = \frac{0/35}{6/53} \times 100 = 5/36\%$$

۳-۱-۳- انقباض کل (انقباض بین قطعه تر و قطعه پخته شده): مجموع انقباضی که یک قطعه سرامیکی در بین مراحل شکل دادن و محصول نهایی انجام می‌دهد، شامل انقباض خشک و پخت است. اما توجه داشته باشید که مجموع انقباض‌های پخت و خشک را نمی‌توان برابر با انقباض کل گرفت زیرا مبنای استفاده شده در مورد این دو انقباض یکی نیست. برای فهم بهتر این مسأله، به مثال ۵ توجه کنید.

مثال ۵: فرض کنید که طول علامت‌گذاری شده بر روی یک نمونه، به صورت زیر باشد.

$$L_W = 50 \text{ mm}$$

$$L_D = 46 \text{ mm}$$

$$L_F = 41 \text{ mm}$$

الف - میزان انقباض کل را محاسبه کنید.

ب - مجموع انقباض‌های خشک و پخت را به دست آورده، نتیجه را با انقباض کل مقایسه کنید.

۱- F مخفف کلمه Fired (به معنی پخته شده) است.

حل :

الف - میزان انقباض کل از رابطه (۳-۳) به دست می آید.

$$S_t = \frac{L_W - L_F}{L_W} \times 100$$

رابطه (۳-۳)

$$\Rightarrow S_t = \frac{50 - 41}{50} \times 100 \Rightarrow S_t = \frac{9}{50} \times 100 = 18\%$$

ب - حال مجموع انقباض های خشک و پخت را نیز محاسبه می کنیم .

$$S_D = \frac{L_W - L_D}{L_W} \times 100 \Rightarrow S_D = \frac{50 - 46}{50} \times 100 \Rightarrow S_D = 8\%$$

$$S_F = \frac{L_D - L_F}{L_D} \times 100 \Rightarrow S_F = \frac{46 - 41}{46} \times 100 \Rightarrow S_F = 10.9\%$$

$$S_D + S_F = 8 + 10.9 = 18.9\%$$

حال نتایج به دست آمده را با هم مقایسه می کنیم :

$$S_D + S_F = 18.9\%$$

مجموع انقباض خشک و پخت :

$$\Rightarrow S_t \neq S_D + S_F$$

$$S_t = 18\%$$

انقباض کل :

مشاهده می کنیم که درصد انقباض کل با مجموع درصدهای انقباض خشک و پخت مساوی نیست . توجه داشته باشید که در هنگام طراحی قطعات و قالب ها حتماً از انقباض کل استفاده کنید .

مثال ۶ : می خواهیم قطر نهایی یک نعلبکی از جنس چینی ۹۰mm باشد . در صورتی که میزان انقباض پخت ۴/۶۲٪ و انقباض خشک ۳/۱۵٪ باشد و با در نظر گرفتن این که روش شکل دادن به صورت گل پلاستیک است ، مطلوب است :

الف - قطر نعلبکی پس از خشک شدن

ب - قطر قالب اصلی

ج - انقباض کل

۱- t مخفف کلمه total (به معنی کل) است.

حل :

الف - با توجه به اطلاعات موجود، میزان انقباض پخت  $4/62\%$  و قطر نهایی  $90^\circ$  میلی متر

است. پس :

$$S_F = \frac{L_D - L_F}{L_D} \times 100 \Rightarrow 4/62 = \frac{L_D - 90}{L_D} \times 100$$

قطر نعلبکی پس از خشک شدن  $L_D = 94/3 \text{ mm}$   $\Rightarrow 4/62 L_D = 100 L_D - 9000 \Rightarrow L_D = 94/3 \text{ mm}$

ب - انقباض تر به خشک برابر با  $3/15\%$  و قطر نعلبکی خشک شده نیز  $94/3 \text{ mm}$

است. پس :

$$S_D = \frac{L_W - L_D}{L_W} \times 100 \Rightarrow S_D = \frac{L_W - 94/3}{L_W} \times 100$$

قطر قالب اصلی (و یا طول قطعه‌ی تر)

$$3/15 = \frac{L_W - 94/3}{L_W} \times 100 \Rightarrow L_W = 97/3 \text{ mm}$$

ج - حال که طول اولیه و نهایی را محاسبه کرده‌ایم، می‌توانیم با استفاده از تغییر طول کلی،

انقباض کل را به دست آوریم.

$$\text{تغییر طول کلی} = L_W - L_F = 97/3 - 90 = 7/3 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow S_t = \frac{L_W - L_F}{L_W} \times 100 \Rightarrow S_t = \frac{7/3}{97/3} \times 100 = 7/5\%$$

## ۲-۳- انقباض حجمی

در صورتی که تخمین دقیق‌تری از انقباض قطعات نیاز باشد، می‌توان به جای تغییرات طولی از تغییرات حجمی سود جست. اما باید توجه داشت که اندازه‌گیری انقباض حجمی معمولاً دشوارتر از انقباض خطی است و زمان بیش‌تری را باید صرف آن کرد. روش محاسبه‌ی درصد انقباض حجمی نیز بر اساس همان اصولی صورت می‌گیرد که تاکنون برای اندازه‌گیری انقباض خطی به کار بردیم. معمولاً در کارهای آزمایشگاهی مقدار انقباض حجمی یک ماده سرامیکی را سه برابر انقباض خطی آن در نظر می‌گیرند.

برای فهم بهتر و دقیق تر این موضوع، مکعبی از جنس یک ماده سرامیکی را در نظر می‌گیریم که طول ضلع آن در حالت اولیه  $a$  باشد. در صورتی که پس از اتمام فرایند مورد نظر، تغییر طولی برابر  $a'$  در اضلاع مکعب داشته باشیم، می‌توانیم درصد انقباض خطی را به شکل زیر بنویسیم.

$$\text{درصد انقباض خطی} = \frac{a'}{a} \times 100$$

حال برای یافتن انقباض حجمی چنین عمل می‌کنیم:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{حجم اولیه قطعه} = a^3 \\ \Rightarrow \text{درصد انقباض حجمی} = \frac{a^3 - (a - a')^3}{a^3} \times 100 \\ \text{حجم نهایی قطعه} = (a - a')^3 \end{array} \right.$$

$$\Rightarrow \text{درصد انقباض حجمی} = \frac{a^3 - (a^3 - 3a^2a' + 3aa'^2 - a'^3)}{a^3} \times 100$$

$$= \frac{3a^2a' - 3aa'^2 + a'^3}{a^3} \times 100$$

$$= \left[ \frac{3a'}{a} - 3\left(\frac{a'}{a}\right)^2 + \left(\frac{a'}{a}\right)^3 \right] \times 100$$

با توجه به این که  $a'$  از نظر مقدار به مراتب کوچک تر از  $a$  است، پس  $\frac{a'}{a}$  از نظر مقدار کوچک تر

از عدد ۱ است، بنابراین مقادیر  $\left(\frac{a'}{a}\right)^2$  و  $\left(\frac{a'}{a}\right)^3$  نیز بسیار کوچک هستند و می‌توان به طور

تقریبی در مقابل  $\frac{a'}{a}$  از آن‌ها صرف نظر کرد. در نتیجه عبارت قبل را می‌توان به صورت ساده تری

نوشت:

$$\text{درصد انقباض خطی} \times 3 \approx \text{درصد انقباض حجمی} \Rightarrow \frac{3a'}{a} \times 100 \approx \text{درصد انقباض حجمی}$$

در صورتی که نخواهیم انقباض حجمی را با استفاده از انقباض خطی محاسبه کنیم، می‌توانیم حجم قطعه را به صورت دیگری اندازه‌گیری کنیم که البته این چنین اندازه‌گیری به ویژه در مورد اشکال

نامنظم هندسی و یا قطعات نسبتاً حجیم و یا قطعات خام، مشکلاتی را دربر دارد. در فصل بعد، با روش اندازه‌گیری حجم قطعات نامنظم هندسی آشنا خواهید شد.

### تمرین

۱- به منظور اندازه‌گیری انقباض یک نمونه از جنس چینی استخوانی، بر روی یک قسمت آن طولی به اندازه  $5\text{ cm}$  را علامت‌گذاری می‌کنیم، بعد از خشک شدن نمونه، طول علامت‌گذاری شده به  $4/8^\circ\text{ cm}$  و بعد از پختن به  $4/35\text{ cm}$  کاهش می‌یابد.

الف- درصد انقباض خشک ب- درصد انقباض پخت

ج- درصد انقباض کل را محاسبه کنید.

۲- طول یک قطعه سرامیکی پخته شده  $9/2\text{ cm}$  است. در صورتی که مقدار انقباض خشک  $5/6\%$  باشد و مقدار انقباض پخت آن برابر با  $8/5\%$  باشد، الف- طول قطعه در حالت تر ب- طول قطعه در حالت خشک ج- درصد انقباض کل را محاسبه کنید.

۳- ابعاد یک آجر نسوز بعد از خروج از قالب دستگاه پرس  $9/4\text{ mm} \times 3/8\text{ mm} \times 4/2\text{ mm}$  است. در صورتی که انقباض حجمی کلی این آجر  $21/5\%$  باشد، مطلوب است: الف- حجم آجر قبل از پخت ب- ابعاد تقریبی آجر پخته شده.

۴- با استفاده از رابطه‌های انقباض خشک، پخت و کل اثبات کنید آیا مجموع انقباض خشک و پخت برابر با انقباض کل می‌باشد؟