

### 3. Análisis de fatiga mediante el enfoque de la tensión estructural de punto caliente

#### 3.1 Campo de aplicación

Se aplica a uniones soldadas para las cuales:

- La tensión principal de fatiga actúa predominantemente transversal al borde de la soldadura
- El lugar de iniciación de la grieta a fatiga es el borde de la soldadura

Haciendo referencia a la Fig.3.1.1, el enfoque de punto caliente es aplicable a los casos desde a) hasta e). Por razones que se discutirán más adelante, es necesario hacer distinción entre uniones en las que se transmite carga a través de la soldadura (completa o parcial) (casos a, c, h) y uniones en las que no se transmite carga (caso b)). Los casos d), e) y j) son tratados como no transmisores de carga. Si hay alguna duda sobre cómo clasificar la unión deberá ser tratada como transmisora de carga.

Este enfoque no es aplicable a casos en los que la grieta crece desde la raíz de la soldadura y se propaga a través de la garganta de la soldadura (casos f) a i)). Tampoco en los casos de soldaduras continuas sometidas a carga longitudinal. El enfoque de la tensión nominal será suficiente en estos casos.

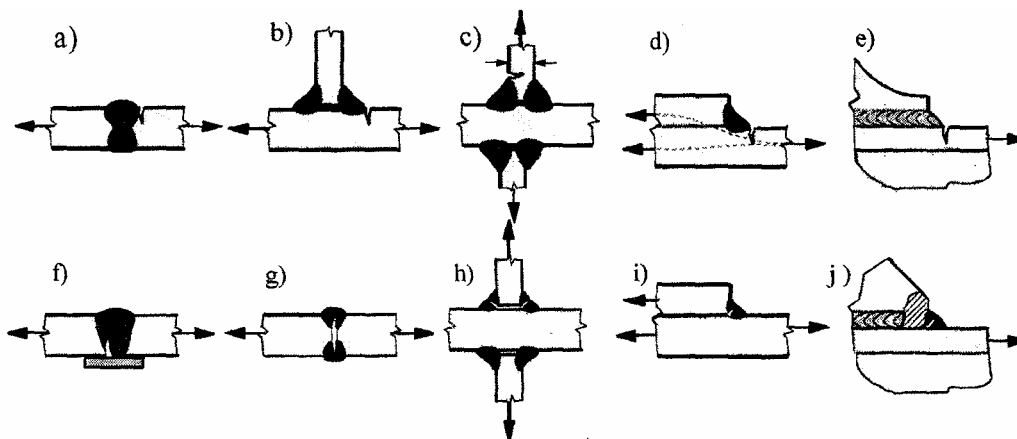


Fig.3.1.1. (Niemi, 2006)

El detalle soldado bajo estudio generalmente se encontrará bajo un campo biaxial de tensiones. En tales casos es suficiente aplicar el enfoque de la tensión estructural sobre la tensión principal que actúa perpendicularmente (entre 30° y 90°) al borde de la soldadura. Si fuera necesario, la otra tensión principal podría ser considerada usando la categoría de de fatiga para soldaduras bajo carga longitudinal en el enfoque de la tensión nominal según Hobbacher (1996).

#### 3.2 Tipos de punto caliente

Los puntos calientes pueden clasificarse en tres tipos, como se muestra en la Fig. 3.2.1, y se usarán métodos diferentes para su cálculo:

- Tipo 'a' : El borde de la soldadura está en la superficie de la chapa base y en el lateral de la chapa soldada (ver también Fig.3.1.1 a)-d)).
- Tipo 'b' : El borde de la soldadura está en el extremo y en el lateral de la chapa soldada (ver también Fig.3.2.2).
- Tipo 'c' : El borde de la soldadura está en la superficie de cualquiera de las chapas en un punto a lo largo del cordón de soldadura. Se considerará el que esté bajo una mayor tensión de entre  $c_1$  y  $c_2$ .

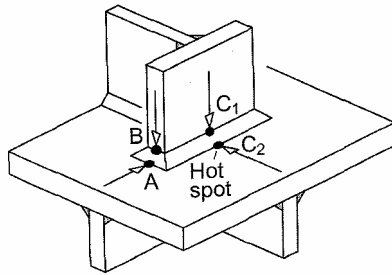


Fig.3.2.1 (Radaj, 1998)

Cabe señalar que varios autores (por ejemplo, Niemi) no hacen distinción entre los tipos a y c, es decir, clasifican los PC sólo en tipos a y b. Así, los comentarios relativos a los PC tipo a, pueden hacerse extensibles a los PC tipo c. La Fig 3.2.2 muestra varios detalles soldados con soldaduras tipo 'b'.

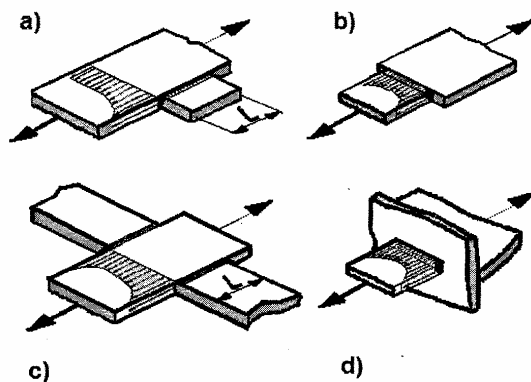


Fig.3.2.2 (Niemi, 2006)

### 3.3. Definición de tensión estructural en un punto caliente tipo 'a'.

El punto caliente es la localización crítica en el borde de la soldadura donde se espera el inicio de la grieta a fatiga. El enfoque de la tensión estructural está basado en el rango de la tensión estructural en el punto caliente.

En muchos casos prácticos la mayor tensión principal actúa aproximadamente perpendicular a la soldadura. Así, se usa directamente para establecer la tensión de punto caliente. De una forma más general, la tensión estructural de punto caliente,  $\sigma_{hs}$ , se define de la siguiente manera:

- La mayor tensión principal en el borde de la soldadura si su dirección está entre  $\pm 60^\circ$  de la dirección normal al propio borde de la soldadura.(Fig 3.3.1 a)
- Si la dirección de la mayor tensión principal está fuera de los límites anteriores, será la de mayor rango de entre la componente de tensión en el borde de la soldadura normal a éste,  $\sigma_\perp$ , y la menor tensión principal en el borde de la soldadura,  $\sigma_2$ .(Fig.3.3.1 b)

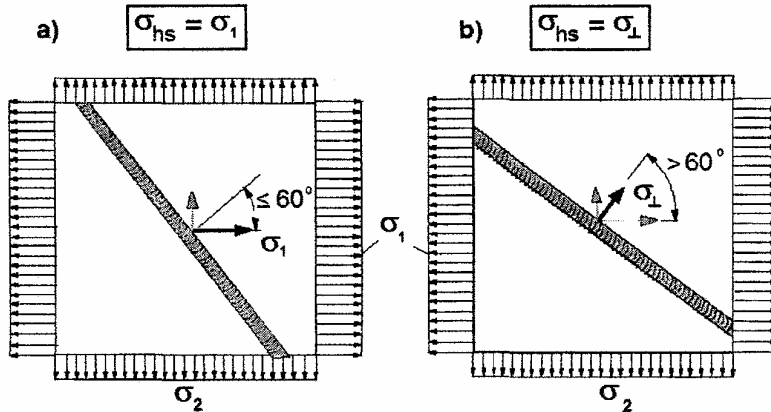


Fig.3.3.1 (Niemi, 2006)

En caso de duda, especialmente cuando las direcciones de las tensiones principales cambian durante el ciclo de carga, debe aplicarse un factor de carga parcial,  $\gamma_F$ , convenientemente incrementado según Hobbacher (1996).

La idea básica del enfoque de la tensión de punto caliente es separar el pico no lineal de la tensión de entalla de la tensión estructural (compuesta por las componentes lineales de membrana,  $\sigma_m$  y de flexión,  $\sigma_b$ ) porque al diseñar no puede saberse por adelantado la geometría local del borde de la soldadura. El efecto de entalla está implícitamente incluido en la curva S-N determinada experimentalmente. Por tanto, sólo las componentes lineales de membrana,  $\sigma_m$  y de flexión,  $\sigma_b$  están incluidas en la tensión estructural.

En ocasiones se ha discutido sobre si la tensión de punto caliente (TPC) es una cantidad arbitraria o poco definida, incluso un valor ficticio. Sin embargo, de acuerdo con la definición anterior, es una cantidad inequívoca, al menos para los puntos calientes tipo 'a'. Siempre que la distribución de tensiones no lineal sea conocida (distribución de tensiones local), las componentes de membrana y de flexión pueden ser calculadas. Si no se conoce, la TPC puede estimarse por extrapolación de la distribución de tensiones al aproximarse al punto caliente.

### 3.4 Uso de los factores de concentración de tensiones.

#### a) Tensión nominal modificada, $\sigma_{nm}$ .

El efecto local de incremento de tensiones debido a características geométricas tales como discontinuidades estructurales o desalineamiento pueden ser tenido en cuenta mediante el uso de los factores de concentración de tensiones (FCT) adecuados aplicados a las tensiones nominales. Se obtiene así en estas regiones la tensión nominal

modificada,  $\sigma_{nm}$ . En algunos casos, el incremento en la tensión nominal es debido a tensiones de flexión secundarias. Tales casos no están incluidos en el catálogo de detalles clasificados en las reglas convencionales de diseño a fatiga basadas en el uso de tensiones nominales.

**b) Factor de concentración de tensiones estructural (FCTE),  $K_s$ .**

Se han publicado FCT para muchos tipos de discontinuidades estructurales. En situaciones donde la tensión nominal puede ser calculada fácilmente, pueden ser usadas para estimar la tensión estructural de punto caliente. Sin embargo, deben ser usados con cuidado ya que puede que no cumplan con la definición de tensión estructural que se ha dado en el apartado anterior. Es posible desarrollar FCTE válidos usando AEF y obteniendo una formulación paramétrica. Desafortunadamente, en la literatura sólo están disponibles bajo esta formulación para unos pocos detalles soldados.

En principio, la tensión estructural de punto caliente vendría dada por:

$$\sigma_{hs} = K_s \cdot \sigma_{nm} \quad (3.1)$$

En muchos casos, es razonable utilizar los FCTE para las componentes de membrana y de flexión por separado, obteniendo:

$$\sigma_{hs} = K_{s,m} \cdot \sigma_{nm,m} + K_{s,b} \cdot \sigma_{nm,b} \quad (3.2)$$

Donde  $K_{s,m}$  es el FCTE correspondiente a la componente de membrana (carga axial)

$K_{s,b}$  es el FCTE en el caso de flexión.

$\sigma_{nm,m}$  es la tensión nominal modificada debida a la carga axial

$\sigma_{nm,b}$  es la tensión nominal modificada en el punto de interés debida al momento de flexión

**c) Factor de concentración de tensiones debido al desalineamiento,  $K_m$ .**

En ciertas ocasiones, los resultados de AEF y las medidas de deformación no estén en buen acuerdo. Una razón es que los modelos de EF son una idealización de la geometría de la estructura. En realidad, habrá diferencias con el modelo debidas a la falta de precisión en el proceso de fabricación y las distorsiones creadas por las soldaduras. Por ejemplo, los tipos de desalineamientos mostrados en la figura 3.4.1 producen tensiones tangenciales de flexión secundarias si se aplica una carga axial. Por tanto, en cálculos tensionales, debe tenerse en cuenta siempre en el diseño el tipo y la extensión de los desalineamientos esperados. Sin embargo, es deseable realizar los AEF usando la geometría idealizada, ignorando los posibles desalineamientos debidos al proceso de fabricación. En tal caso, puede usarse un factor de concentración de tensiones,  $K_m$ , para estimar las tensiones nominales modificadas según la siguiente ecuación:

$$\sigma_{nm} = K_m \cdot \sigma_{nm,m} + \sigma_{nm,b} \quad (3.3)$$

Debe señalarse que en algunos casos el comportamiento de uniones con desalineamiento bajo carga es fuertemente no lineal, dependiendo del nivel de carga aplicado. En estos casos, la ecuación debe aplicarse para  $\sigma_{\max}$  y  $\sigma_{\min}$ . Así se obtiene un rango de tensiones modificado. Sin embargo la ecuación puede aplicarse directamente al rango de tensiones y también se podrá cuando  $K_m$  sea independiente del nivel de tensiones.

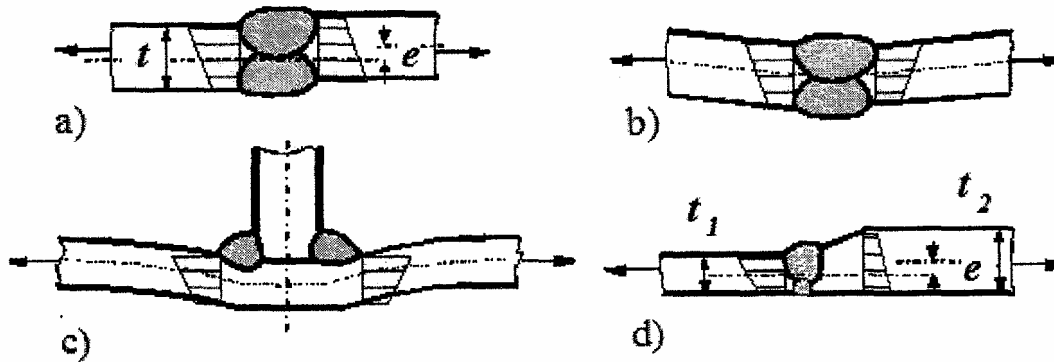
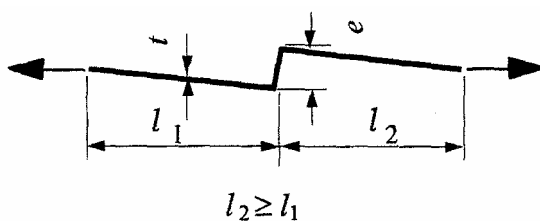


Fig 3.4.1 a) desalineamiento axial, b) y c) desalineamiento angular d) excentricidad (Niemi, 2006)

Como ejemplo, para un desalineamiento axial entre chapas del mismo espesor bajo una carga axial, puede establecerse la siguiente expresión para determinar  $K_m$  en función de parámetros geométricos (Niemi, 2006) y  $\lambda$  que depende de las restricciones de movimientos ( $\lambda=6$  para uniones sin restricción).



$$K_m = 1 + \lambda \cdot \frac{e \cdot l_1}{t(l_1 + l_2)}$$