

Soldadura de forja (calda): unión de piezas de acero al carbono en la fragua

Autor: EA4IPV

Fecha: 23/03/2026

Categoría: Orientación y Navegación

Etiquetas: Sin etiquetas

Soldadura de forja (calda): unión de piezas de acero al carbono en la fragua

La soldadura de forja o calda es el método más antiguo para unir piezas de acero, practicado durante al menos 3000 años antes de la invención de la soldadura eléctrica y oxiacetilénica. Consiste en calentar las superficies a unir hasta un estado semipastoso (1200-1300 °C para acero dulce, color blanco brillante) y golpearlas juntas sobre el yunque para que los átomos de hierro difundan a través de la interfaz y formen una unión metalúrgica continua. A diferencia de la soldadura moderna con aporte de material, la calda une el metal base consigo mismo sin electrodos ni gas de protección. La técnica requiere precisión de temperatura, limpieza de superficies y velocidad de ejecución, pero una vez dominada permite fabricar y reparar herramientas, cadenas, rejas, bisagras y estructuras complejas con equipamiento mínimo.

Principios metalúrgicos de la calda

La soldadura de forja funciona porque a temperaturas cercanas al punto de fusión (1538 °C para el hierro puro), la superficie del acero se vuelve plástica y los átomos tienen suficiente energía para migrar a través de la interfaz entre las dos piezas. Para que la unión sea sólida se necesitan tres condiciones simultáneas: temperatura suficiente (las superficies deben estar en estado pastoso), superficies limpias (sin óxidos que impidan el contacto metal-metal) y presión mecánica (golpes de martillo que expulsan las impurezas y fuercen el contacto íntimo).

El principal enemigo de la calda es la cascarilla de óxido que se forma instantáneamente sobre el acero caliente al contacto con el aire. A 1200 °C, una capa de óxido de hierro (FeO , Fe_2O_3 , Fe_3O_4) crece en milisegundos. Si esta capa queda atrapada entre las dos superficies, la unión será débil o nula. Por eso se usa fundente (flux) que disuelve los óxidos y forma una capa protectora líquida sobre el metal caliente.

Fundentes para calda

El fundente cumple dos funciones: disolver la cascarilla de óxido existente y proteger la superficie limpia del aire durante los segundos críticos entre la extracción de la fragua y los primeros golpes de martillo.

Bórax ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$): El fundente más usado y efectivo. Funde a 743 °C y forma un vidrio líquido que disuelve los óxidos de hierro. Aplicar sobre las superficies a unir cuando el acero alcanza rojo cereza (750-800 °C): el bórax funde inmediatamente y cubre la superficie. Inconveniente: el bórax hidratado burbujea violentamente al deshidratarse; se puede calcinar previamente calentándolo en un recipiente hasta que deje de burbujear (se convierte en bórax anhidro). Disponible como producto de limpieza (Borax 20 Mule Team) o en droguerías.

Arena de sílice fina: El fundente tradicional de los herreros antes de la disponibilidad comercial de bórax. La sílice (SiO_2) reacciona con los óxidos de hierro formando una escoria líquida (fayalita: Fe_2SiO_4) que se expulsa con los golpes de martillo. Menos efectiva que el bórax, especialmente en aceros con más de 0,40 % de carbono. Aplicar espolvoreando sobre la superficie a temperatura de rojo cereza.

Mezcla bórax + limaduras de hierro: Para caldas difíciles (aceros de medio-alto carbono o piezas gruesas). Las limaduras de hierro funden antes que el metal base y rellenan micro-irregularidades de la superficie, mejorando el contacto. Mezclar 70 % bórax anhidro + 30 % limaduras finas de hierro dulce.

Fundentes comerciales: Productos como Cherry Heat o EZ-Weld contienen bórax, fluoruro de calcio y otros compuestos que mejoran la fluidez de la escoria. Son más caros pero facilitan las caldas en aceros aleados. En situación de emergencia, el bórax puro es suficiente para acero dulce y medio carbono.

Tipos de juntas y preparación de superficies

La geometría de la junta determina la calidad de la unión. Las superficies de contacto deben ser convexas (abombadas) para que los primeros golpes de martillo compriman el centro de la junta y expulsen la escoria hacia afuera. Si las superficies son planas o cóncavas, la escoria queda atrapada en el centro y la unión falla.

Junta a solape (scarf joint): La más común y resistente. Se adelgazan los extremos de ambas piezas en ángulo de 30-45° sobre una longitud de 1,5-2 veces el espesor de la barra. Las superficies de solape se abovedan ligeramente con el martillo. Al unir, las puntas finas se calientan primero por ser más delgadas, lo que facilita la unión progresiva desde las puntas hacia el centro. La longitud de solape terminada debe ser al menos 1,5 veces el espesor del material.

Junta a tope con recalcado: Se recalcan (engrosan) los extremos de ambas piezas calentando y comprimiendo contra el yunque. Los extremos abultados se unen cabeza contra cabeza. Menos resistente que la junta a solape pero útil cuando no se puede solapar (barras que deben mantener sección constante). Requiere temperatura más precisa.

Junta en T: Una pieza se suelda perpendicular a otra. La pieza perpendicular se adelgaza en punta de cincel y se inserta en una ranura o muesca practicada en la pieza base. Se aplica fundente generosamente y se calienta el conjunto. Usada para unir travesaños, soportes y ramificaciones.

Fagot welding (apilamiento): Múltiples capas de acero se apilan, se cubren con fundente y se sueldan por calda simultáneamente. Base del acero de Damasco y del proceso de refinado histórico del acero. Las capas se doblan y sueldan repetidamente para homogeneizar el carbono y eliminar inclusiones de escoria.

Procedimiento paso a paso de una calda a solape

1. Preparar las superficies: En frío, forjar los extremos de ambas piezas en ángulo de 30-45° y abovedar ligeramente las caras de contacto. Limar o cepillar para eliminar cascarilla gruesa. Las superficies no necesitan estar pulidas pero sí limpias de óxido suelto.

2. Primer calentamiento con fundente: Calentar ambas piezas a rojo cereza (750-800 °C). Retirar

brevemente de la fragua y espolvorear bórax generosamente sobre las superficies de contacto. El bórax fundirá y cubrirá las superficies con un vidrio protector. Devolver a la fragua.

3. Calentamiento a temperatura de calda: Subir la temperatura lentamente hasta blanco brillante (1250-1300 °C para acero dulce). En la fragua de carbón, enterrar las piezas en el corazón del fuego donde hay menos oxígeno (zona reductora). El fuego debe ser profundo y limpio, sin clinker. Observar las chispas: cuando el acero empieza a chispear (quemarse), está demasiado caliente. La temperatura correcta es justo antes de que chispee, con la superficie brillando como mantequilla líquida.

4. Unión en el yunque: Extraer ambas piezas de la fragua rápidamente (cada segundo cuenta: la temperatura cae 30-50 °C por segundo en piezas pequeñas). Sacudir para eliminar escoria suelta. Colocar una sobre otra en la posición de solape. Dar un primer golpe firme y centrado para fijar la posición y expulsar escoria del centro. Seguir con golpes rápidos y progresivos desde el centro hacia los bordes. Los primeros 3-5 golpes son los críticos: deben aplicarse en menos de 5 segundos.

5. Recalentar y consolidar: Devolver la pieza a la fragua, recalentar a blanco y dar una segunda serie de golpes para consolidar la unión, especialmente en los bordes. Puede ser necesario un tercer calentamiento para piezas gruesas. Cada recalentamiento con fundente adicional.

6. Acabado: Una vez fría, inspeccionar la junta: golpear con martillo ligero y escuchar. Un sonido claro indica unión sólida. Un sonido apagado o hueco indica escoria atrapada o unión incompleta. Se puede probar doblando la junta 90° en una prensa: una buena calda no se abre. Si falla, limpiar, aplicar fundente y repetir el proceso.

Errores frecuentes y prevención

Error

Consecuencia

Prevención

Temperatura insuficiente

Las superficies no alcanzan estado plástico; la unión se abre al primer esfuerzo

Asegurar que ambas piezas estén a blanco brillante uniforme; no apresurarse

Exceso de temperatura (quemado)

El acero chispea y se desintegra en la superficie; los bordes se funden y caen

Observar las chispas; retirar justo antes de que chispee; ajustar flujo de aire

Fundente insuficiente

La cascarilla queda atrapada en la junta; unión parcial o nula

Aplicar bórax generosamente a rojo cereza; reaplicar si se consume antes de alcanzar temperatura

Lentitud al golpear

La temperatura cae por debajo del umbral de calda en los 5-10 primeros segundos

Tener el yunque cerca de la fragua (máximo 1 paso); practicar la secuencia sin calda primero

Superficies cóncavas

La escoria queda atrapada en el centro de la junta

Siempre abovedear (hacer convexas) las superficies antes de intentar la calda

Fuego oxidante

Exceso de aire quema la superficie del acero antes de alcanzar temperatura de calda

Mantener fuego profundo y ligeramente reductor; no soplar demasiado aire

⚠ Advertencia: Esta información es orientativa y educativa. En situaciones de emergencia real, consulte a profesionales cualificados siempre que sea posible. No ponga en riesgo su vida ni la de otros sin la formación adecuada.