

EFFECTO DE LA DISTANCIA DE ENFRIAMIENTO EN LA FORMACIÓN DE MORFOLOGÍAS ELONGADAS DURANTE LA EXTRUSION CALANDREO

Arreola D.R.^a, Robledo J.R.^a, Rodrigue D.^b y González-Núñez R.^{a*},

^a Departamento de Ingeniería Química, Universidad de Guadalajara

Blvd. Gral. Marcelino García Barragán # 1451. Guadalajara, Jalisco, C.P. 44430, MEXICO

^b Department of Chemical Engineering, Laval University, Quebec City, Quebec, G1K 7P4 Canada

INTRODUCCIÓN

En el presente trabajo se estudia experimental y teóricamente el efecto que tiene la distancia de enfriamiento en la deformación de partículas durante la extrusión calandreado de una mezcla de polímeros inmiscibles. Se sabe que el mezclando físico de dos o más polímeros produce un nuevo producto con propiedades fuertemente relacionadas a la morfología final de la mezcla [1]. En este tipo de sistemas, por ejemplo, morfologías con dispersiones más finas mejoran las propiedades mecánicas de la mezcla [2], mientras que morfologías laminares incrementan las propiedades de barrera [3]. En este sentido, el estudio del estado final de la morfología para los diferentes tipos de flujo es un aspecto importante en el campo de las mezclas poliméricas. La comprensión del comportamiento de una gota de líquido viscoso inmersa en un segundo fluido en flujo inició con los trabajos, tanto teóricos como experimentales de Taylor [4,5] y se extendió más tarde con los trabajos de algunos otros autores [6-8]. Por ejemplo, Grace [6] reportó resultados experimentales sobre la deformación y rompimiento de gotas en diversos campos de flujo, generados en diferentes tipos de mezcladores. Igualmente, algunas teorías y modelos sobre la deformación de una gota en un segundo fluido sometido a diferentes tipos de flujo se han desarrollado [8-13]. Las conclusiones más importantes de todos los trabajos anteriores coinciden en que el tamaño y la forma de la gota dependen principalmente de: a) el tipo de flujo, es decir, la magnitudes relativas de los tensores extensional y rotatorio, b) la relación de viscosidad o cociente de la viscosidad de la gota entre la del fluido matriz (η_d / η_m), c) el número capilar, que representa la relación de las fuerzas viscosas con respecto a las de tensión interfacial ($Ca = \eta_d \dot{\gamma} / \sigma_{12}$), y d) la historia de flujo.

METODOLOGÍA

Experimental

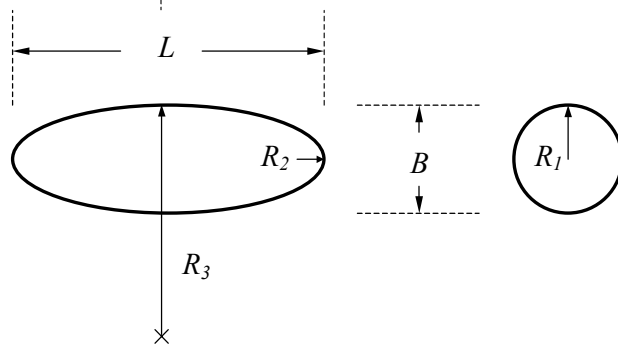
Los materiales utilizados en este trabajo fueron poliestireno cristal HF777 de Resirene y polietileno de alta densidad 61070 fabricado por PEMEX. Se estudió la mezcla de poliestireno / polietileno de alta densidad a las composiciones de 3, 6 y 9 % en volumen de poliestireno. Las mezclas fueron hechas en una extrusora de doble husillo "Leistritz Micro 26 GL/GG-36D" y extruídas a través de un dado rectangular para formar los perfiles.

La cintas de polímero fundido fueron deformadas de forma uniaxial en aire a diferentes relaciones de estirado (DR), variando la distancia de enfriamiento para verificar la influencia que tiene este parámetro en la deformación de la fase dispersa. Las distancias de enfriamiento (X) utilizadas fueron de 3.5, 5, 10, 15 y 20 cm para después entrar en contacto con agua a 20 °C y solidificar el material. El jalado se lleva a cabo con un sistema que contiene un torquimetro en su diseño, este permite medir en línea la fuerza necesaria para realizar la deformación. Una vez obtenidas las cintas se midieron las dimensiones finales para obtener el área seccional de estas.

Durante el análisis morfológico se tomaron pequeñas muestras de las cintas y fueron introducidas en nitrógeno líquido para después ser fracturadas en dirección al flujo. Se obtuvieron micrografías por medio de un microscopio electrónico de barrido (JEOL JSM 5400 LV) sobre las superficies fracturadas. Las imágenes fueron analizadas utilizando un software especial para este fin (Image-Pro Express, de Media Cybernetic) de esta forma se pudieron medir los ejes mayor (L) y menor (B) de las partículas.

Simulación.

Para simular la deformación de la fase dispersa, se siguió el trabajo de Padilla-López et. al. (2003) en el que se provee el siguiente sistema de ecuaciones que describen el comportamiento de la fase dispersa a través de un balance de presión.



$$\frac{\pi}{6} d^3 = \frac{\pi}{6} B^2 L \quad \text{o} \quad d^3 = B^2 L \quad (1)$$

$$\frac{F}{A_0} \frac{DR}{DR} = \frac{4\sigma_{12}}{3B} \left[1 + \frac{L}{B} + \left(\frac{B}{L} \right)^2 \right] \quad (2)$$

RESULTADOS

En la figura 1 se observa que la fuerza de estirado aumenta a medida que aumenta la relación de estirado para una misma distancia de enfriamiento, esto se atribuye a la aceleración cada vez mayor a la que es sometido el material. Sin embargo, existe un punto en el que la fuerza se mantiene básicamente constante. Esta variación en la pendiente de la fuerza es atribuida a un cambio drástico en la viscosidad de la matriz polimérica, lo más probable es que a velocidades de deformación pequeñas, que están relacionadas a DR pequeños el material se comporte como un fluido newtoniano, y a DR mayores exista un adelgazamiento a la deformación. También se observa una disminución en la fuerza a medida que se incrementa la distancia de enfriamiento, esto se debe a que a distancias de enfriamiento pequeñas, la aceleración es mayor que a distancias grandes. Es claro que no existe dependencia de la fuerza de estirado con la concentración de PS, esto es debido a que existe una concentración muy baja de la resina y prácticamente todo el esfuerzo es aplicado sobre la matriz.

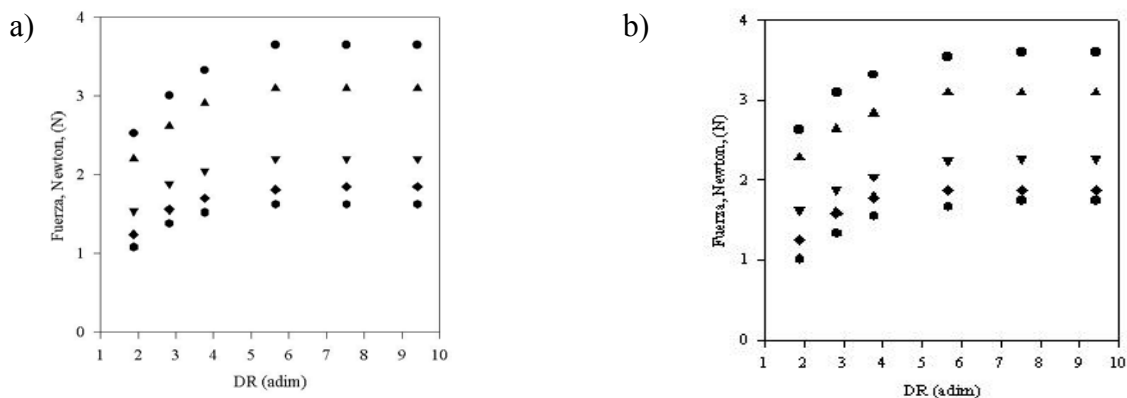


Figura 1. Fuerza de estirado experimental en función de la relación de estirado (DR) a $X=3.5$ (●), $X=5$ (▲), $X=10$ (▼), $X=15$ (◆), y $X=20$ (■) cm. a) PEAD puro b) 9% PS/PEAD

En la Figura (2) se muestra la deformación de partículas experimental y simulada para un DR de 2 y diferentes distancias de enfriamiento es importante el hecho de que exista mayor deformación para $X=3.5$ que para $X=20$ cm a una misma relación de estirado, sin embargo esto se explica fácilmente al observar la ecuación (2) y relacionarla con la fuerza de estirado mostrada en la figura 1.

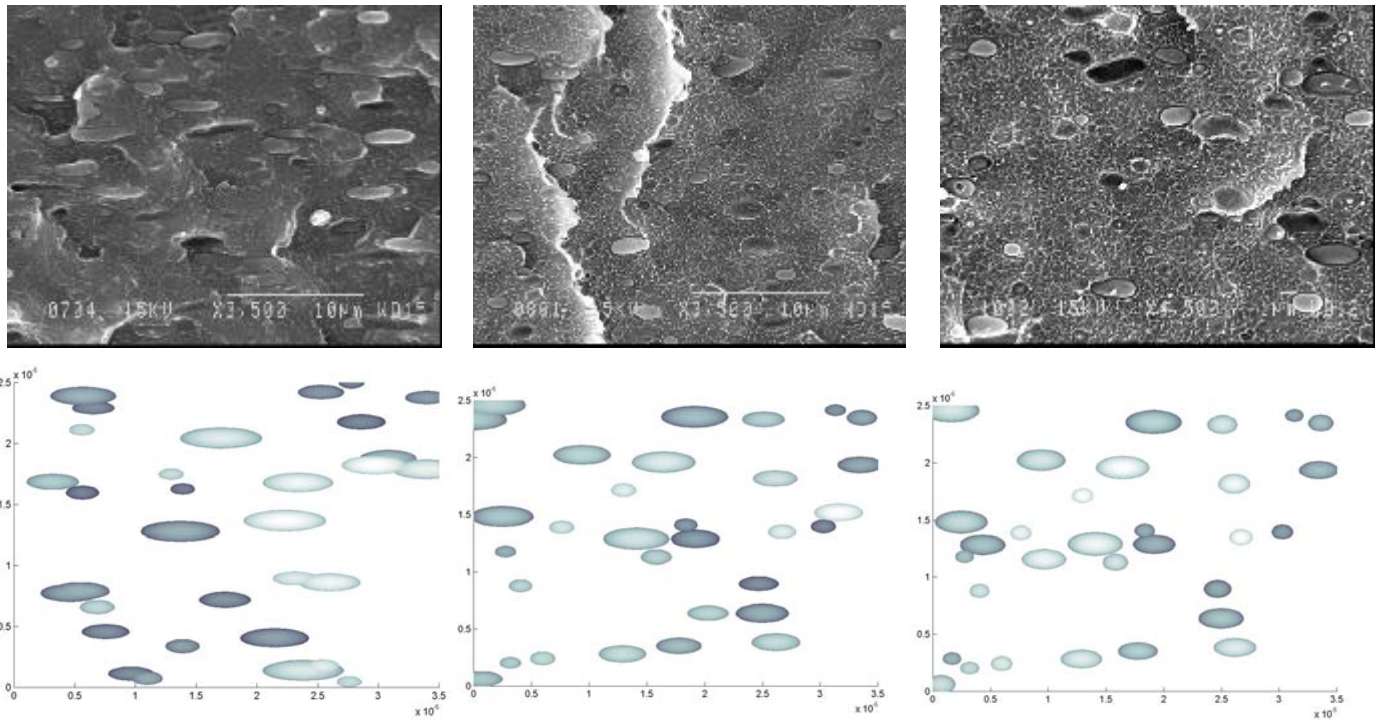


Figura 2. Morfologías experimentales (renglón superior) y simuladas (renglón inferior) para 6% de PS en PEAD a $DR=2$ y: (a,b) $X=5$ cm, (c,d) $X=10$ cm, (e,f) $X=20$ cm.

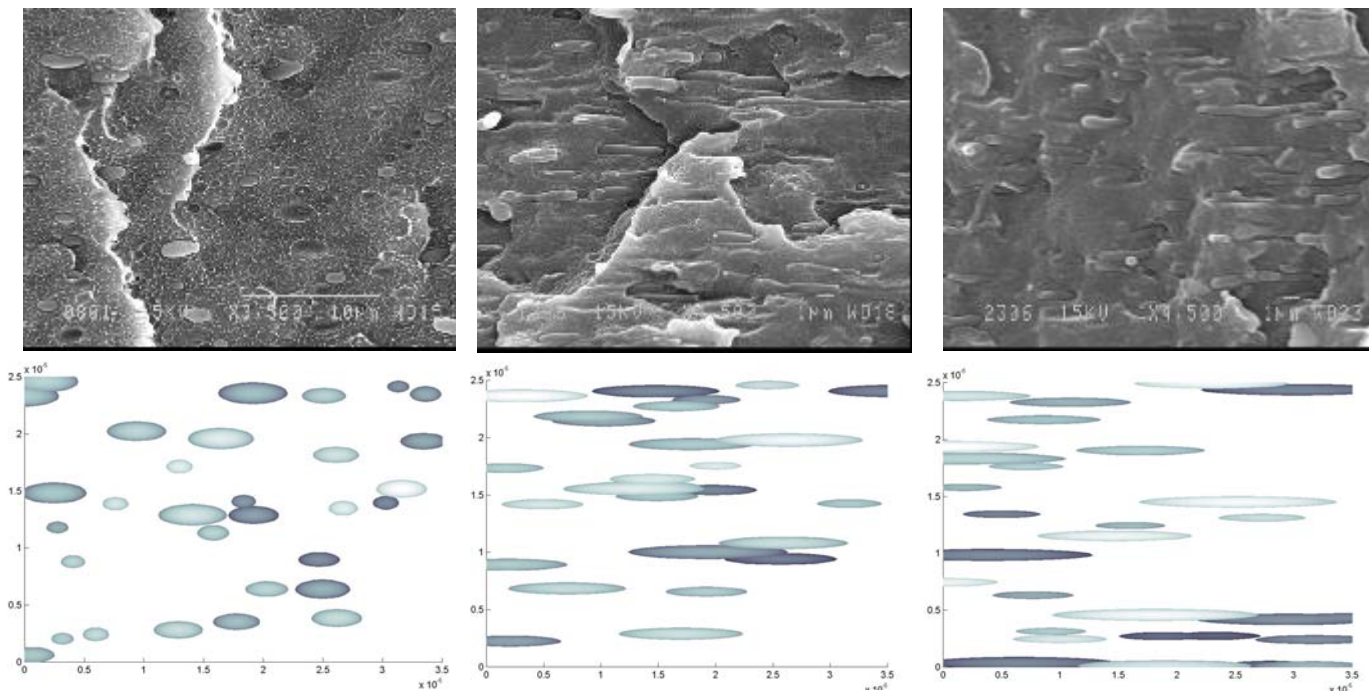


Figura 3. Morfologías experimentales (renglón alto) y simuladas (renglón bajo) para 6% de PS en PEAD a $X=10$ cm para DR de: (a,b) $DR=2$, (c,d) $DR=3$, (e,f) $DR=5$.

En la Figura (3) se muestra también la deformación de partículas experimental y simulada para una distancia de enfriamiento de 10 y diferentes *DR*. Como era de esperar, la deformación de la fase dispersa aumenta a medida que aumenta la relación de estirado, de nuevo es fácil de explicarlo relacionando la deformación con la fuerza de la figura 1.

CONCLUSIONES

Se logró obtener de manera experimental la fuerza de estirado durante el calandreo. Esto fue posible gracias a la utilización de un torquimetro adicionado al diseño de los rodillos de jalado. Se pudo observar que a medida que aumenta la distancia de enfriamiento, la fuerza de estirado disminuye, y por el contrario cuando aumenta la relación de estirado, la fuerza de estirado aumenta también.

No se observó dependencia de la fuerza con la concentración de la fase dispersa. Esto se debe a que el estudio se realizó a bajas concentraciones, (menores a 10%) y el esfuerzo es absorbido por la matriz.

Se utilizó la fuerza de estirado obtenida de forma experimental para predecir la deformación de la fase dispersa. Se encontró que para una misma relación de estirado la morfología de la mezcla cambia si también lo hace la distancia de enfriamiento. A menor distancia de enfriamiento, el grado de deformación es mayor debido a que el esfuerzo de estirado es también mayor.

Reconocimiento. Los autores agradecen a CONACYT por las becas otorgadas, así como el apoyo financiero mediante el convenio No. 42235-Y.

REFERENCIAS

1. Favis, B.D. *Can. J. Chem. Eng.*, **69**, 619 (1990).
2. Iñiguez, C.G., Michel, E., González-Romero, V.M. and González-Núñez, R., *Polym. Bull.*, **45**(3), 295 (2000).
3. González-Núñez, R., H. Padilla, D. De Kee and B.D. Favis, *Polym. Bull.*, **46**(4), 323 (2001).
4. Taylor, G.I., *Proc. R. Soc.*, **A138**, 41 (1932).
5. Taylor, G.I., *Proc. R. Soc.*, **A146**, 501 (1934).
6. Grace, H.P., *Chem. Eng. Commun.*, **14**, 225 (1982).
7. Blawdziewicz, C., V., Loewenberg, M. and Collins, L.R., (eds), *Direct numerical simulation of three-dimensional drop breakup in isotropic turbulence*. ASME Fluid Engineering Proceedings, (1998).
8. Rallison, J.M., *J. Fluid Mech.*, **109**, 465 (1981).
9. Acrivos, A. and Lo, T.S., *J. Fluid Mech.*, **86**, 641 (1978).
10. Rallison, J.M. and Acrivos, A., *J. Fluid Mech.*, **89**, 191 (1978).
11. Buckmaster, J.D., *J. Fluid Mech.*, **55**, 385 (1972).
12. Buckmaster, J.D., *J. Applied Mechanics*, **56**, 18 (1973).
13. Rallison, J.M., *Ann. Rev. Fluid Mech.*, **16**, 45 (1984).
14. Padilla-Lopez H., Vázquez M., González-Núñez R., Rodrigue D., *Polym Eng Sci*, **43:10**, 1646 (2003).