

Capítulo 6. Conclusiones y trabajo futuro

A continuación se resumen las principales conclusiones obtenidas en el presente trabajo. También se indican posibles vías a seguir en futuros desarrollos basados en el presente trabajo.

1. Conclusiones

En el presente proyecto se ha analizado el efecto de la tensión fuera de plano en el conformado de chapa metálica. El análisis se ha realizado mediante el modelado por elementos finitos de los ensayos con el software Abaqus/Standard (método implícito).

El material escogido ha sido la aleación de aluminio 7075-O, de amplio uso en la industria aeronáutica. Se ha definido con un comportamiento elastoplástico con endurecimiento (según ley de tipo Voce) y con el criterio de plastificación de Hill. Se han construido los elementos del modelo de ensayo partiendo de las descripciones de la norma ISO 12004-2:2008. Por su parte los datos del material se han tomado de caracterizaciones experimentales d la bibliografía.

Inicialmente se realizaron ensayos Nakazima para determinar la curva FLSC del material, apoyándonos de las curvas experimentales de la bibliografía. Con ella se ha predicho el inicio de la estricción para los siguientes ensayos llevados a cabo. Estos han consistido en varios ensayos con dos punzones cilíndricos de diferente diámetro (10 y 3 mm) en los que se les ha aplicado una presión en una estrecha franja de la cara exterior de la probeta. Dicha presión se ha aplicado con vistas a generar una tensión fuera de plano (σ_3) y poder evaluar su efecto por separado de la flexión en la conformabilidad del material.

Con dichos ensayos se ha conseguido un modelo de elementos finitos que describe y predice satisfactoriamente el fallo de la chapa, particularizado para el material en estudio.

Una de las primeras conclusiones que se puede extraer es que a menor tamaño del punzón mayor es la conformabilidad de la chapa. Se trata de algo coherente y ya comentado ampliamente en la bibliografía, siendo el resultado del efecto beneficio o estabilizador de la flexión (Stoughton, 2003).

Del análisis de las diferentes distancias críticas puede extraerse que esta apenas influye. En la mayoría de los casos, la diferencia de deformación principal máxima se encuentra comprendida en el 1% y sólo para el caso del punzón de 3 mm con la mayor presión se tiene una variación del 3%. Esto puede deberse al perfil prácticamente plano de las tensiones en el espesor en el momento del inicio de la estricción, resultando prácticamente indiferente la distancia crítica que se escoja.

Por otro lado, puede decirse que el uso de la curva FLSC para prever el inicio de la estricción es consistente y no está falto de sensibilidad, sistemáticamente los resultados obtenidos concuerdan para diferentes ensayos con distintos punzones, presiones e, incluso, fricción.

Respecto a la fricción, de la comparativa entre ensayos con y sin ella, las tendencias mostradas en los primeros se mantienen en los segundos aunque con menores valores de conformabilidad.

Finalmente, la conclusión más importante, y sorprendente, del presente trabajo es que la conformabilidad disminuye con la presión aplicada. La bibliografía consultada sobre el efecto de la tensión fuera de plano muestra resultados en el sentido contrario, la conformabilidad aumenta con la tensión fuera de plano. Es cierto que para las condiciones de deformación plana, que son las que se han tenido en los ensayos presentados, la variación era mínima y que se necesitaban importantes presiones para conseguir incrementos de conformabilidad significativos. Sin embargo, la tendencia observada es consistente para todas las variaciones estudiadas: diferentes punzones, distancias críticas y fricción. Como se ha comentado previamente, el hecho de que la zona de contacto aumente conforme la probeta se va deformando hace que el gradiente de tensión σ_3 en el espesor cambie. Así el efecto generador de tensión σ_3 de la presión se diluye conforme el ensayo evoluciona. Esto último unido a que al introducir la presión se genera no sólo tensión σ_3 si no también σ_1 , dan lugar a efectos contrapuestos que podrían explicar la discrepancia con los resultados de investigaciones previas.

Una posibilidad que se plantea al comprobar el gradiente de tensiones, entendido como la diferencia de tensiones entre la cara exterior y la interior, en los diferentes ensayos y como en estos se tienen valores aproximadamente constantes en el momento del inicio de la estricción, independientemente de la evolución previa; es que quizás el mecanismo que influye en el incremento de la conformabilidad no sea el valor de σ_3 sino el de su gradiente en el espesor. Se trata de una posibilidad a estudiar como trabajo futuro.

2. Trabajo futuro

A continuación se presentan algunas vías de mejora para el desarrollo futuro del presente trabajo:

- 1) Contrastar los resultados de los ensayos por elementos finitos con presión a ensayos reales. Esto podría realizarse con un montaje experimental que usase algún tipo de membrana de hidroconformado que permita aplicar una presión constante en la cara libre durante toda la duración del ensayo y que sea capaz de deformarse con la probeta.
- 2) Evaluar otros materiales, aluminios y aceros de interés en la industria, y comprobar si las tendencias se correlacionan.
- 3) Evaluar en otros estados de deformación. En particular, otros estados diferentes a deformación plana, con objeto de completar el efecto que tendría la tensión fuera del plano en la curva FLD. Existe la posibilidad de que en unos estados sea favorable a la conformabilidad y a otros no. La curva no sólo puede desplazarse en el espacio de las deformaciones, sino que también podría cambiar de forma.
- 4) Sería interesante sustituir el modelo de plastificación de Hill por uno más completo como puede ser el modelo de Barlat, de resultados contratados en el modelado de chapas de aluminio.
- 5) Otra posible vía de actuación sería el desarrollo de un modelo de elementos finitos en el que se pudiera controlar con gran precisión la evolución de σ_3 y su gradiente durante el mismo. No necesariamente tendría que ser realizable físicamente, sino que serviría para realizar un análisis conceptual del efecto de la tensión fuera de plano. De este modo se podría estudiar si el incremento de conformabilidad está relacionado con el valor de σ_3 sino el de su gradiente en el espesor de la chapa.