

7 Conclusiones y desarrollos futuros

En este trabajo se han presentado una serie de metodologías experimentales existentes en la literatura para la estimación de los límites de conformado, optimizadas fundamentalmente para ensayos sin influencia apreciable de la flexión. Por otro lado, se han propuesto dos nuevos métodos, uno temporal y otro temporal-espacial, para la detección del inicio de la estricción y obtención de las deformaciones límite, siendo éstos aplicables, además, a situaciones en las que existe un fuerte gradiente de deformación a lo largo de la chapa y a través del espesor.

La capacidad de las distintas metodologías para detectar la inestabilidad plástica se ha analizado mediante la realización de una serie de ensayos experimentales de estirado y estirado con flexión sobre aluminio 7075-0 de 1,6mm de espesor. A raíz de los resultados de dichos experimentos, se han puesto de manifiesto las siguientes conclusiones:

- ✚ El método propuesto recientemente por la normativa ISO 12004-2:2008 es ineficiente para determinar de forma fiable las deformaciones límite cuando la flexión juega un papel relevante. Dicha metodología se comporta adecuadamente únicamente en ensayos en los que el gradiente de deformación es despreciable, p.e. ensayos Nakajima.
- ✚ El criterio de Situ y el de Situ modificado sobreestiman los valores límite de conformado en ensayos con y sin influencia apreciable de la flexión, quedando del lado de la inseguridad en todos los casos.
- ✚ El criterio desarrollado por Kitting et al., orientado inicialmente a ensayos de estirado con flexión, es incapaz de reproducir correctamente los límites de conformado a medida que los efectos de la flexión se hacen más severos, arrojando resultados inconsistentes.
- ✚ Por otro lado, se ha comprobado experimentalmente que la nueva metodología temporal propuesta, basada en la descripción física de la estricción, es apropiada para la correcta detección del inicio de la estricción tanto en los ensayos tipo Nakajima como en los ensayos en los que existe un severo gradiente de deformación.

- ✚ Adicionalmente, se ha propuesto otra metodología, Método del Valle, basada en la evolución temporal – espacial de la geometría exterior de las probetas, para detectar la estricción. El método del valle es capaz, igualmente, de reproducir adecuadamente el proceso de localización de la deformación y la estimación de los límites de conformado en situaciones más generales, p.e. ensayos de estirado con flexión.

Dichas metodologías propuestas proporcionan una línea de trabajo prometedora para estimar de forma fiable las curvas límites de conformado por estricción (CLCE), tanto para grandes como pequeños radios de curvatura.

En un futuro han de seguir realizándose trabajos experimentales a fin de comprobar la consistencia y capacidad de las dos metodologías propuestas para detectar el inicio de la estricción en situaciones más generales, como por ejemplo:

- ✚ Análisis de nuevos caminos de deformación en ensayos de estirado con flexión (en todo el rango de β).
- ✚ Uso de punzones cilíndricos y hemiesféricos de radios más pequeños.
- ✚ Ensayos con punzones de doble curvatura, p.e. elipsoides ó toroidales.
- ✚ Consideración de nuevos materiales, por ejemplo los emergentes aceros de alta resistencia de varias fases AHSS (Advanced High Strength Steel).
- ✚ Realización de ensayos interrumpidos y a rotura con punzones hemiesféricos y cilíndricos de distintos radios para validar y ajustar los parámetros de las metodologías propuestas. Con dichos ensayos interrumpidos se pretende visualizar y analizar el comienzo de la estricción en la cara externa y como y cuando ésta progresa hacia la cara cóncava para hacer inestable la sección completa.
- ✚ Análisis de la microestructura en los distintos ensayos interrumpidos.
- ✚ Estimación de las superficies límites de conformado (SLC) para distintos materiales en función de la severidad del gradiente, cuantificado a través de la relación t / R .

Por otro lado, y dado que la finalidad última es proporcionar un modelo apropiado que describa y prediga satisfactoriamente el fallo en procesos de conformado de chapa bajo condiciones de tracción-flexión, ha de realizarse paralelamente un estudio teórico y numérico. La formulación analítica se planteará en términos simplificados, es decir, modelos de comportamiento plástico sencillos, relaciones de plegado moderadas pero a la vez se incluirán factores clave en la

misma, como por ejemplo las técnicas de distancias críticas, etc...Dicho análisis teórico-analítico se está desarrollando actualmente en el área al que pertenezco. Por otro lado, se debe desarrollar un modelo numérico empleando el método de los elementos finitos para la validación final tanto de los criterios analíticos como experimentales desarrollados para la detección del comienzo de la estricción y consecuentemente del fallo de chapa. En dicho modelo numérico se permitirá simular de forma más realista los ensayos experimentales y abordar situaciones más complejas en cuanto a geometrías, comportamientos de material, condiciones de contacto con los útiles, etc...

