

FUNDAMENTOS Y ESTUDIO DE SENSIBILIDAD DEL ENSAYO DE COMPRESIÓN DE ANILLOS

P. F. Mendez, R. Herrera

Centro de Investigación Industrial (CINI), FUDETEC
Simini s/n, 2804 Campana, Buenos Aires, ARGENTINA

Resumen:

El ensayo de compresión de anillos (ring compression test) permite estimar el coeficiente de fricción en procesos de conformado plástico, tanto en frío como en caliente. La principal ventaja de este ensayo consiste en que no es necesario conocer las propiedades mecánicas del material ensayado para determinar el coeficiente de fricción (ref. 2). El ensayo consiste en la compresión plástica de un anillo entre dos paredes planas. Mediante el mismo es posible caracterizar diferentes lubricantes para conformado plástico de acuerdo a sus coeficientes de fricción. Mediante este ensayo se determinó en el CINI el coeficiente de fricción durante el conformado en caliente de aceros de bajo carbono con herramiental de acero AISI H13, y lubricación a base de grafito (Acheson Deltaforge 658).

Introducción:

El ensayo consiste en la compresión plástica de un anillo entre dos paredes planas (Figura 1). El anillo simula la pieza a conformar, y por lo tanto debe ser del mismo material y estar a la misma temperatura que ésta. Las paredes planas se corresponden con el herramiental de conformado, y por lo tanto también deben ser del mismo material y estar a la misma temperatura que el herramiental. La interfase entre el anillo y las paredes planas (lubricante, barreras térmicas, etc.) también debe ser la misma que en el proceso real. Las proporciones del anillo pueden variar, sin embargo la mayoría de los autores utiliza las proporciones 6:3:2 (diám. externo : diámetro interno : altura).

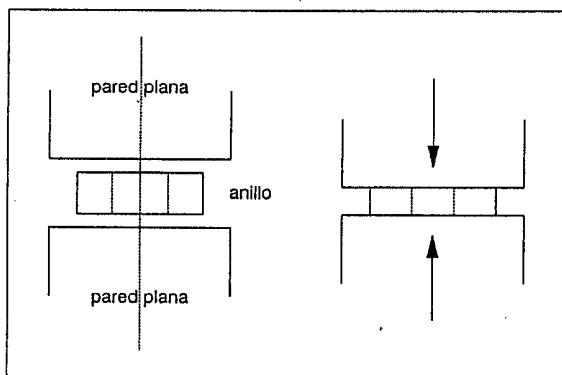


Figura 1
Esquema del ensayo de compresión de anillos

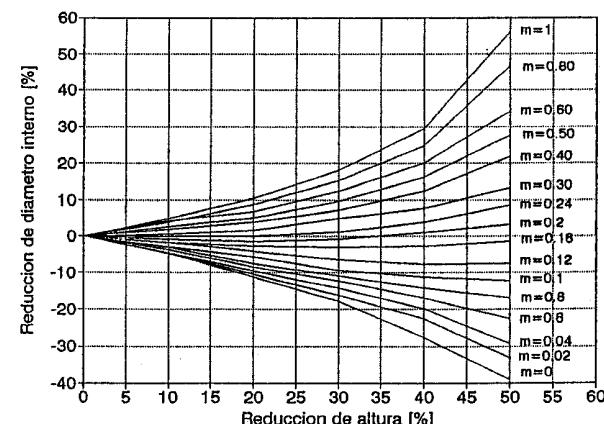


Figura 2
Curvas de calibración

La determinación del coeficiente de fricción se realiza en función de la variación de altura y diámetro interno del anillo luego de la compresión. Estos dos datos se grafican sobre curvas calibradas correspondientes a los distintos valores de fricción (Figura 2). El coeficiente de fricción utilizado, m , se define en la ec. 1. Este coeficiente es el más representativo de la fricción en procesos de conformado plástico (ref. 1).

$$m = \frac{\tau}{k} \quad (1)$$

τ = tensión tangencial en las superficies en movimiento relativo
 k = tensión de corte de fluencia del material a conformar

Si el material no sufre endurecimiento por deformación, el valor máximo de m es $m = 1$, que corresponde a una fricción tan alta que las superficies en contacto no tienen movimiento relativo y se produce deformación plástica del material a conformar. El valor mínimo de m es $m = 0$, correspondiente al caso de deslizamiento sin fricción.

Fundamentos:

Al comprimir el anillo se produce un flujo de material, que es fuertemente influenciado por la fricción en la interfase. Si la fricción es alta, el diámetro interno del anillo se achica mientras el externo se agranda. Para valores bajos de fricción, aumentan ambos diámetros. De esta manera, es posible estimar la fricción en la interfase midiendo la variación de diámetro interno del anillo.

Las hipótesis de este método son las siguientes:

- El material del anillo cumple con el criterio de fluencia de von Mises.
- La tensión de fluencia es la misma para todos los puntos del anillo. Esto implica:
 - * homogeneidad de temperaturas
 - * el material no sufre endurecimiento por deformación
- El coeficiente de fricción m es constante en toda el área de contacto.

En base a estas hipótesis, utilizando la teoría upper bound, es posible relacionar analíticamente el coeficiente de fricción con las deformaciones del diámetro interior y la altura del anillo (ref. 5 y 6), relación que se grafica en la Figura 2.

Ensayos efectuados:

Se efectuaron ensayos de compresión de anillos para tres valores de rugosidad de herramiental:

$$\begin{aligned} Ra_1 &= 0.0767 \mu \text{ (pulido espejo)} \\ Ra_2 &= 0.601 \mu \text{ (brillante mate)} \\ Ra_3 &= 7.137 \mu \text{ (desbaste grueso)} \end{aligned}$$

También se ensayaron tres condiciones de lubricación diferentes (según la cantidad de grafito adherido):

$$\begin{aligned} &\text{sin lubricación} \\ &0.31 \text{ mg/cm}^2 \\ &0.58 \text{ mg/cm}^2 \end{aligned}$$

Resultados:

Influencia de la rugosidad superficial y de la cantidad de lubricante en la fricción:

En las Figuras 3 y 4 se presenta un resumen de los resultados obtenidos. Los puntos graficados representan el promedio de por lo menos cuatro ensayos en iguales condiciones de lubricación y rugosidad.

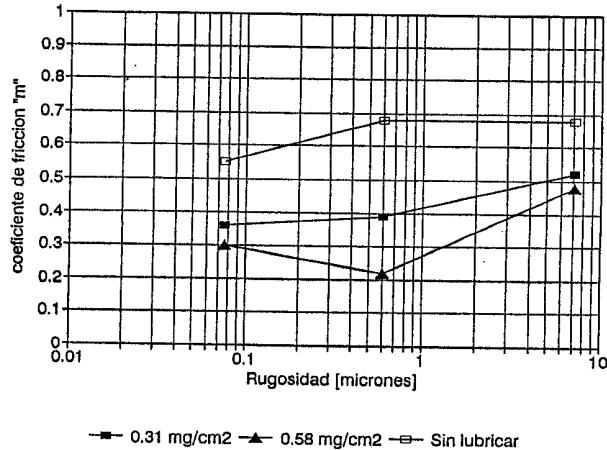


Figura 3
Coeficiente de fricción para distintas rugosidades y cantidades de lubricante

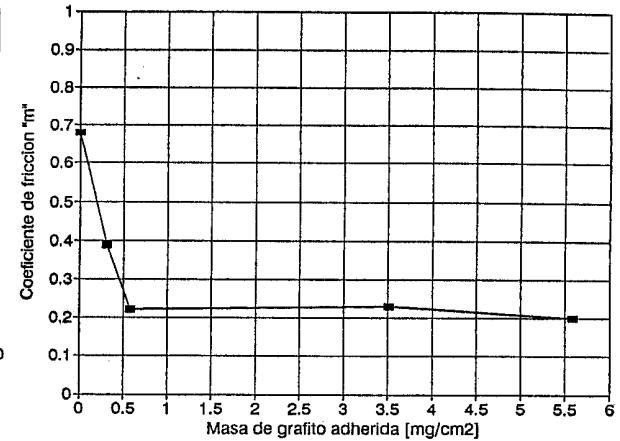


Figura 4

De estas experiencias se desprenden las siguientes conclusiones:

- La influencia de la lubricación es superior a la influencia de la rugosidad del herramiental.
- Para el caso de lubricación media (0.58 mg/cm^2) se observa que la fricción es mínima para rugosidad media (0.6μ). En los otros casos (sin lubricar, y 0.31 mg/cm^2), se observa que la fricción aumenta con la rugosidad.
- En la Figura 4 se observa que las propiedades lubricantes del grafito dejan de mejorar abruptamente a partir de los 0.58 mg/cm^2 . La aplicación de una mayor cantidad de lubricante no disminuye el coeficiente de fricción. Este valor es importante para la definición de standards industriales de lubricación, y es un valor de referencia para el cálculo de la configuración de los picos aplicadores según ref. 3.

Estudio de sensibilidad del ensayo:

Tamaño de probeta: Se realizaron ensayos con dos tamaños de probeta (19 y 12 mm de diámetro externo). Para los ensayos efectuados se observó que la determinación de la fricción no se ve afectada por el tamaño del anillo. En la Figura 5 se presentan los resultados de estas experiencias.

Velocidad de deformación: Para las condiciones ensayadas se observó que la determinación de la fricción es independiente de la velocidad de deformación, coincidentemente con ref. 4. En la Figura 6 se presentan los resultados de los ensayos efectuados.

Die Chilling: Este fenómeno sucede solamente en las experiencias en caliente. Consiste en el enfriamiento súbito de la superficie del anillo al tomar contacto el herramiental a una temperatura sensiblemente inferior. La tensión de fluencia del material en esta superficie aumenta sensiblemente. De esta

manera no se cumple la hipótesis de homogeneidad del material, y se dificulta la expansión del diámetro exterior del anillo. El espesor de esta capa superficial dependerá del tiempo de contacto entre la pieza y el herramiental, y de las propiedades de transferencia térmica de la interfase. Para los tiempos de contacto y lubricante usados en las experiencias, la influencia del die chilling resultó despreciable, tal como se observa en la macrografía de la Figura 7. En los casos, en los que este efecto es influyente, los valores de fricción obtenidos son mayores a los verdaderos.

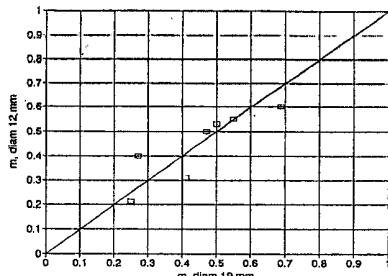


Figura 5
Independencia del
tamaño del anillo

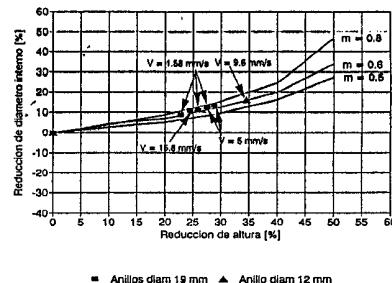


Figura 6
Independencia de la
velocidad de compresión

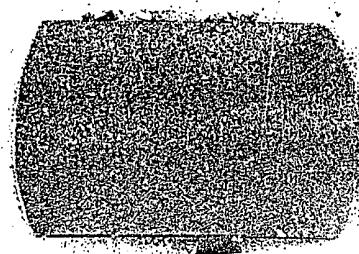


Figura 7
Independencia del
die chilling

Conclusiones:

- Mediante el ensayo de ring compression es posible cuantificar la fricción en procesos de conformado plástico. Para hacer esta determinación no es necesario conocer las propiedades mecánicas del material a conformar.
- Se determinó la fricción entre acero AISI H13 y acero de bajo carbono para diferentes condiciones de lubricación y rugosidad superficial. Se observó que para una lubricación correcta la fricción presenta un mínimo para una rugosidad de 0.6μ . Para este valor de rugosidad también se observó que la fricción deja de disminuir para cantidades de lubricante superiores a los 0.6 mg/cm^2 .
- Para las condiciones en que se efectuaron los ensayos, la medición de la fricción resultó independiente del tamaño de la probeta, de la velocidad y cantidad de deformación, y del die chilling.

Referencias:

1. Schey; Tribology in Metalworking; ASM 1983
2. Lundberg, Waldén; Evaluation of Friction under Hot Working Conditions in a High Temperature Test Rig; Steel Research 63 (1992) No. 7.
3. P. Mendez, I. Odriozola, R. Herrera; Mecanismos Físicos de la Aplicación de Lubricantes Sólidos; XVII Jornadas Metalúrgicas de la SAM, Abril 1993.
4. O. Pawelski, W. Rasp, C. Hoerster; The Ring Compression Test as Simulation Test for the Investigation of Friction in Hot Metal Forming.
5. V. De Pierre, F. Gurney, A. T. Male; Mathematical Calibration of the Ring Test with Bulge Formation. AFML-TR-7237 (1972)
6. B. Avitzur; Metal Forming: Processes and Analysis; McGraw Hill, (1968)