

ZONA AFECTADA TÉRMICAMENTE

Mauricio Ibarra Echeverría
email: mibarra@indura.net

RESUMEN

La zona afectada térmicamente o ZAT es de gran interés en la Ingeniería de Soldadura y sus aplicaciones, por ello existen numerosos trabajos de investigación sobre esta pequeña área para poder explicar y prevenir sus nefastas consecuencias. Bajo este contexto, los procedimientos de soldadura controlan las variables esenciales que influyen en la zat, específicamente el aporte calórico expresado en kilo joules por milímetro (KJ/mm). Este artículo habla sobre su estructura, especialmente el tamaño de grano que tiene gran influencia en las propiedades mecánicas.

1. INTRODUCCIÓN

La zona afectada térmicamente conocida en forma simplificada como ZAT o ZAC, corresponde a una zona de mucha importancia en la metalurgia del acero, por ello es importante dar a conocer como influyen los cambios en esta área en diferentes propiedades del acero. Sin lugar a duda es una de las áreas más estudiada en la ingeniería de soldadura por la importancia relativa que posee en el buen éxito de una junta soldada y por ende en la calificación de un procedimiento de soldadura.

2. ESTRUCTURA

El metal adyacente al depósito de soldadura experimenta cambios de acuerdo al máximo de temperatura y velocidad de enfriamiento experimentado en cada región. Cercano a la línea de fusión el máximo de temperatura será lo suficientemente alto para causar una transformación completa a austenita y por supuesto con algún crecimiento de grano. Si observamos una zona un poco más retirada de la línea de fusión el máximo de temperatura es insuficiente para causar cambios microestructurales aunque pueden ocurrir otros efectos. La figura N° 1 ilustra varias zonas adyacentes al metal de soldadura.

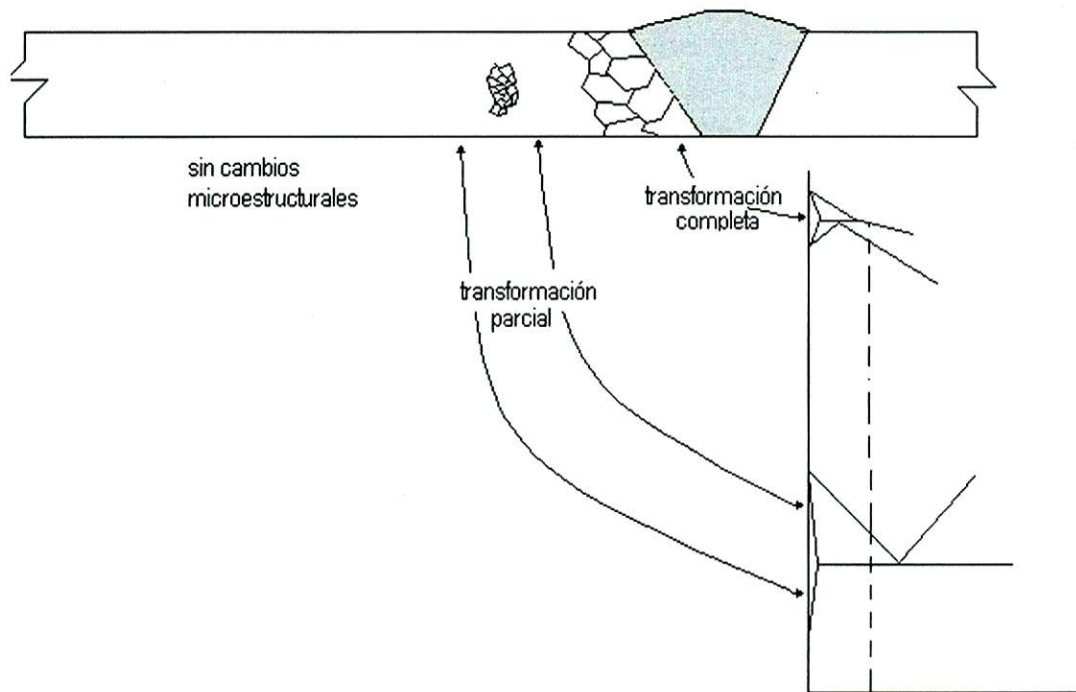


Figura N° 1. Zonas importantes en un cordón de soldadura

3. TAMAÑO DE GRANO EN LA ZAT

El tamaño de grano en zat es controlado principalmente por el aporte térmico, pero también es influenciado por la forma de la línea de fusión. El efecto del aporte térmico en el tamaño de grano austenítico en la ZAT se muestra en la figura N° 2. Por ejemplo si tomamos un alto aporte térmico, tal como puede ser el arco sumergido o electroescoria, este resultará en una zat bastante ancha. El aporte térmico afecta el tiempo que permanece el máximo de temperatura y también el gradiente de temperatura en la ZAT.

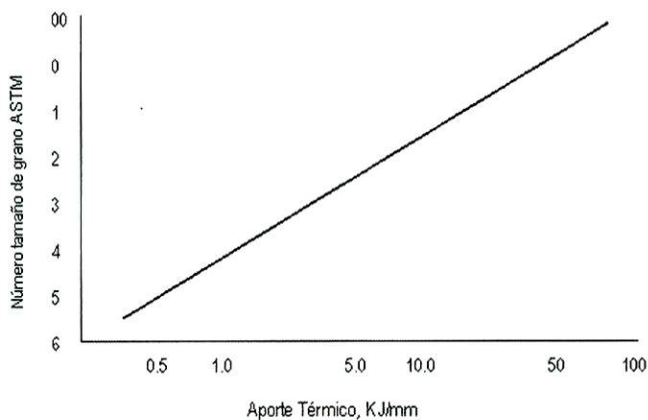


Figura N° 2. Efecto del aporte térmico sobre el tamaño de grano austenítico.

El tamaño de grano austenítico es afectado por la composición del acero, un acero con grano grueso tiene una región de austenita más gruesa en la ZAT comparado con un acero de grano fino. Excepto en los aceros que presentan titanio, en este caso el tamaño de grano adyacente a la línea de fusión será el mismo. En este tipo de acero tenemos la presencia de un nitrato de titanio muy estable que previene el engrosamiento del grano.

Adyacente a la zona completamente austenítica de la ZAT, ocurre una transformación parcial de la austenita. Algunas veces y particularmente en pequeñas soldaduras de aceros con alto contenido en carbono que se enfrían rápidamente se genera la estructura martensítica, la cual es muy dura y susceptible al agrietamiento.

En el enfriamiento, la región austenítica de la ZAT se transforma a una estructura dependiente en la velocidad de enfriamiento y templabilidad del acero. Los diagramas de transformación de enfriamiento continuo prestan una valiosa ayuda en determinar los tipos de microestructuras y durezas que se pueden generar durante el enfriamiento. En casos donde sólo la dureza es de interés, se pueden utilizar las curvas estándares de endurecimientos determinados directamente de las muestras de soldadura soldados a diferentes aportes térmicos. La figura N° 3 muestra dos ejemplos de estas cur-

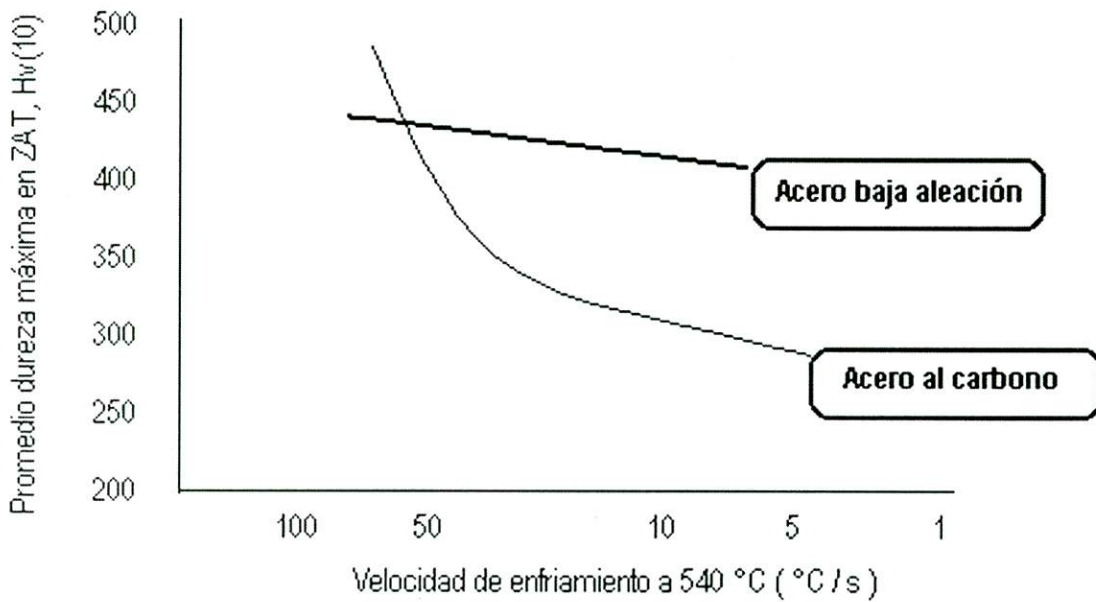


Figura N°3. Efecto de la velocidad de enfriamiento.

vas, una para aceros al carbono y la otra para un acero baja aleación templado y revenido. En la primera de ellas se ve una transición de una microestructura de alta dureza como es la martensita a una de baja dureza asociada a la estructura perlítica. En el segundo caso, se tiene que la excelente templabilidad del acero baja aleación permite obtener una alta dureza a cualquiera velocidad de enfriamiento alcanzada.

Los estudios de fractura frágil en estructuras soldadas muestran que los sitios de inicio de la fractura frecuentemente parten de la ZAT. Esta región generalmente es un punto de concentración de esfuerzo, está sujeto a altos esfuerzos residuales, microestructuras susceptibles y pueden contener defectos. Si sumamos a lo anterior que la tenacidad es baja, nos podemos explicar el porque las fallas frágiles se inicia en esta región. La tenacidad de la ZAT es muy difícil de cuantificar debido a que ésta es muy pequeña.

Examinando las curvas de endurecimiento de un acero típico, éstas indican que a velocidades de enfriamientos rápidos la ZAT se transforma en una estructura martensítica siendo la dureza controlada por el contenido en carbono. Para aceros mayores que 0.2%, la dureza excede los 450Hv en la ZAT obtenida por enfriamientos rápidos, esto sin duda se traducirá que la tenacidad será inaceptable para muchas aplicaciones.

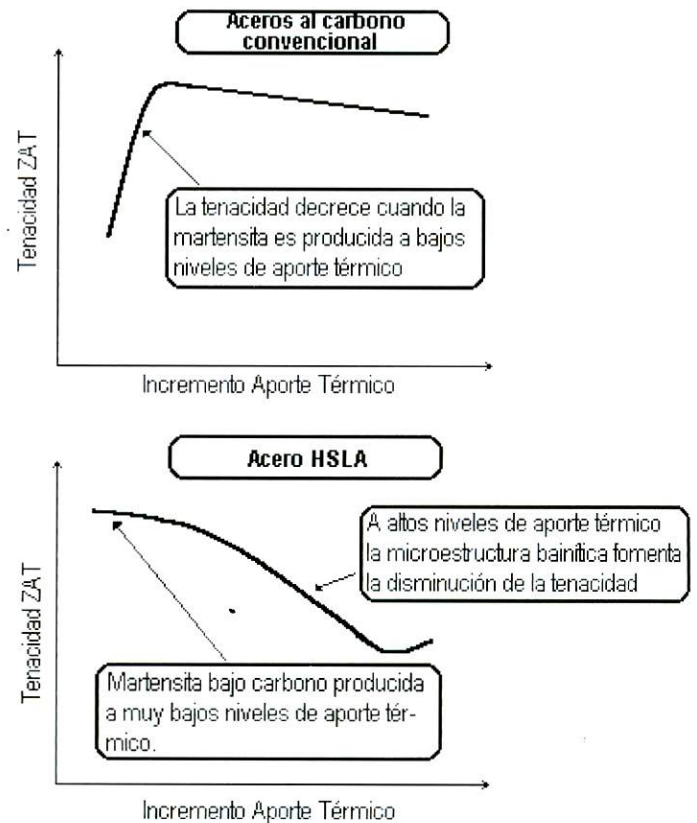


Figura N° 4. Tenacidad en la zat.

Las velocidades de enfriamiento rápidos se encuentran en los inicios de arcos, pinchazos (soldaduras temporales) y pequeños cordones cosméticos, los cuales pueden inducir fragilidad en la ZAT. Como resultados de esto los estándares de soldaduras, tal como API 1104 especifican, por ejemplo que los inicios de arco deben ser reparados o removidos.

Para evitar la presencia de una estructura dura y frágil como es la martensita en la ZAT, se deben seleccionar aportes térmicos y temperatura de precalentamiento adecuados para promover una velocidad de enfriamiento lenta. La figura N° 4 muestra la tendencia general que experimenta la tenacidad de la ZAT con el aporte térmico.

4. EFECTO DEL TAMAÑO DE GRANO

Las investigaciones no han avanzado lo suficiente para proporcionar reglas que puedan predecir la tenacidad de la ZAT, pero si son conocidos ciertos factores que influyen en ella. Uno de los más importantes corresponde al tamaño de grano austenítico, siendo la relación típica que a mayor tamaño de grano en la ZAT mayor probabilidad que exista un detrimento en la tenacidad. El tamaño de grano queda determinado por el aporte térmico y puede ser necesario restringirlo para obtener una buena tenacidad. En términos prácticos, las restricciones pueden significar evitar ciertos procesos de soldadura, como es el caso del arco sumergido, utilizar una temperatura de interfase máxima y evitar cordones anchos producidos por electrodo de arco manual. La figura N° 5 muestra el efecto del aporte térmico sobre la tenacidad a la fractura.

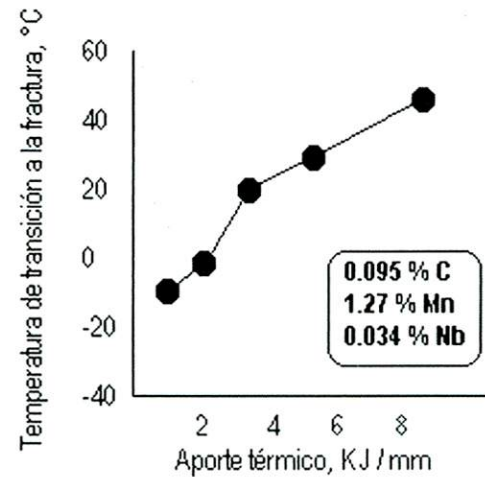


Figura N° 5. Efecto del aporte térmico sobre la temperatura de transición.

5. ENDURECIMIENTO POR PRECIPITACIÓN

El endurecimiento por precipitación debido a la presencia de micro aleantes en el acero pueden bajar la tenacidad a la fractura en ZAT. Nuevamente la precipitación es estimulada por los altos aportes térmicos debido a los largos periodos de tiempos a elevadas temperaturas y bajas velocidades de enfriamiento. Un tratamiento térmico post soldadura, tal como el alivio de tensiones puede causar una considerable precipitación con una substancial disminución de la tenacidad en ZAT, como muestra la figura N° 6. Por su parte la

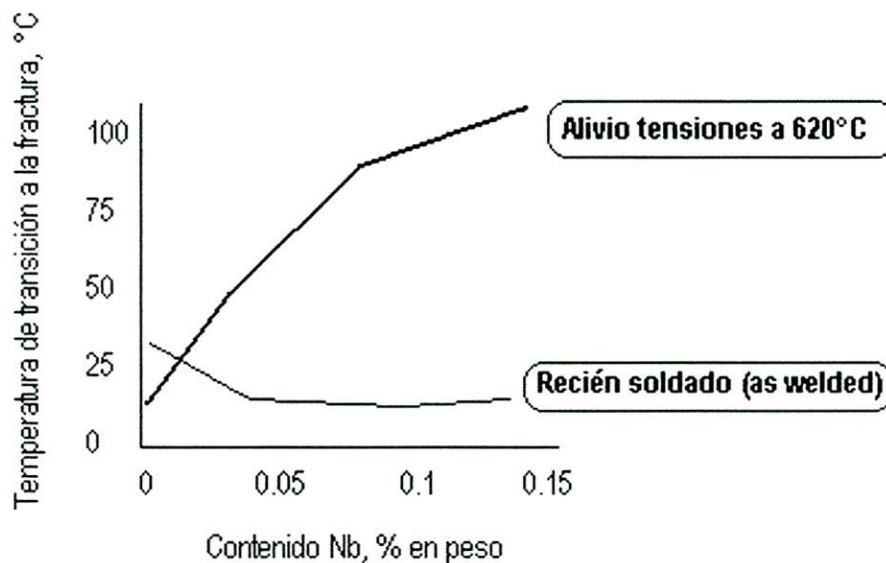


Figura N° 6. Efecto del tratamiento térmico de alivio de tensiones sobre la temperatura de transición.

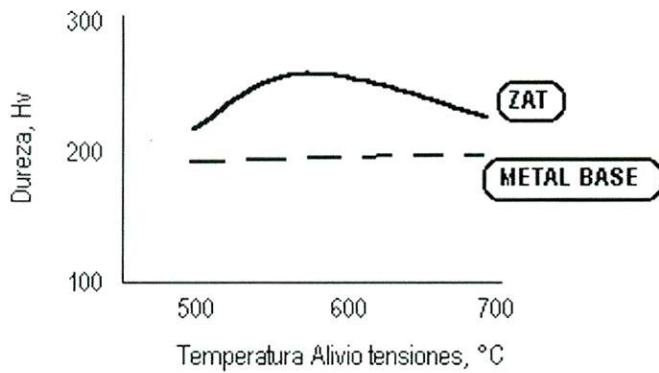


Figura N° 7. Efecto de la temperatura de tratamiento en la dureza.

figura N° 7 muestra el efecto de la temperatura del tratamiento térmico post soldadura en la dureza de la ZAT en un acero Nb-V.

6. AGRIETAMIENTO POR HIDRÓGENO EN LA ZAT

La martensita formada en ZAT es altamente susceptible al agrietamiento por hidrógeno. En aceros al carbono o carbono-manganeso esta formación de la microestructura puede ser evitada bajo ciertas condiciones de procedimiento de soldadura. Sin embargo, en los aceros baja aleación no se puede evitar la formación de ella, pero si se puede disminuir sus efectos sobre el agrietamiento mediante el uso adecuado de temperatura de precalentamiento. La figura N°8 muestra cuan efectivo es el uso de precalentamiento en remover el hidrógeno.

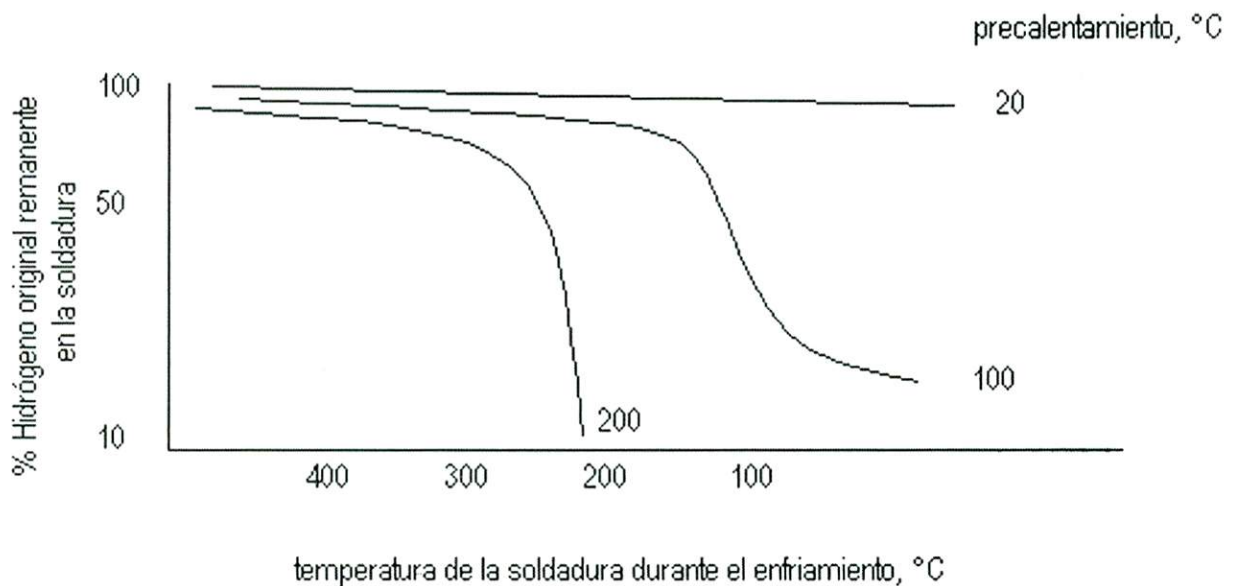


Figura N° 8. Efecto de la temperatura de precalentamiento en la cantidad de hidrógeno en la soldadura.