

SOLDABILIDAD DE ACEROS AL CARBONO Y BAJA Y MEDIANA ALEACIÓN.

Dr. C. Eduardo Torres Alpizar¹, Ing. Lermith Abraham Marín Brizuela², Ing. José Augusto Suárez Torrelles², Ing. José Eduardo Llovera Seijas², Ing. Manuel Antonio Muñoz Benaventa²

1. Universidad de Matanzas, Vía Blanca Km.3, Matanzas, Cuba.

*2. Universidad Politécnica Territorial del Alto Apure
“Pedro Camejo”, Antiguo Hato Modelo, Carretera Nacional
Vía el Samán.*

Resumen.

Los aceros al carbono son aleaciones de hierro y carbono que contienen otros elementos en pequeñas cantidades tales como: Silicio, Manganeso, Azufre, Fósforo. En estos aceros, el carbono constituye el segundo elemento de importancia después del hierro y con el aumento de la cantidad de este se incrementa la resistencia, pero también la templeabilidad, o sea la capacidad de formar estructuras de mayor volumen específico, cuando se somete a velocidades de enfriamiento rápidas las cuales son típicas de los procesos de soldadura.

Por otra parte existen otro grupo de aceros, los aceros bajo y medio aleados, que presentan otros elementos aleantes como son: Cromo, Níquel, Molibdeno, Cobre, etc.; cuya suma total no sobrepasa el 5% y que tiene el objetivo el aumento de las propiedades mecánicas de los mismos. Acerca de los problemas de soldabilidad y las recomendaciones para la soldadura de estos aceros, trata la siguiente monografía.

Palabras claves: Ingeniería mecánica, soldadura, soldabilidad; aceros al carbono, aceros aleados

- **Soldabilidad de los aceros al carbono.**

La clasificación de los aceros al carbono se realiza de acuerdo con la cantidad o contenido de carbono (Rodríguez, 1983) en por ciento [%] del acero en cuestión y se dividen en tres grupos: acero de bajo, medio y alto contenido de carbono.

Los aceros de bajo contenido de carbono son aquellos en los cuales el contenido de este elemento en los mismos puede alcanzar valores de hasta 0,29%; generalmente tienen buena soldabilidad, sin necesidad de aplicar técnicas auxiliares para garantizar la misma, tales como: precalentamiento, tratamiento térmico posterior, etc.

Los aceros de medio contenido de carbono son aquellos en los cuales el contenido de este elemento en los mismos varía desde 0,3 hasta 0,59%; se consideran que tienen soldabilidad regular o limitada y que necesitan técnicas auxiliares para lograr la calidad de la unión soldada.

Los aceros de alto contenido de carbono son aquellos en los cuales el contenido de este elemento sobrepasa los valores de 0,6%, se considera que estos aceros tienen mala soldabilidad y que inclusive, con la aplicación de técnicas auxiliares a la unión soldada no se garantiza la calidad de la misma. En algunos casos con la aplicación de métodos de soldadura especiales se pueden soldar estos aceros y garantizar la unión de ellos, pero siempre con propiedades mecánicas inferiores a los valores esperados para estos materiales (Burgos, 1995).

La soldabilidad de los aceros al carbono está determinada por el contenido de este elemento. El aumento de mayor cantidad de carbono confiere mayor resistencia al acero, pero también incrementa la templeabilidad, lo que hace que, durante la soldadura, aparezcan estructuras de mayor volumen específico que causan tensiones internas con las corrientes de deformaciones y la posibilidad de que surja agrietamiento.

Según su soldabilidad, los aceros se clasifican en (Rodríguez, 1983):

1. **Aceros de bajo contenido de carbono:** Tienen menos del 0,3% de carbono; presentan buena

soldabilidad; no requieren técnicas auxiliares.

2. **Aceros de medio contenido de carbono:** Tienen entre el 0,3 y 0,59% de carbono; se consideran aceros de soldabilidad regular o condicionada y por lo tanto necesitan de técnicas auxiliares para garantizar la calidad de la unión soldada.
3. **Aceros de alto contenido de carbono:** Tienen 0,6% de carbono o más; su soldabilidad es mala, ni siquiera con técnicas auxiliares se puede garantizar una buena calidad de la unión.

Recomendaciones para la soldadura de aceros al carbono (CIME, 1993).

1. Deben efectuarse las preparaciones de borde de acuerdo a lo indicado en las normas de soldadura.
2. Los electrodos, varillas, alambres y fundentes no deben tener aceite, grasas, pinturas, tierra, óxidos, etc. Que puedan disminuir las propiedades mecánicas, al quedar atrapadas en el cordón como inclusiones de escoria.
3. Se recomienda utilizar electrodos celulósicos en los cordones de raíz y electrodos básicos para el relleno.
4. Cuando se sueldan aceros de diferente contenido de carbono, la temperatura de precalentamiento se determina por el que tenga mayor contenido de carbono.
5. La temperatura de precalentamiento debe mantenerse durante todo el proceso de soldadura.
6. Los aceros de bajo contenido de carbono se sueldan con soldadura manual por arco eléctrico (SMAE) y con soldadura oxiacetilénica (SOA) con llama neutra, sin necesidad de técnicas auxiliares.
7. En los aceros de medio contenido de carbono, que se sueldan con soldadura manual por arco eléctrico (SMAE) y con soldadura oxiacetilénica (SOA) con llama reductora, luego de dar precalentamiento y aplicar con posterioridad un tratamiento térmico, se logra una unión soldada de buena calidad.
8. Los aceros de alto contenido de carbono se sueldan con soldadura manual por arco eléctrico (SMAE) y con soldadura oxiacetilénica (SOA) con llama reductora, luego de aplicar precalentamiento y tratamiento térmico posterior, se puede lograr una unión soldada de buena calidad.

• **Soldabilidad de los aceros bajo aleados (Rodríguez, 1983).**

Se consideran aceros bajo aleados aquellos en la que la suma total de los elementos de aleación no sobrepasa el 2,5%. Se utilizan ampliamente en la construcción de puentes, elementos de máquina de izaje, bancadas de máquinas, chasis de automóviles, etc. El contenido de carbono de estos aceros, por lo general oscila entre 0,22 y 0,25%, y su límite de rotura a la tracción alcanza los 600MPa. Generalmente presentan buena soldabilidad tanto por arco eléctrico como por soldadura oxiacetilénica, pero se les debe calcular el carbono equivalente y aplicar precalentamiento si fuera necesario.

Algunas marcas de aceros bajo aleados son:

AISI: 1518, 1522, 1320, 1318

DIN: 11MnSi6, 20MnSi5, 17Mn4

- Soldabilidad de los aceros al Cr - Cu y Cr - Mo.

Aceros al Cromo - Cobre.

Tienen la siguiente composición química:

C = 0,18 - 0,23% Mn = 0,9 - 1,2% Si \approx 0,2% Cu \approx 0,35% Cr \approx 0,34%
 S \leq 0,03% P \leq 0,03%

Se consideran seminoxidables ante el agua de mar, gracias a la presencia del cobre (ESAB, 1998). Sus principales propiedades mecánicas son: Tensión de rotura $\sigma_t = 540 - 570$ MPa y elongación relativa $\delta = 25 - 28\%$. Tienen buena resistencia a la termofluencia. Se emplean en la construcción de obras metálicas, tales como puentes, armaduras, tanques para el almacenamiento de hidrocarburos, etc. Se pueden soldar con electrodos revestidos que garanticen un depósito de igual composición química que el metal base. Se sueldan bien con S.O.A. especialmente en espesores pequeños.

- Soldabilidad de los aceros al Cr - Cu y Cr - Mo (Rodríguez, 1983; Eutectic & Castolín, 1998).
 - **Aceros al 0,5%Cr - 0,5%Mo:** Se emplean en la industria del petróleo, en tuberías para calderas, etc. Presentan buenas propiedades en caliente. Se pueden soldar, obteniendo una unión de buena calidad. Se recomienda utilizar S.A.E. para espesores mayores de 2 mm y S.O.A. para espesores menores. Se debe dar precalentamiento a 100°C para espesores pequeños y de 150 a 200°C para espesores mayores. Se recomienda un tratamiento térmico posterior consistente en un recocido a 650°C durante 2 h con enfriamiento al aire. El metal de aporte debe tener una composición similar a la del metal base. Se prefieren electrodos básicos. Las propiedades mecánicas que se obtienen en el metal depositado con un precalentamiento de 150°C y un recocido a 650°C con enfriamiento al aire son las siguientes: Resistencia a la tracción: σ_t : 500 - 500MPa; límite de fluencia: σ_f : 380 - 420Mpa; elongación: δ : 28 - 32%.
 - **Aceros al 1,25% - 0,5% Mo:** Similar a los anteriores, pero la temperatura de precalentamiento no debe ser en ningún caso inferior a 200°C. La ausencia de precalentamiento en estos aceros da lugar a una estructura de martensita, mientras que la aplicación de la temperatura mínima de precalentamiento, anteriormente citada, da origen a la estructura de bainita superior en toda la zona de influencia térmica.
 - **Aceros al 2,25%Cr - 0,5%Mo:** No sustituyen a los anteriores cuando las temperaturas de trabajo son mayores de 540°C. Se recomienda una temperatura mínima de precalentamiento de 150°C cuando el espesor es de 10mm y un tratamiento térmico posterior de recocido a 730°C. En algunas ocasiones se recomienda un calentamiento posterior a la unión soldada no se aplica inmediatamente después de realizar la misma.
 - **Aceros empleados en construcciones aeronáuticas:** La soldabilidad de estos aceros depende del contenido de carbono; para valores mayores de 0,25% de este elemento la soldabilidad tiende a disminuir. Se pueden soldar con soldadura oxiacetilénica empleando llama reductora; se pueden emplear varillas de acero de bajo contenido de carbono o acero al Cr - Mo, es muy conveniente realizar como tratamiento térmico posterior un temple en aceite desde una temperatura de

840°C con un revenido con un revenido a 650°C durante 30 min. La soldadura por arco eléctrico se emplea preferentemente para contenidos de carbono altos (tipo 3 de la tabla 7.4 de “Metalurgia de la Soldadura” de Héctor Rodríguez); el electrodo debe ser básico y garantizar una composición química similar al metal base. Se recomienda un precalentamiento de 200 a 300°C y un tratamiento térmico posterior consistente en un temple en aceite a partir de 875°C con revenido a 550°C.

- **Agrietamiento. Factores que lo causan.**

Las grietas son defectos de las uniones soldadas que están constituidos por discontinuidades del metal de la zona fundida o de la zona de influencia térmica y que provocan una disminución de la resistencia mecánica de la unión soldada. En dependencia de su tamaño se clasifican en (Rodríguez, 1983; Valdés, 1994).

1. **Macrogrietas:** Son aquellas que son observables a simple vista.
2. **Microgrietas:** Son aquellas que se detectan solamente con ayuda de bajos aumentos, líquidos penetrantes o flujo de partículas magnéticas (Magneflux).
3. **Grietas microscópicas:** Sólo se detectan a través de análisis metalográfico de las uniones soldadas. Pueden ser intercristalinas o transcristalinas.

En dependencia de sí se observan superficialmente o no las grietas se clasifican en:

1. **Grietas externas:** Son aquellas que presentan salida a la superficie del metal.
2. **Grietas internas:** Son aquellas que por no presentar salida al exterior no se aprecian si no es a través de ensayos destructivos o radiográficos (Rayos X o Gamma).

Las causas que provocan el agrietamiento en la Zona Fundida se dividen en causas metalúrgicas y causas secundarias (Rodríguez, 1983).

➤ ***Causas Metalúrgicas del agrietamiento de la Zona Fundida.***

1. Condiciones de enfriamiento desde el estado líquido.
 - Formación de rechupes.
 - Tensiones de contracción detrás del baño de soldadura.
 - Tensiones de dilatación delante del baño de soldadura.
2. Transformaciones estructurales de la zona fundida (por ejemplo: transformación martensítica, formación de carburos, etc.).
3. Propiedades en caliente de los aceros (por ejemplo: en los aceros inoxidables austeníticos, la formación de la capa de silicatos alrededor del grano de austenita).

➤ ***Causas Secundarias del agrietamiento de la Zona Fundida.***

1. Selección incorrecta del metal de aporte.
2. Mala regulación de la llama oxiacetilénica.
3. Empotramiento de la unión.

➤ ***Causas Metalúrgicas del agrietamiento de la Zona de Influencia Térmica (Rodríguez, 1984).***

1. Composición química del metal base. Sobre todo el contenido de carbono y de otros elementos de aleación que al aumentar la templabilidad aumentarán las posibilidades de formación de martensita.
2. Presencia de hidrógeno, lo que provoca la aparición de la fragilidad debida al hidrógeno
3. Desarrollo de tensiones internas provocadas por las condiciones de empotramiento de la unión soldada.

➤ ***Causas Secundarias del agrietamiento de la Zona Fundida.***

1. Corrosión en las planchas.
2. Tensiones de laminado.
3. Fatiga mecánica.

● **Recomendaciones para evitar el agrietamiento.**

Para evitar el agrietamiento en las uniones soldadas se recomienda (ESAB, 1998; Eutectic&Castolin, 1998):

1. Utilización de electrodos con poco contenido de hidrógeno en el revestimiento (básicos o rutilicos).
2. Precalentar las uniones soldadas.
3. Utilización de dispositivos posicionadores y puntear las uniones.
4. Secado de los electrodos.
5. Aplicar tratamiento térmico posterior a las uniones soldadas.

● **Precalentamiento. Cálculo de la temperatura de precalentamiento (Rodríguez, 1983).**

El precalentamiento de las uniones soldadas, el cuál disminuye la velocidad de enfriamiento, es la recomendación más eficiente para evitar el agrietamiento en las zonas fundida y de influencia térmica. El precalentamiento tiene los siguientes objetivos:

1. Disminuye la formación de transformaciones estructurales peligrosas y por lo tanto, las tensiones que estas originan, dando lugar a estructuras menos peligrosas y de menos volumen específico.
2. Facilita la difusión del hidrógeno de la unión soldada y por tanto, disminuye la tendencia al agrietamiento de la unión soldada por este efecto.
3. Facilita el desprendimiento de otros gases con lo cual se elimina la formación de poros.

En general se puede plantear que la temperatura de precalentamiento debe ser mayor, mientras más templable sea el acero que se suelda.

La temperatura de precalentamiento se determina según fórmulas empíricas que son el resultado de trabajos teórico experimentales. En esta conferencia se explicará el Cálculo de la temperatura de precalentamiento a partir del Método de Daniel Seferian.

Para los aceros según Seferian:

$$[C] = [C]_q + [C]_s$$

Donde:

[C]: Carbono equivalente; que no es más que la suma de las influencias cuantitativas de los diferentes elementos de aleación sobre la soldabilidad metalúrgica del metal base.

[C]_q: Carbono equivalente químico.

[C]_s: Carbono equivalente del espesor.

$$[C]_q = \frac{C}{100} + \frac{Mn}{18} + \frac{Cr}{100} + \frac{Ni}{60} + \frac{Mo}{15} + \frac{Nb}{10} + \frac{V}{18}$$

Donde:

C, Cr, Mn, Ni, Mo: Composición química de estos elementos en %.

$$[C]_s = \frac{S}{160}$$

Donde:

S: Espesor de la pieza en mm.

$$T_p = 5 \sqrt{[C]_q}$$

Donde:

T_p: Temperatura de precalentamiento en °C.

El precalentamiento se aplica a través de llamas de propano, con antorchas diseñadas al efecto, y se controla la llama a través de creyones térmicos de fusión y cambio de coloración. Cuando se aplica con hornos se utiliza el control de temperaturas de los mismos; aunque en la actualidad se ofertan en el mercado sistemas de precalentamiento y tratamiento térmico, que a través de resistencias controladas por dispositivos electrónicos, permiten suministrar al metal que se suelda la temperatura de precalentamiento adecuada con un control de temperatura exacto.

- **Tratamiento Térmico posterior de las uniones soldadas.**

El tratamiento térmico que más se aplica a las uniones soldadas, realizadas en aceros de bajo contenido de carbono y baja y mediana aleación destinados para trabajos de soldadura, es el normalizado con calentamiento entre 900 y 950°C con enfriamiento al aire o un recocido con enfriamiento lento, que se obtiene recubriendo el cordón con materiales refractarios (hasta hace poco tiempo se empleaban el asbesto y el amianto, pero estos materiales han sido desechados por el daño que estos traen al medio ambiente y la salud humana). El control de temperatura y las instalaciones para aplicar los tratamientos térmicos son las mismas que las usadas para aplicar los

precalentamientos (CIME, 1993, CIME, 1996).

Concluyendo los contenidos anteriormente expuestos se puede asegurar que los aceros al carbono con contenidos inferiores de este elemento a 0,3% presentan buena soldabilidad, los que contienen entre 0,3 y 0,6% tienen soldabilidad regular o condicionada y los de más de 0,6% presentan mala soldabilidad. Los aceros de baja y mediana aleación para trabajos de soldadura en sentido general presentan buenas propiedades de soldabilidad. La aplicación o no de precalentamiento o tratamiento térmico posterior estará regida por la composición química y el espesor del metal base que se suelda. En todos los aceros estudiados en esta conferencia el problema primordial de soldadura es la templabilidad de estos aceros, provocada por el aumento de los contenidos de carbono y otros elementos de aleación. Debido a esta causa durante la soldadura podrían aparecer en la unión soldada estructuras de tipo martensítico. El precalentamiento y el tratamiento térmico posterior constituyen las recomendaciones de soldadura más útiles para disminuir la formación de martensita en la unión soldada.

Bibliografía.

1. BURGOS SOLA, JOSÉ. Teoría de los procesos de Soldadura. Conferencias para la maestría de Ingeniería Mecánica. CIS. Facultad de Mecánica. UCLV. 1995. 240 p.
2. BURGOS SOLA, JOSÉ. Tecnología de la soldadura. Editorial Pueblo y Educación. Ciudad de la Habana. 1987. 287 p.
3. CIME. Grupo Científico-Técnico. Recuperación de piezas por métodos de soldadura. CIME. La Habana, 1996. 367 p.
4. C.I.M.E. Grupo Nacional para la Recuperación de Piezas. Manual de recuperación de piezas - 1 ed -. C.I.M.E. La Habana. 1993. 472 p.
5. ESAB. Lo que todo representante y distribuidor de ESAB debe saber. ESAB. Machinery Division. Göteborg. Sweden. Suecia.1998. 300 p.
6. EUTECTIC & CASTOLIN. Soldadura de mantenimiento preventivo y restauración. Manual de Reparaciones. Instituto Eutectic & Castolin . Corporation. México DF. 1998. 900 p.
7. I.P.S.J.A.E. Grupo Científico Técnico de Recuperación de Piezas. Recuperación de piezas. Curso de Postgrado - 1 ed -. I.P.S.J.A.E. La Habana. 1991. 149 p.
8. RODRÍGUEZ PÉREZ, HECTÓR. Metalurgia de la soldadura de la Soldadura - 1 ed -. Pueblo

y Educación. La Habana. 1983. 613 p.

9. VALDEZ CARRAZANA, ARNALDO. Conferencias sobre la determinación de Tecnologías de soldadura. C.I.S. Facultad de Mecánica. Universidad Central de Las Villas. Santa Clara. 1994. 270 p.