

Materiales II

07_05_02.mcd

El termoformado es una técnica de procesado muy extendida en la que una lámina de material polimérico calentada por encima de su temperatura de transición vítrea se deforma por efecto del vacío, de un pistón o de ambos a la vez. El termoformado se utiliza con mucha frecuencia para fabricar recipientes, envases y pequeños contenedores.

En un proceso de fabricación de envases cilíndricos de poliestireno (ilustrado en la figura) el pistón tiene un diámetro exterior $D = 0.07$ m. A los $t = 0.3$ s del comienzo del avance del pistón, el espesor de la pared de PS en el punto P de la figura es $\delta = 0.0013$ m y el campo de velocidad (denominado campo de velocidad "extensional plano") en dicha pared está dado por:

$$\begin{aligned}v_1(x_1, x_2, x_3) &= -\varepsilon \cdot x_1 & \text{con} & \quad \varepsilon = 34 \text{ s}^{-1} \\v_2(x_1, x_2, x_3) &= 0 \\v_3(x_1, x_2, x_3) &= \varepsilon \cdot x_3\end{aligned}$$

referido a un sistema de coordenadas cartesianas centrado en P y con los siguientes ejes:

- eje 1 en la dirección radial del pistón
- eje 2 en la dirección tangencial del pistón
- eje 3 en la dirección de avance del pistón

Por su parte, la viscosidad del PS fundido a la temperatura de trabajo obedece a la siguiente relación

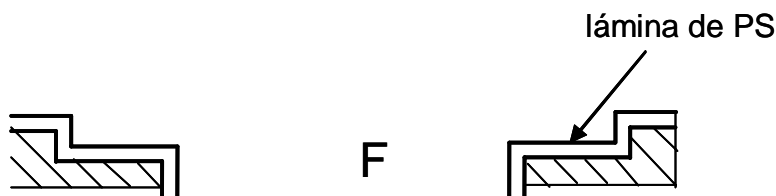
$$\eta(\gamma_{\text{mod}}) = 5.11 \cdot 10^5 \cdot \frac{1}{(1 + 8.2\gamma_{\text{mod}})^{0.6}}$$

donde η es la viscosidad del PS en Pa.s y γ_{mod} es el módulo del tensor de velocidad de deformación, γ_{punto} en s^{-1} . El tensor de esfuerzos en el PS fundido depende de la viscosidad y de γ_{punto} según la siguiente ec. constitutiva (fluido newtoniano generalizado):

$$\tau = -\eta(\gamma_{\text{mod}}) \cdot (\nabla v + \nabla v^T) \text{ (Pa)}$$

donde γ_{mod} se calcula como el módulo:

$$\gamma_{\text{mod}} = |\nabla v + \nabla v^T|$$



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99

Determinar:

- la viscosidad del PS en el punto indicado y en ese momento.
- la fuerza (viscosa, de "resistencia") que ejerce el PS sobre el pistón en ese momento (y que es una de las contribuciones a la fuerza que debe realizar el pistón para avanzar deformando la lámina).

Solución: la viscosidad depende del módulo del tensor velocidad de deformación. Éste es:

$$\nabla v = \begin{pmatrix} -\varepsilon & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \varepsilon \end{pmatrix} \quad \gamma_{\text{punto}} = \nabla v + \nabla v^T \quad \gamma_{\text{punto}} = \begin{pmatrix} -68.000 & 0.000 & 0.000 \\ 0.000 & 0.000 & 0.000 \\ 0.000 & 0.000 & 68.000 \end{pmatrix}$$

Y su módulo es: $\gamma_{\text{mod}} = \sqrt{\frac{1}{2} \gamma_{\text{punto}_{i,j}} \cdot \gamma_{\text{punto}_{i,j}}}$ (convenio de sumación sobre índices repetidos)

O bien (sin utilizar el convenio de sumación de índices repetidos): $\sqrt{\frac{1}{2} \left[\sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 (\gamma_{\text{punto}_{i,j}})^2 \right]} = 68 \text{ s}^{-1}$

expresión con 9 términos, que en este caso se reduce a $\gamma_{\text{mod}} = \sqrt{\frac{1}{2} \left[(\gamma_{\text{punto}_{1,1}})^2 + (\gamma_{\text{punto}_{3,3}})^2 \right]}$

La viscosidad se obtiene entonces de la expresión dada: $\eta(\gamma_{\text{mod}}) = 1.15 \times 10^4 \text{ Pa.s}$

Para calcular la fuerza que ejerce el polímero fundido sobre el pistón se debe en primer lugar obtener el tensor de esfuerzos en el PS por medio de la Ec. Constitutiva dada:

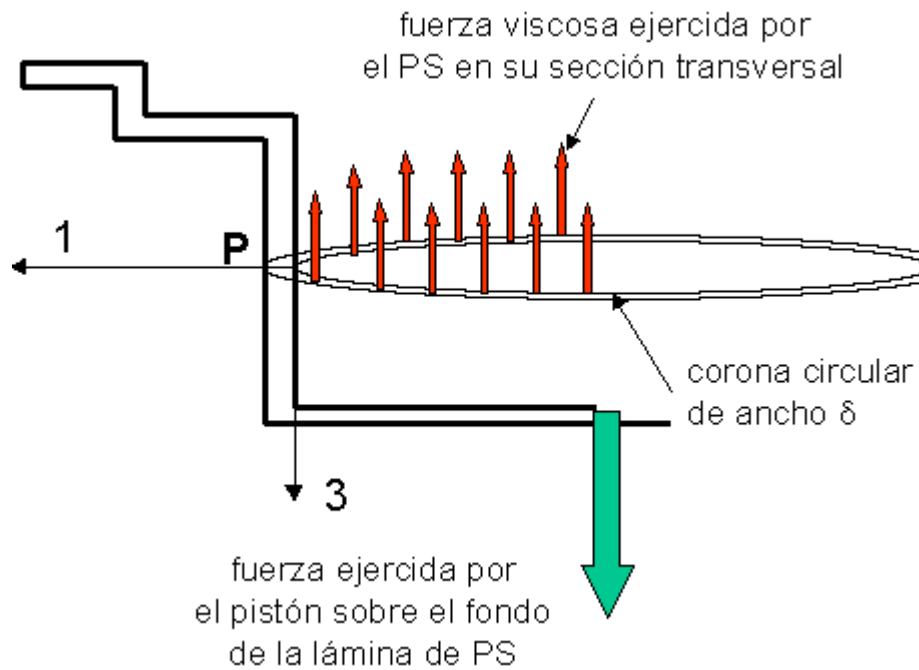
$$\tau = -\eta(\gamma_{\text{mod}}) \cdot \gamma_{\text{punto}} \quad \tau = \begin{pmatrix} 781033 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -781033 \end{pmatrix} \text{ Pa}$$

La componente 1,1 de τ no es nula y corresponde a la fuerza ejercida en dirección 1 sobre una superficie cuya normal apunta en dirección 1, es decir, la superficie libre del fluido. Tiene por tanto que ser igual a la presión ejercida por la atmósfera, es decir, la referencia o cero de esfuerzo normal. Esto implica que el esfuerzo $\tau_{3,3}$ debe medirse o calcularse relativo a este cero, es decir, a su valor debe restársele el de $\tau_{1,1}$. Físicamente refleja el hecho de que, al estar la superficie libre en equilibrio, la presión atmosférica iguala a la componente (o componentes) diagonal de τ que corresponde(n) a una superficie libre. El esfuerzo a realizar es el valor correspondiente, p.ej. $\tau_{3,3}$ en este caso, medido desde la presión atmosférica, que es, en este caso, igual a $\tau_{1,1}$. Igualmente, la componente $\tau_{2,2}$ debe ser corregida y corresponde por tanto en realidad a un esfuerzo $\tau_{2,2} - \tau_{1,1} = -781032.766 \text{ Pa}$, cuyo signo indica que en dirección periférica (eje 2) existe un estado de tracción o depresión (en la literatura, para este tipo de

**CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70**

**ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70**

Cartagena99



$$F = (\tau_{3,3} - \tau_{1,1}) \cdot \left[\pi \cdot \left(\frac{D}{2} + \delta \right)^2 - \pi \cdot \left(\frac{D}{2} \right)^2 \right] \quad F = -455 \quad \text{N}$$

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

r

The logo for Cartagena99 features the text 'Cartagena99' in a stylized, blue, serif font. The text is set against a light blue, abstract background that resembles a stylized 'C' or a wave. Below the text, there is a horizontal orange bar with a slight gradient and a drop shadow effect.

**CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70**

**ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70**