

6.- Conclusiones

6.1.- CONCLUSIONES FINALES

De acuerdo con los resultados y discusiones realizadas, podemos concluir que:

6.1.1.- Puesto que se trata de ensayos a compresión uniaxial de polvos en caliente, no se va a distinguir la etapa final de la termofluencia características de los ensayos a tracción; no hay fractura final.

6.1.2.- La utilización de una célula de carga de 10000 kgf, afecta al rizado de las curvas de deformación ingenieril para cargas bajas, debido a la poca sensibilidad de la célula para cargas menores de 1000 kgf, por esta razón y para los ensayos de 3 MPa, es necesaria la utilización de una célula de carga de 3000 kgf. Esto debe ser tenido en cuenta para futuros ensayos.

Para ensayos de 5 MPa en adelante, el rizado producido por las células de 10000 y 3000 kgf es similar, por lo que no se hace necesario el cambio de célula de carga a partir de esas presiones.

6.1.3.- Un valor alto de la velocidad de subida del bastidor inferior puede excedernos de la carga consigna y provocar fluctuaciones. El valor considerado idóneo es de una velocidad de subida de 0.1, 0.2, 0.3 y 0.4 mm/min para cada una de las presiones de trabajo, de menor a mayor respectivamente, para fijar el tiempo de transición entre 2000 y 3000 segundos, e incluso menos para los ensayos a mayor temperatura.

6.1.4.- La duración del ensayo es de 5 horas, no pudiéndose extender a más de 6 horas, por limitaciones de la máquina, según el fabricante.

6.1.5.- La línea de tendencia logarítmica para la deformación ingenieril se reveló inadecuada para ensayos anteriores. Por esta razón en el presente proyecto se ha utilizado una curva de suavizado de la deformación diferente y que ha dado mejor resultado en el ajuste, sobre todo en el instante en el que en el ensayo de compresión la carga comienza a hacerse constante y el valor de la deformación cambia con rapidez. En estos instantes, la curva logarítmica no es capaz de adaptarse a la curvatura con la precisión deseada. Esto provocaba que los ajustes realizados hasta ahora ajustaran un intervalo de tiempo mucho menor (en algunos casos incluso un 30% menor), y solo reflejaban los instantes en los que la velocidad de deformación era baja.

Las curvas utilizadas en este proyecto son capaces de reproducir todo el proceso desde el inicio del fenómeno de la termofluencia. No obstante, son curvas matemáticamente más costosas de ajustar (ajuste de tres parámetros mediante aplicación Solver de Excel), con lo que se hizo necesaria una criba previa de los datos de la máquina tomando solo uno de cada diez puntos. Esta criba, sin embargo, no provoca una pérdida sensible de información, puesto que aún así el número de puntos para realizar el ajuste es más que suficiente.

También se probaron varios tipos de curvas de ajuste, presentes asimismo en las hojas de suavizado que se entregan en el CD adjunto. Estas curvas, que se mostraron válidas para el ajuste en algunos ensayos, no fueron, en unos casos, capaces de ajustar en todo el rango de presiones y temperaturas las curvas de velocidad de deformación, y en otros casos producían a veces una convergencia en el ajuste hacia curvas diferentes a las que son objeto de estudio.

La curva polinómica de diez parámetros es la que, aparte de la utilizada en el presente proyecto, proporcionó mejores resultados. Sin embargo, tanto la dificultad de ajuste (diez parámetros) como el menor significado físico de la propia curva, aconsejaron el uso de la expresión utilizada.

6.1.6.- Los valores de la velocidad de deformación son muy pequeños, del orden de 10^{-6} , similares para los tres materiales estudiados. Sin embargo, el rango de porosidades cambia bastante entre el aluminio por un lado y el estaño y el plomo por otro. Esto puede deberse a la diferencia entre las propiedades de los materiales por un lado y a que para el aluminio se han empleado presiones mucho mayores que para el estaño y el plomo.

6.1.7.- Las curvas de velocidad de deformación frente a la porosidad relativa para el estaño y el plomo presentan más curvatura que las del aluminio, es decir, la disminución de la velocidad de deformación con la porosidad es más rápida en el estaño y en el plomo que en el aluminio.

6.1.8.- No se observa una tendencia clara en el comportamiento de la velocidad de deformación con la temperatura (gráficas comparativas) para los parámetros A , α y β en las tres ecuaciones de ajuste propuestas. En ensayos anteriores se observaron grandes disparidades en los parámetros de ajuste y no se pudo concluir ninguna tendencia de comportamiento de dichos parámetros con la presión y la temperatura. Se pensó entonces que esto podía deberse a la dependencia de la energía de activación con la temperatura, por lo que para nuestros ajustes se fijó el parámetro Q_c para evitar la disparidad de valores para diferentes temperaturas y presiones.

Como conclusión podemos decir que se ha producido una mejora notable en los ajustes, además de encontrar ciertas tendencias con la presión y la temperatura (sobre todo en los valores del parámetro n), fundamentalmente para el estaño y el plomo, mientras que para el aluminio no se ha podido establecer de manera clara la relación de los parámetros con temperatura y presión. Además, aparece una gran dispersión para los tres materiales en los valores de A en las tres ecuaciones de ajuste. Los valores obtenidos para este parámetro hacen que los ajustes sean matemáticamente muy cercanos a la curva del ensayo, pero no proporcionan valores coherentes, puesto que se producen unos saltos grandes en

el orden de magnitud.

6.1.9.- Las temperaturas de trabajo en los ensayos del estaño y el plomo, en relación a su temperatura de fusión, son superiores a las empleadas con el aluminio. Para el estaño se ha trabajado a $T > 0.6 T_f$ y en el aluminio a $T < 0.6 T_f$, lo cual implica que, los futuros ensayos deben realizarse a temperaturas mayores de $0.6 T_f$.

6.1.10.- En cuanto a la expresión más adecuada de las propuestas, no se puede concluir que exista una que proporcione mejor resultado que las otras dos. Las tres expresiones presentan prácticamente la misma bondad en el ajuste, entendiéndose por esto la cercanía del parámetro R^2 a 1.

En un principio era de esperar que la tercera de las ecuaciones propuestas nos condujera a un mejor ajuste, puesto que posee cuatro parámetros, por lo que se supone que es capaz de adaptarse con mayor exactitud a la curva de origen. Sin embargo, las tres curvas se han ajustado con la precisión requerida a las curvas originales.

6.1.11.- Se han realizado todos los suavizados de las curvas de deformación y cálculos posteriores en base a la porosidad, no a la porosidad relativa. Esto es así puesto que uno de los parámetros de ajuste es la porosidad de golpeo, θ_M , no pudiendo entonces asignar un valor fijo a la porosidad relativa.

Los valores obtenidos para θ_M son bastante estables y se acercan razonablemente a los valores teóricos.