

3 Metodología ISO 12004-2:2008

Recientemente, se ha publicado una revisión de la norma ISO 12004-2:2008, “Metallic materials – Sheet and strip – Determination of forming limit curves in laboratory”. El objetivo de dicha revisión era definir unas condiciones unificadas para los ensayos y un procedimiento de evaluación normalizado, a fin de reducir la gran dispersión en la obtención de las FLC en distintos laboratorios (Fig. 3-1). Dicho procedimiento establece una metodología basada en el análisis espacial (position-dependent methodology) de la distribución de deformación en secciones perpendiculares a la zona de fallo justo en el instante anterior a la aparición de la grieta. ISO 12004-2:2008 es un método objetivo para la obtención de las CLC, estando enfocado a ensayos tipo Nakajima o Marciniak (Fig. 3-2). Sin embargo, la principal limitación es que los efectos de la flexión no se han tenido en cuenta en el diseño de la metodología y su extrapolación a casos con un severo gradiente de deformación en el espesor arroja resultados erróneos. Un análisis detallado de la metodología ISO 12004-2:2008 puede encontrarse en Hotz and Timm (2008).

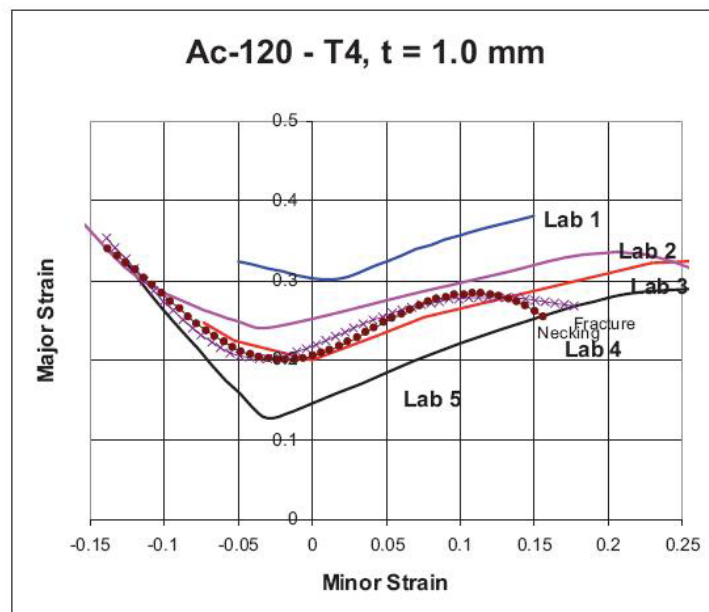


Fig. 3-1: Muestra de la dispersión existente en la determinación de DLC de un mismo material en distintos laboratorios (Hotz et al., 2008)

El campo de aplicación de la citada normativa comprende ensayos a temperatura ambiente sobre chapas planas metálicas de entre 0,3mm hasta 4mm y sometidas a cargas proporcionales. En caso de chapas de acero, está limitada a un espesor máximo de 2,5mm.

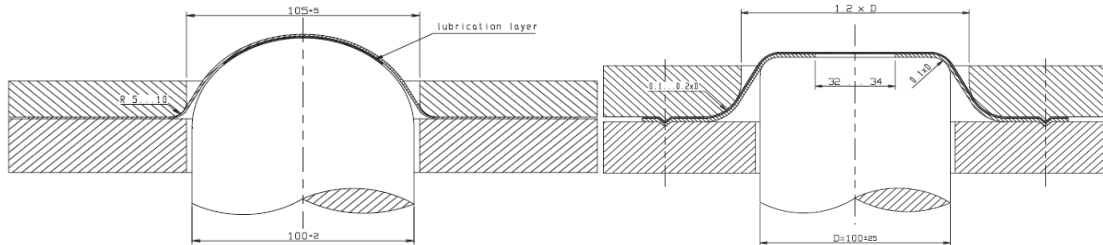


Fig. 3-2: Montaje de ensayos tipo Nakajima (izqda) y Marciniak (dcha)

ISO 12004-2:2008 estandariza las geometrías de los punzones, las condiciones de los ensayos, geometría de los especímenes, direcciones de los ensayos, número de probetas, criterios de aceptación/rechazo del ensayo, velocidad del punzón, sistemas de lubricación, criterio de finalización del ensayo, sistemas de medición de deformaciones, y finalmente un criterio objetivo para evaluar las deformaciones límite y la obtención de los diagramas límite de conformado. A continuación, a modo ilustrativo, se detallan algunos de los parámetros establecidos por ISO12004-2:2008 para la realización de los ensayos Nakajima o Marciniak. (Fig.3-3).

General			
Punch/ die material	—	—	Hardened steel
Punch surface	—	μm	polished
Punch velocity	v_P	mm/s	$1,5 \pm 0,5$
Blankholder force	F_{BH}	kN	Drawing-in has to be prevented as much as possible
Tribological system	—	—	grease/ foil/ grease
Testing temperature	T	°C	23 ± 5
Testing direction	—	—	longitudinal (Al) transverse (steel)
Test stop criterion	—	—	crack occurrence
Nakajima			
Punch diameter	d_P	mm	100^{+2}
Die diameter	D_{Die}	mm	105^{+5}
Die radius	r_{Die}	mm	5 ... 10
Marciniak			
Punch diameter	d_P	mm	100 ± 25
Punch radius	r_P	mm	$0.1 \times d_P$
Die diameter	D_{Die}	mm	$1.2 \times d_P$

Fig. 3-3: Dimensiones de punzones, matrices y parámetros en ensayos Nakajima y Marciniak según ISO 12004-2:2008

Igualmente, a fin de reproducir varios caminos de deformación para generar el DLC desde la zona de tracción pura a biaxial equilibrada, se presentan esquemas de algunas de las geometrías propuestas para las probetas (Fig. 3-4), si bien es cierto que la fase de diseño de las mismas es, en general, muy laboriosa.

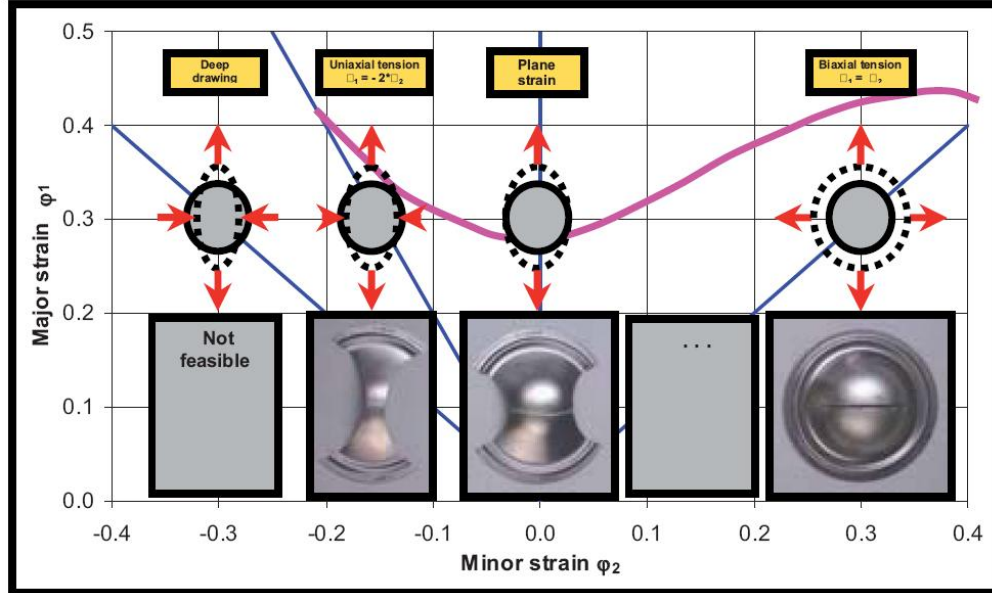


Fig. 3-4: Ejemplos de geometrías de probetas para cada camino de deformación (Hotz et al., 2008)

Como se ha indicado anteriormente, el nuevo método ISO 12004-2:2008 se basa en el análisis de la distribución de deformación ϵ_1 , medida a lo largo de una sección perpendicular a la zona de fractura (position-dependent method) justo en el instante anterior a la aparición de la misma (Fig. 3-5).

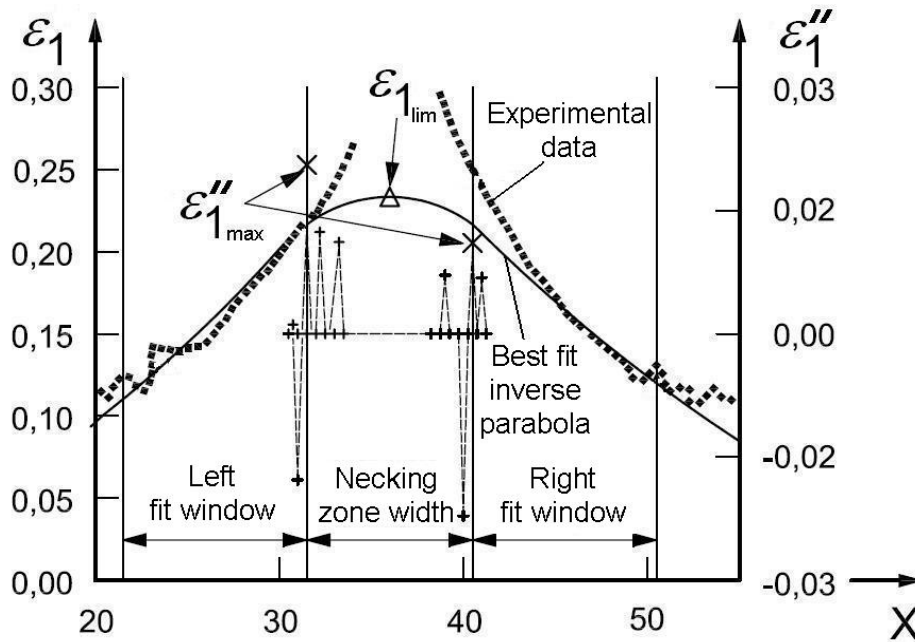


Fig. 3-5: Aplicación de la metodología ISO 12004-2:2008

A partir de esa información, la metodología propuesta por ISO para la determinación de las deformaciones límite se articula en 5 pasos:

- ✚ Definición de la posición de la grieta. A tal fin, ha de realizarse un ajuste parabólico. El rango de puntos para tal ajuste está centrado en el valor más alto de ε_1 a lo largo de la sección considerada y se extiende un ancho de 4mm hacia cada lado. El máximo de la parábola ajustada en ese rango de puntos define la posición X de la grieta.
- ✚ Determinación del ancho de la zona de estricción (límites interiores). Se evalúa la segunda derivada espacial, filtrada y sin filtrar, a cada lado de la fractura (Fig. 3-5). Los dos máximos locales, uno a cada lado de la grieta, determina la región donde se ha desarrollado la estricción. Se entiende que los puntos fuera de esa zona dejan de deformarse durante el proceso de localización, mientras que los puntos interiores siguen haciéndolo hasta la fractura.
- ✚ Obtención de los límites exteriores para el ajuste. Las regiones existentes entre los límites interiores y exteriores, a cada lado de la posición de la grieta, se conocen como ventanas de ajuste (Fig. 3-5). El ancho de dichas ventanas, viene dado por la expresión $w = 10(1 + \bar{\varepsilon}_2 / \bar{\varepsilon}_1)$, donde $\bar{\varepsilon}_1$ y $\bar{\varepsilon}_2$ son los valores medios de la deformación principal máxima y mínima en los límites interiores.
- ✚ Determinación de la deformación principal máxima límite $\varepsilon_{1,lim}$. Los puntos que están dentro de la zona de estricción son eliminados, y la distribución de deformación ε_1 que existía en esa zona un instante antes del inicio de la estricción se reconstruye mediante el ajuste de una parábola inversa sobre las ventanas de ajuste anteriormente definidas (Fig. 3-5). El valor de deformación de la parábola inversa en la posición de la grieta se considera la deformación límite $\varepsilon_{1,lim}$ para la sección considerada.
- ✚ Finalmente, obtención de la deformación en el espesor límite $\varepsilon_{3,lim}$ y la principal mínima límite $\varepsilon_{2,lim}$. Haciendo uso de las mismas ventanas de ajuste, $\varepsilon_{3,lim}$ se obtiene realizando el mismo proceso de ajuste que en el punto 4, pero usando en este caso la distribución de la deformación en el espesor ε_3 . El valor de $\varepsilon_{2,lim}$ se estima aplicando el principio de conservación de volumen.

Según la metodología propuesta por ISO 12004-2:2008, los pasos 1 a 5 han de repetirse para dos secciones adicionales, una a la izquierda y otra a la derecha de la sección inicial considerada. La distancia entre secciones debe ser aproximadamente 2mm. El valor medio de los obtenidos en las tres secciones define la deformación límite representativa de la probeta ensayada.

Esta metodología está enfocada a ensayos tipo Marciniak y Nakajima, en los cuales los efectos de la flexión son insignificantes. De hecho, el ancho de la zona de estricción y el tamaño de las ventanas de ajuste están optimizados para esos casos. Uno de los aspectos más débiles del método radica precisamente en la forma de obtención de los límites exteriores o ventanas de ajuste. Se basa únicamente en la ruta de deformación por la que evoluciona el proceso, asignando ventanas de ajuste más estrechas en ensayos bajo condiciones de tracción pura y creciendo éstas a medida que nos movemos hacia condiciones de tracción biaxial equilibrada. En ningún momento se considera para su determinación ni la severidad del gradiente de deformación en el espesor ni la zona de influencia donde ésta se localiza, siendo esto la limitación fundamental para la aplicabilidad de la citada metodología a casos con flexión. Por ello, una extrapolación directa de la presente metodología a situaciones en las que el gradiente de deformación a través del espesor es relevante, p.e. punzones cilíndricos con radios pequeños, puede arrojar y arroja resultados poco precisos e inconsistentes.

En Fig. 3-6 se esquematiza el diagrama de flujo propuesto por ISO 12004-2:2008 para la aplicación de la metodología presentada:

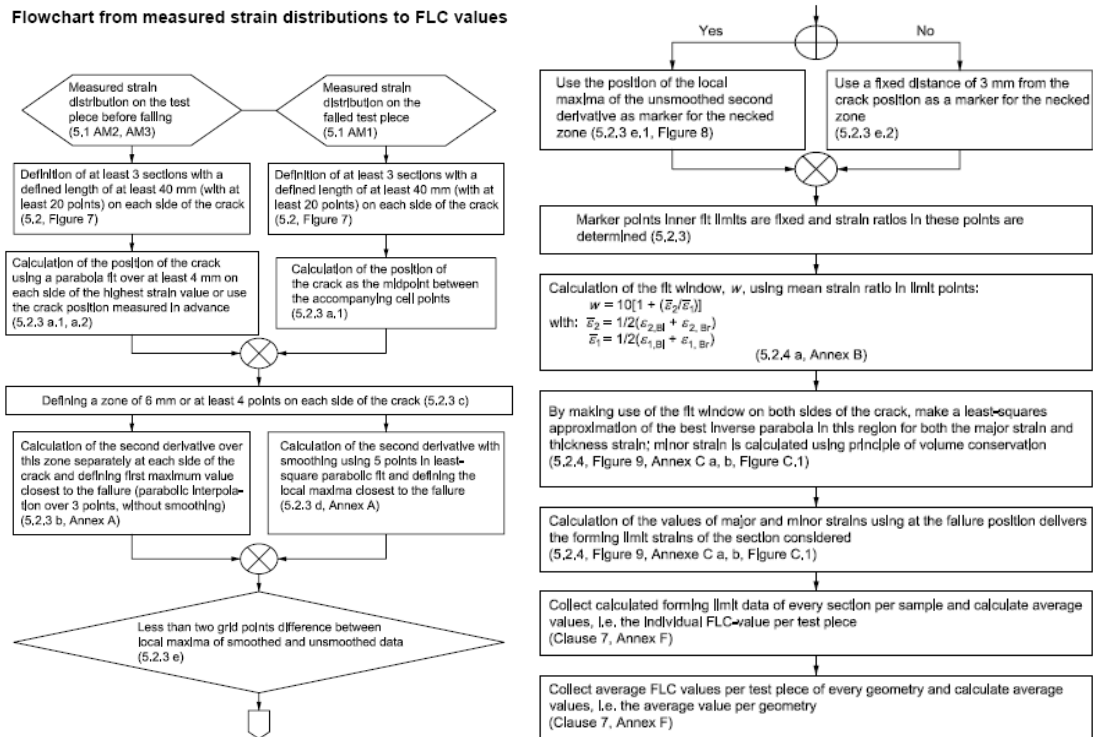


Fig. 3-6 Diagrama de flujo para aplicación de ISO 12004-2:2008

