

# *REPARACIÓN, RECARGUE Y FUNDICIÓN*

---

SOLDADURA DE REPARACIÓN, RECARGUE Y FUNDICIÓN

Por : Angela Lázaro Martín  
LINCOLN KD, S.A.

## Reparación de componentes metálicos

En la industria, las diferentes reparaciones a las que se enfrenta el soldador de mantenimiento, pueden clasificarse en los siguientes grupos:

### Roturas

La pieza se ha dividido en dos o más partes debido a la aplicación de un esfuerzo superior a su resistencia (golpe, sobrepresión, etc.).

### Fisuras

Son, quizás, las causantes de la mayor proporción de reparaciones, ya que, normalmente, antes de producirse la rotura, las fisuras nos avisan del sobre-esfuerzo que la pieza está resistiendo. Al percibir estas fisuras debe intentarse su reparación antes de que sobrevenga la rotura de la pieza.

### Refuerzos

En general, un refuerzo es un componente que se añade a una pieza sometida a un esfuerzo superior a su resistencia, con la finalidad de aumentar el espesor efectivo de la pieza y así también su resistencia.

**IMPORTANTE:** Una vez reparada una pieza rota o fisurada debería estudiarse el sobre-esfuerzo que produjo el defecto. Si éste va a permanecer, la pieza romperá o fisurará de nuevo, incluso antes, ya que no debe olvidarse que es una pieza reparada. En este caso es aconsejable poner refuerzos que ayuden a la pieza a resistir todo el esfuerzo. En algunos casos, si la reparación es correcta, se obtiene una pieza de mayor vida que una nueva, ya que se ha tenido la oportunidad de ver dónde ha fallado y evitarlo con refuerzos en el futuro.

## Preparar un material para su reparación

- Limpiar restos de grasa y aceite con disolvente (1)
- Retirar óxido y suciedad con cepillo u otro proceso mecánico

### Roturas

Al reparar una rotura es importante tener en cuenta que debe soldarse todo el espesor de la pieza, o lo que es lo mismo, hacer una soldadura de penetración total. En función de la geometría de la pieza y de la rotura, deben hacerse los chaflanes correspondientes para asegurarnos de obtener tal penetración, y hacer el número de cordones o capas de cordones necesarios hasta rellenar la pieza.

### Fisuras

Las fisuras tienen una velocidad de crecimiento muy elevada ya que ambos extremos son muy puntiagudos, especialmente cuando la pieza está sometida a una tensión mecánica alta o a un aumento de temperatura muy grande. Ya que la soldadura producirá ambos efectos, es de suma importancia eliminar la fisura completamente antes de empezar a soldar. Esto puede hacerse mediante amolado, arco aire o cualquier otro método\*. Es aconsejable comprobar, por ejemplo con líquidos penetrantes, que se ha eliminado la fisura completamente, tanto en sus extremos como en su fondo, antes de proceder a su reparación con soldadura.

Además de los métodos mecánicos para limpiar un material y preparar su superficie, existen electrodos recubiertos para realizar este trabajo con arco eléctrico:

#### **KD 30**

Electrodo para el corte de todos los materiales, incluidos fundición de hierro, acero inoxidable y aluminio.

#### **KD 31**

Electrodo para ranurado, chaflanado y eliminación de fisuras, soldaduras defectuosas u otros defectos, en todos los metales, incluidos fundición de hierro, acero inoxidable y aluminio.

## Soldadura de reparación

Una vez preparada la pieza para la reparación, su soldadura debe tomarse como la soldadura de unión de un metal base; en general deben seguirse los siguientes pasos:

### • Si se conoce la composición y características del metal base:

1. Precalear la pieza a la temperatura que corresponde según su composición y espesor. La temperatura de precalentamiento se puede calcular aplicando las siguientes fórmulas:

$$C_{eq} = \%C + \%Mn / 6 + (\%Ni + \%Cu) / 15 + (\%Mo + \%Cr + \%V) / 5^{(1)}$$

$$C_e = C_{eq} \times e \times 0,005$$

$$C_T = C_{eq} + C_e$$

$$T_p (\text{°C}) = 350 \div (C_T - 0,25)$$

donde:

$C_{eq}$  es el carbono equivalente en función de la composición química del metal base

$C_e$  es el carbono equivalente en función del espesor del material base

$e$  es el espesor del material base, en mm.

$C_T$  es el carbono equivalente total

$T_p$  es la temperatura de precalentamiento que se recomienda.

Es importante mantener esta temperatura durante todo el proceso de soldadura, y después procurar que el material enfríe lentamente.

<sup>(1)</sup> Fórmula según IW (Welding Institute)

2. Elegir un consumible de soldadura lo más similar al metal base. Para esta elección, consultar nuestro catálogo general de consumibles.
3. Soldar con el número de pasadas necesario para rellenar la junta o la fisura, en cordones finos, respetando que la temperatura entre pasadas no supere o sea inferior a la de precalentamiento (dejar enfriar la pieza si se sobrecalienta o calentarla si se enfría).
4. Limpiar restos de escoria escrupulosamente al finalizar cada cordón.
5. Procurar que, tras la soldadura, no se produzca un enfriamiento brusco de la pieza.
6. Si se necesita una cierta dureza en la superficie de la pieza, o reducir las tensiones residuales que han quedado tras la soldadura, puede llevarse a un post-tratamiento térmico una vez la reparación ha concluido.

### • Si se desconoce la composición y características del metal base:

En este caso es importante intentar identificar sus características lo mejor posible. Sería ideal realizar un análisis químico cuyo resultado nos dará una idea bastante aproximada del comportamiento del material durante la soldadura de reparación, y podremos seguir los pasos indicados en el apartado anterior. En muchas ocasiones, no obstante, esto no es posible; entonces pruebas rápidas sobre la misma pieza pueden resultar de gran utilidad. Por ejemplo, se obtiene una gran información observando el comportamiento del material durante la preparación de la superficie para ser reparada:

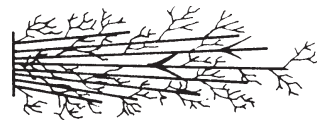
- a) La cantidad y forma de chispas despedidas durante el amolado nos indican el contenido de carbono, el cual influye muy drásticamente en la templabilidad del material, y, por tanto, en su soldabilidad.



Acero Bajo C: Rayos blancos, longitud 1,5-2 m. Más chispas cuanto más C



Acero Alto C: Rayos blancos, longitud 1-1,5 m. Muchas chispas.



Acero Aleado (ej. inox): Rayos amarillos, longitud dependiendo de los aleantes: Mn, los rayos caen alrededor de la mola. Cr, las chispas son naranja. Ni, chispas al final de los rayos. Otros aleantes, chispas en forma de flechas.



Fundición gris: Rayos inicialmente rojos, que más adelante se vuelven amarillos. Con muchas chispas, longitud 0,6m.



Fundición blanca: Rayos inicialmente rojos, que más adelante se vuelven amarillos. Longitud 0,5 m.



Fundición maleable: Rayos amarillos. Longitud 0,8 m.

- b) La dureza del material, que detectamos, por ejemplo, en función de la dificultad o facilidad para mecanizarlo o según cómo una lima marque su superficie, también nos dará una idea del estado de temple del acero: Un acero es más duro cuanto más templado esté, y esto generalmente sucede cuando el contenido de carbono es mayor.
- c) Otro tipo de aceros que conviene distinguir antes de proceder a una reparación, serían los aceros inoxidable o las fundiciones de acero. Por ejemplo, la gran mayoría de estos materiales tienen un comportamiento no magnético. En este caso, acercando un imán al material, si no es atraído por el mismo, es posible que se trate de uno de estos aceros, y, por lo tanto, su tratamiento para la soldadura de reparación será diferente a la de los aceros al carbono.

Al no conocer exactamente la composición del metal base, será casi imposible poder elegir un consumible de composición y características cercanas. Entonces, disponemos de una gama de consumibles, denominada tradicionalmente como “**Consumibles de Reparación**”, de uso universal, para utilizar en estas ocasiones. El resultado de las reparaciones con estos consumibles será tanto mejor cuanto mayor información hallamos obtenido del metal base, según los apartados anteriores, con lo que podremos tratarlo de la mejor forma para no causar fisuras, porosidad u otros defectos al intentar repararlos con soldadura.

Para reparar estos materiales, según el resultado de las pruebas realizadas, aunque no sabemos su exacta composición química, el contenido de carbono observado mediante las chispas y la dureza, nos proporcionan suficiente información para poder clasificarlos en tres categorías diferentes y saber cómo tratar a cada uno de ellos en una reparación:

### **Aceros dulces (de bajo contenido de carbono):**

Son los aceros de menor dificultad para reparar, siempre que se realice correctamente la preparación de la pieza, tal como se indica en el apartado correspondiente.

Generalmente no se necesita precalentar este tipo de materiales, a menos que tengan un espesor considerable. En general, si la pieza tiene menos de 25 mm de espesor, únicamente conviene calentarla ligeramente para soldar a una temperatura de 25°C (esta regla es útil para soldar cualquier material, ya que hasta el acero más dulce puede fragilizarse a temperaturas bajas, lo cual causa fisuración cuando se suelda); si la pieza tiene más espesor, calentar unos 25°C por cada 25 mm de espesor (ej. pieza de 75 mm de espesor: precalentar a unos 75°C).

Consumibles para reparar este tipo de aceros:

### **ELECTRODOS RECUBIERTOS:**

#### **BASO 50 SP**

Electrodo básico de muy bajo contenido de hidrógeno, indicado para construcción y/o reparación de piezas sometidas a una temperatura de servicio entre -40 a +350°C. Para usar sobre acero estructural, acero naval y acero de tubería hasta grado X-60. Excelente soldabilidad y suavidad de arco, tanto con c.c. como con c.a. en todas posiciones.

### **ALAMBRES MIG y TUBULARES**

**SUPRA MIG  
OUTERSHIELD71E-H  
OUTERSHIELD MC710-H  
INNERSHIELD NR 211MP  
INNERSHIELD NR 232**

### **VARILLAS TIG**

**LNT 26**

### **Aceros de medio contenido de carbono**

Estos aceros suelen tener un contenido de carbono equivalente entre 0,25 y 0,50. Su templabilidad es mayor que la de los aceros dulces, y, para evitar el temple de las zonas adyacentes a la soldadura (ZAT) y el peligro de fisuración que esto representa (suele producirse al cabo de unas horas a unos días después de haber soldado), es necesario precalentar a mayores temperaturas que las indicadas para la familia de aceros anteriores: de 100 a 150°C, también aumentando esta temperatura unos 25°C cada 25 mm de espesor (ej. acero de medio carbono de 75 mm de espesor: precalentar a unos 175°C).

Los consumibles para realizar estas reparaciones son algo más complejos que los indicados para el apartado anterior: al no conocer exactamente el acero que tenemos, no podemos arriesgar su ruptura o fisuración cuando finaliza la reparación del mismo; debe emplearse un consumible que proporcione una reparación segura y con garantías:

### **ELECTRODOS RECUBIERTOS:**

#### **REP TEC 126**

Electrodo de alto rendimiento (160%) con recubrimiento rúflico de excelente soldabilidad. Para soldadura de aceros templables y para capa intermedia en recargues duros o para recargues completos si se necesita una superficie mecanizable (dureza tras soldadura 220 HB; dureza tras mecanizado o trabajo 440 HB). Es ideal para reparación de aceros al manganeso, ya que deposita un cordón de acero inoxidable austenítico aleado con 6% Mn. Para una temperatura de servicio de hasta 300°C. Es además resistente a la oxidación hasta temperaturas de 850°C.

#### **REP TEC 29**

Electrodo con recubrimiento rúflico de excelente soldabilidad y eliminación de escoria, en todas posiciones. Para soldadura de aceros templables y aceros rápidos, sobre todo para aplicaciones donde se requiere una elevada resistencia mecánica y límite elástico (>700 N/mm<sup>2</sup>). Es un electrodo indispensable en el almacén del soldador de mantenimiento pues puede utilizarlo para la reparación de la mayoría de piezas de acero, aún sin conocer su composición, con casi total garantía. Puede aplicarse también para capa intermedia en recargues duros y en recargues con Stellites.

## ALAMBRES MIG

**KD 307**

fundiciones de hierro o aceros fundidos. Está recomendado también para la reparación de aceros refractarios ya que posee una alta resistencia a fisuración en caliente. Únicamente puede soldarse en c.c.+.

### Aceros de alto contenido de carbono

Se consideran aceros de alto contenido de carbono cuando el carbono equivalente sobrepasa el 0,50. Son aceros de muy rápida templabilidad, incluso al aire, y su soldadura resulta de gran dificultad, en cuanto que, si no se toman las precauciones necesarias, van fisurando a medida que se los suelda o inmediatamente después. Su soldabilidad resulta prácticamente imposible cuando el contenido de carbono es superior al 0,80%.

Para proceder a la reparación de piezas con estas características, una vez preparadas, tal como se indicó anteriormente, el precalentamiento a altas temperaturas es imprescindible. Como orientación, una pieza de 25 mm de espesor debería precalentarse a un mínimo de 250°C (o hasta 350-400°C si se sospecha que su contenido de carbono es muy elevado), e, igualmente, aumentar esta temperatura unos 25°C más por cada 25 mm de espesor. Aunque en la práctica esta recomendación puede resultar muy difícil de seguir, cuanto más pueda el soldador de mantenimiento acercarse a estas recomendaciones, mayor garantía resultará en la reparación.

Para reparar estos aceros, si se precalienta a las temperaturas indicadas, pueden utilizarse los consumibles indicados para los aceros de medio contenido de carbono:

## ELECTRODOS RECUBIERTOS

**REP TEC 126**  
**REP TEC 29**

## ALAMBRES MIG

**KD 307**

Además, para trabajos de extrema dificultad, o cuando no se pueden conseguir las temperaturas recomendadas, o para aceros especialmente duros o piezas muy rígidas, los siguientes consumibles son ideales:

## ELECTRODOS RECUBIERTOS:

### **REP TEC 7**

Electrodo de recubrimiento básico de aleación base níquel, de rendimiento 140%, para soldar materiales sometidos a temperaturas de servicio desde -196 a +1100°C. La soldadura que resulta es muy resistente a fisuración por shock térmico. Tiene un alargamiento muy elevado (casi 40%), por lo que, unido al resto de sus propiedades, es un electrodo imprescindible para realizar las reparaciones más difíciles, incluso cuando involucran materiales difíciles de soldar o mezcla de diferentes materiales, incluidos aceros inoxidables o

## ALAMBRES MIG

**LNM NiCro 70/15**

## VARILLAS TIG

**LNT NiCro 70/15**

### Aceros no magnéticos

Si, como se indicó en una de las pruebas para reconocer el tipo de material, se acerca un imán a la pieza, y no es atraído por ella, normalmente se tratará de un acero austenítico o un material de aleación de níquel.

De entre los aceros austeníticos, los más usuales que se pueden encontrar en piezas para ser reparadas pueden ser aceros inoxidables, aceros al manganeso o fundiciones de acero de alta aleación. Será muy difícil, puesto que se desconoce la composición de la pieza, distinguir entre cada uno de ellos.

Algunas pistas que pueden ser de utilidad son:

- Las fundiciones de acero, por regla general, no tendrán soldaduras, sino serán piezas moldeadas enteras.
- Los aceros al manganeso se emplean generalmente para piezas de equipos de movimiento de tierra o para componentes de una cierta dureza. Podrían presentar cierta oxidación superficial en forma de puntos salpicados de color marronoso.
- Los aceros inoxidables se emplean muy a menudo en conducciones (tuberías) y tanques o depósitos.
- Las aleaciones de níquel suelen estar reservadas para componentes de alta responsabilidad expuestos a líquidos muy corrosivos y normalmente que trabajan a altas temperaturas (más de 200°C).

Aún distinguiendo de qué tipo de acero se trata, no podremos elegir el consumible que más se le parezca. En este apartado, por este motivo, los consumibles que se recomiendan son siempre los más versátiles para que, aún tratándose del acero más aleado de cada una de estas familias, el resultado de la reparación sea óptimo.

A la hora de soldar estos materiales, tienen estas tres familias un punto en común: al contrario de las piezas de aceros descritos en los apartados anteriores, el precalentamiento no es necesario, sino que es preferible soldar las piezas en frío (aunque nunca debajo de los 20°C), con el mínimo aporte térmico y no dejando que las piezas se calienten por encima de los 100°C (habrá que parar y dejarlas enfriar si, durante la soldadura su temperatura aumenta).

Como siempre, las recomendaciones hechas anteriormente para

preparar las piezas antes de la reparación siguen siendo imprescindibles.

Los consumibles que se recomiendan si se ha podido distinguir de cuál de estas familias de aceros se trata son:

### 1. Acero inoxidable:

#### **ELECTRODOS RECUBIERTOS:**

##### **AROSTA 309 Mo**

Electrodo de muy buena soldabilidad en todas posiciones de elevado contenido de cromo y níquel, con 2,7% de molibdeno para proporcionar una excelente resistencia a corrosión por picaduras. Apropiado para soldar casi todos los tipos de aceros inoxidables.

##### **AROSTA 309 Mo**

Electrodo de excelente soldabilidad en todas posiciones de elevado contenido de cromo y níquel. Apropiado para soldadura de aceros inoxidables ferríticos (este tipo de aceros inoxidables sí es magnético), y también para soldadura heterogénea o lo que es lo mismo, soldar y/o plaquear aceros inoxidables con aceros al carbono y aceros de baja aleación.

#### **ALAMBRES MIG**

**LNM 309 MoL**  
**LNM 309 LSi**

#### **VARILLAS TIG**

**LNT 309 LSi**

### 2. Aleación de alto níquel:

#### **ELECTRODOS RECUBIERTOS**

##### **REP TEC 7**

Electrodo ya descrito anteriormente

#### **ALAMBRES MIG**

**LNM NiCro 70/15**

#### **VARILLAS TIG**

**LNT NiCro 70/15**

### 3. Aceros al manganeso:

#### **ELECTRODOS RECUBIERTOS**

**REP TEC 126**

#### **ALAMBRES MIG**

**KD 307**

### 4. Fundiciones de acero de alta aleación

#### **ELECTRODOS RECUBIERTOS**

##### **REP TEC 7**

Electrodo ya descrito anteriormente

#### **ALAMBRES MIG**

**LNM NiCro 70/15**

#### **VARILLAS TIG**

**LNT NiCro 70/15**



## Ventajas del Recargue

La diferencia entre un componente o pieza nueva y una usada y desgastada, puede expresarse mediante la diferencia de peso entre ambas, o bien, mediante la diferencia entre sus dimensiones.

Una diferencia de apenas un pequeño porcentaje causa, a veces, que deba tirarse el componente usado a la chatarra habiendo perdido casi todo su valor.

La lucha contra el desgaste es muy importante y se han desarrollado muchas técnicas para aumentar la vida de los componentes expuestos a tal desgaste.

Una de las primeras técnicas que se desarrollaron fue el recargue mediante soldadura. Las aplicaciones realizadas con éxito durante más de 40 años han demostrado que esta técnica permite importantes ahorros, no sólo porque puede recuperarse el componente desgastado, sino que además, en algunas ocasiones, si la reparación se ha realizado correctamente, es posible obtener una pieza recuperada con una superficie más resistente al desgaste que la averió que una pieza original.

Aumentar la vida de servicio de un componente tiene las siguientes ventajas:

1. Se aumenta la eficacia y el rendimiento
2. Se reduce el tiempo de paradas improductivo para reparaciones.
3. Se reduce el coste de montar y desmontar las piezas.
4. Posiblemente se reduce también el coste de producción ya que se reduce el coste de los equipos de producción.
5. Se reduce el stock de piezas de recambio.

Si se utilizan equipos formados por componentes de diferentes materiales, cada uno de ellos el más óptimo para resistir el tipo de desgaste a que esté sometido, dicho equipo sería normalmente muy caro. En cambio, pueden utilizarse equipos con componentes de materiales más económicos y revestirlos, bien cuando están nuevos, o a medida que vayan desgastándose sus componentes, de los materiales de mayor resistencia al tipo de desgaste que sufren, con lo que se obtendrá un equipo de una larga durabilidad a un precio mucho más económico.

## ¿Qué materiales pueden ser recargados mediante soldadura?

Los metales no-férreos y algunas fundiciones pueden ser recargadas mediante soldadura. La gran mayoría de componentes sometidos a desgaste que se emplean en la industria son, no obstante, de acero (de diferentes calidades) y este es el material más común para recargar mediante soldadura.

## Preparar un material para su recargue

Deben seguirse las mismas recomendaciones citadas en el capítulo de reparaciones. En general, la pieza desgastada presenta defectos en su superficie que deben ser escrupulosamente retirados antes de empezar a soldar. Estos defectos pueden ser fisuras, oxidaciones, inclusiones de cuerpos extraños, etc. Si se procediese a la soldadura antes de limpiar, primero la capa anti-desgaste no quedaría perfectamente fijada a la superficie desgastada, y además se correría el riesgo de producir defectos mayores en dicha pieza (por ejemplo soldar sobre una pieza fisurada puede causar una fisura aún mayor o incluso llegar a romper la pieza antes o durante su puesta en funcionamiento).

Además de estas recomendaciones, todo lo citado concerniente a la identificación del tipo de material a reparar, sigue siendo de gran utilidad a la hora de proceder a un recargue. Esto junto con las recomendaciones dadas sobre cómo tratar dicho material sobre precalentamientos y post-tratamientos de soldadura, debe tenerse en cuenta en recargue con soldadura, que en realidad es un tipo muy especial de reparación, y, que, por lo tanto, cuanto mejor sea la técnica que se realice, mayor será el resultado y la durabilidad del componente recargado, con lo que se disminuirán costes y tiempo de mantenimiento de dichos componentes, así como se podrá aumentar la productividad de los mismos.

## Reconstruir un material desgastado antes del recargue

Una parte muy importante de la preparación del material, antes de proceder al recargue resistente al desgaste, es el capítulo de la reconstrucción del mismo. *Para una mayor eficacia de esta reconstrucción, debería realizarse con un material lo más similar posible al material que vamos a reconstruir. En el caso de que su composición química fuera conocida, será fácil encontrar el material más idóneo consultando el **catálogo general de consumibles**. Si la composición, en cambio, fuera desconocida, las pruebas citadas para el reconocimiento del mismo, citadas en el capítulo de reparación, al igual que los tratamientos de precalentamiento y **los consumibles indicados para cada familia de materiales**, son también aplicables a este capítulo de reconstrucción de las piezas.*

En el caso de piezas de gran volumen, además de los procesos de soldadura para las que se citan consumibles en el capítulo anterior, uno de los procesos que más se utilizan con el fin de disminuir costes, es el Arco Sumergido. Los consumibles a utilizar para cada una de las familias de materiales, con Arco Sumergido, se relacionan a continuación (los precalentamientos siguen siendo válidos con este proceso):

• **Aceros de bajo contenido de carbono :**

**L-61 / FLUX 860**  
**Lincore 20 / FLUX 801**

• **Aceros de medio contenido de carbono :**

**Lincore 30 / FLUX 801**

• **Aceros de alto contenido de carbono :**

- \* En el caso de desgaste por abrasión (según se explica posteriormente):

**Lincore 35-S / FLUX 801**

- \* En el caso de desgaste por erosión por impactos:

**Lincore M / FLUX 801**

• **Aceros al manganeso :**

**Lincore M / FLUX 801**

• **Aceros al Cromo - Manganeso :**

**Lincore 15CrMn / FLUX 801**

## Cómo elegir la solución de recargue

Hay muchas formas de clasificar los materiales para proceder a recargarlos. Para que resulte más práctico, se intenta en este documento hacer una clasificación que permita atacar el problema y encontrar la solución más óptima tal como realmente sucede en la práctica: Nos encontramos ante un material desgastado (deberíamos entonces saber distinguir cuál fue la causa de este desgaste) y debemos encontrar cuál será el material más óptimo (*económico\**) para recargarlo y la técnica más efectiva.

- \* *El concepto económico no significa barato. Significa encontrar la solución que resulte de mayor garantía en cuanto que la duración de la pieza recargada dará más beneficios que el coste del recargue (incluyendo también el de preparación del componente antes de realizarlo y el posible post-tratamiento que necesite), lo cual incluye escoger la técnica, el consumible y el tratamiento óptimos para conseguir este objetivo.*

Con el fin de apoyar esta tesis de economía, se indican los procesos de soldadura más útiles. Según las dimensiones de la pieza y los medios de que se dispongan, se elegirá uno u otro proceso. En el caso, por ejemplo, de los electrodos recubiertos, la mayoría de los que se recomiendan para cada aplicación específica, están diseñados como electrodos de gran rendimiento (entre 160-250%), lo cual ayuda a reducir costes, ya que se deposita mayor cantidad de material en un tiempo dado, a unos parámetros muy similares a los que se utilizarían en el caso de electrodos de rendimiento normal -ahorro de energía.

Según estas premisas, una forma muy práctica y general de clasificar técnicas de recargue, es mediante la clasificación de los tipos de desgaste que pueden afectar a los múltiples componentes que se usan en la industria. Con ello se podrá aplicar una solución óptima independientemente del tipo de industria particular en donde se dé este fenómeno.

Los tipos de desgaste que se encuentran en componentes metálicos industriales son:

- Desgaste por abrasión
- Desgaste por erosión por impactos
- Desgaste por combinación de erosión y abrasión
- Desgaste por cavitación
- Desgaste por fricción metal-metal
- Desgaste por corrosión
- Desgaste por efecto de altas temperaturas

Por supuesto, en muchas ocasiones no encontramos una pieza desgastada por uno de estos factores puramente, sino por la combinación de dos o más de los mismos. En estos casos para encontrar la solución más óptima deberá pensarse en el mecanismo de defensa de los materiales que se proponen de recargue contra cada uno de los tipos de desgaste, para combinar las propiedades de dichos materiales de forma que sean lo más resistentes posible para la combinación de todos los fenómenos de desgaste a que estén sometidos.

## Piezas sometidas a desgaste por abrasión

Desde el punto de vista técnico, el desgaste por abrasión se observa cuando hay material eliminado de la superficie de un componente debido a una acción de corte más un efecto de deformación plástica de dicha superficie: Las partículas abrasivas penetran en el metal base, cortando y deformando los granos metálicos.

Se pueden distinguir diferentes tipos de abrasión:

• **Abrasión típica de molienda:**

Se reconoce este tipo de abrasión cuando entre dos superficies que se desgastan, las cuales están ejerciendo una fuerte presión (más de 200 kg/mm<sup>2</sup>) una sobre la otra, hay partículas duras abrasivas que quedan aplastadas en dichas superficies.

Ejemplo: Bolas y barras de molinos.

• **Abrasión por efecto cizalla:**

Se produce por la combinación de elevadas presiones e impactos más o menos suaves. El material que se desgasta es extraído de la superficie porque el material abrasivo "cava" dicha superficie, como sucede en un proceso de mecanizado.

Ejemplo: Cilindros o rodillos trituradores, trituradoras de mandíbulas, cangilones de molinos, cuchillas rascadoras y dientes de palas excavadoras.

Los parámetros más importantes a considerar en un fenómeno



de abrasión son:

1. Características de las partículas abrasivas: Tamaño y dureza (escala Mohs)
2. Velocidad de las partículas abrasivas
3. Ángulo de ataque de las partículas sobre la superficie del material que se desgasta
4. Presión aplicada sobre dicha superficie
5. Otras propiedades como lubricación, corrosividad, etc., que puedan acelerar o disminuir el fenómeno de desgaste.

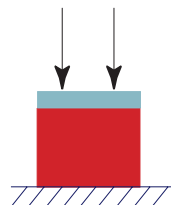
### Ejecución del recargue resistente a abrasión

Los materiales que mejor resisten el desgaste por abrasión, son, generalmente los de mayor dureza. Debe tenerse en cuenta, no obstante, que para una gran mayoría de materiales, la dureza es una propiedad opuesta a la tenacidad; es decir, cuanto más duro, el material es también menos tenaz\*. Esto es un factor muy determinante a la hora de elegir un consumible de recargue, ya que sólo podremos elegir un consumible de gran dureza en el caso de que el material que se recarga esté sometido exclusivamente a fenómenos de abrasión. Si combinado con este fenómeno, existiese también desgaste por erosión debida a impactos, es posible que la dureza del recargue (y por tanto su fragilidad) diera lugar a un desgaste más acelerado de lo que se hubiera planeado. *Todo esto refuerza la idea de cuán importante resulta estudiar, antes de proceder al recargue, la causa del desgaste de los materiales.*

\* **Tenacidad** es la propiedad que mide la capacidad de resistir un golpe o la aplicación de una fuerza dinámica, sin romper, a una determinada temperatura. Este concepto de tenacidad a una cierta temperatura es importante, ya que un material como, por ejemplo un acero al carbono dulce, que se considera relativamente tenaz a temperatura ambiente, es, en cambio, un material bastante frágil a una temperatura de  $-100^{\circ}\text{C}$ .

En general, las aleaciones de recargue resistentes a desgaste por abrasión tienen:

1. Muy elevada resistencia a compresión



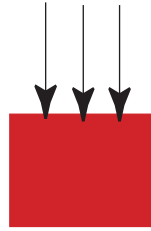
2. Débil resistencia a tracción



3. Débil resistencia a cizallamiento

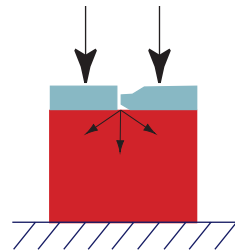


Teniendo estas propiedades en cuenta, para realizar un buen recargue resistente a este tipo de desgaste, se necesita:



1. Depositar la aleación de recargue de manera que las fuerzas actúen en compresión.
2. Realizar una capa intermedia al recargue duro, con material de elevado límite elástico, el cual ayude a soportar las deformaciones que estas fuerzas pudieran provocar.

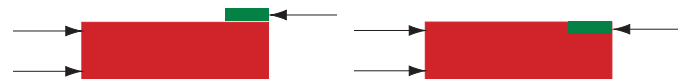
Lo que sucedería si esto no se realizase de la forma descrita, y, por ejemplo el recargue estuviera expuesto a fuerzas de tracción:



El material se rompe o fisura muy fácilmente ya que el material intermedio lo somete a una fuerza de tracción.

Y, finalmente, es muy importante:

Para evitar las fuerzas de cizallamiento, colocar el recargue de forma que éstas también actúen en compresión.

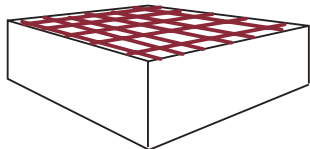


MAL

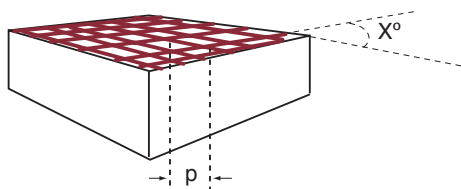
BIEN

## Protección de las superficies contra abrasión

A veces, este tipo de superficies pueden ser protegidas de forma eficaz y con menor coste, realizando cordones bien paralelos a la dirección del flujo de las partículas abrasivas, o bien en forma de tablero de ajedrez, o con botones de tamaño más o menos grande, etc.



El dibujo del tablero de recarga debe estar determinado por ensayos prácticos, y, al igual que la elección de uno u otro consumible de recarga puede resultar en mayor o vida de la pieza, la disposición de este recarga puede suponer, igualmente, un factor determinante.

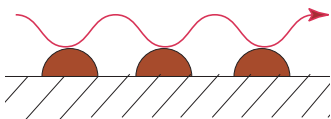


El dibujo del recarga viene determinado por los parámetros:

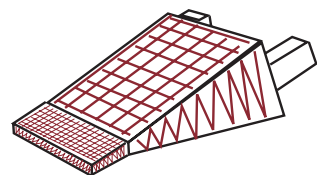
- "p" es la distancia entre ejes
- "X" es el ángulo de inclinación de los cordones de soldadura.

El mecanismo de protección contra el desgaste de un recarga realizado de esta forma, depende de las condiciones de trabajo. Ejemplos:

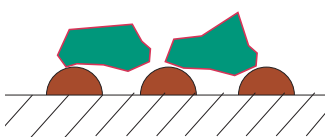
- En palas de un ventilador extractor, que contiene polvo. El polvo circula normalmente a muy altas velocidades, y los impactos contra las palas de este polvo puede ser solamente contra los cordones recargados, sin tocar el metal base, si se ha calculado los parámetros "p" y "x" acertadamente.



- Dientes de una pala excavadora



En esta aplicación, el material que desgasta tiene un tamaño muy variable, y contiene partículas muy pequeñas que llenan los intersticios de los cordones de recarga. Estas partículas pequeñas están, en este caso, protegiendo el material base, y las partículas mayores nunca entran en contacto directo con el mismo.



## Elección del consumible para resistencia a desgaste por ra abrasión

Teniendo en cuenta todo lo expuesto referente al fenómeno de la abrasión, queda claro que los consumibles que se citarán para realizar los recargos, en este caso, serán los que depositen un material de gran dureza. Normalmente, la elección de este consumible dependerá en las posibles limitaciones que puedan existir como es el caso de estos ejemplos:

- la dureza máxima recomendable si se quiere mecanizar el depósito de soldadura, es de unos 250 HBr; entonces, en este caso, aunque por las necesidades de resistencia a abrasión, podamos escoger un material de dureza incluso superior a 60HRc, quedaremos limitados a la dureza necesaria para mecanizado. Una elección muy apropiada podría ser un consumible de acero al manganeso, el cual depositará una aleación mecanizable -con 250 HBr, pero que, por trabajo puede endurecerse hasta 450 HBr, con lo cual aumentará su resistencia a la abrasión).
- En el caso de que los componentes que se recargan estén sometidos a altas temperaturas, quizá sería más conveniente elegir un material, por ejemplo de aleación de Cobalto -tipo Stellite, que, aunque tenga menor dureza, pueda mantenerla relativamente elevada incluso a dichas altas temperaturas.
- Si para una aplicación dada, el coste del consumible (y, en general, el coste del recarga) es superior al resultante del incremento de vida del componente que se recarga, quizá sería más interesante elegir el consumible inmediatamente inferior en dureza, y también en coste.

## Capa intermedia en recargos resistentes a abrasión

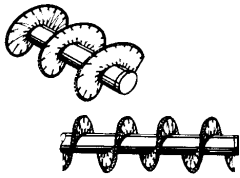
Para capa intermedia en estos recargos, hemos mencionado anteriormente que son preferibles los materiales de elevado límite elástico. Para dar este recargamiento:

- Precalear las piezas a 150-200°C, respetando una temperatura entre pasadas máxima de 400°C.
- Puede darse un número ilimitado de pasadas
- Respetar una velocidad de enfriamiento lenta si se quiere evitar fisuración debajo de los cordones
- La dureza que se obtenga de esta capa será en cierta medida función de la velocidad de enfriamiento: a mayor velo-

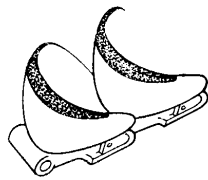
### REP TEC 29

Electrodo con recubrimiento rutílico de excelente solubilidad y eliminación de escoria, en todas posiciones. Para soldadura de aceros templables y aceros rápidos, sobre todo para aplicaciones donde se requiere una elevada resistencia mecánica y límite elástico (>700 N/mm<sup>2</sup>). Es un electrodo indispensable en el almacén del soldador de mantenimiento pues puede utilizarlo para la reparación de la mayoría de piezas de acero, aún sin conocer su composición, con casi total garantía. Puede aplicarse también para capa intermedia en recargos duros y en recargos con Stellites.

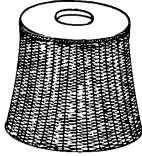
## Consumibles resistentes a abrasión



Tornillos de Arquímedes



Labios de cangillones de drenaje



Rodillos de molinos trituradores

A continuación se exponen los diferentes consumibles apropiados para resistir aplicaciones de exposición a abrasión, en orden creciente de resistencia a abrasión. Otra consideración, no introducida hasta ahora, pero no menos importante, es la estructura metalográfica ideal para resistir este tipo de desgaste, que es casi tan crucial como la dureza:

*La estructura con carburos de cromo en matriz eutéctica es la más ideal para resistir el desgaste por abrasión, ya que esta estructura prácticamente no admite deformación plástica.*

## ELECTRODOS RECUBIERTOS:

### KD 63 (WEARSHIELD 60)

Electrodo de 170% de rendimiento. Deposita una aleación de estructura de carburos primarios (en su mayoría de cromo) en matriz eutéctica. Para recargue de piezas sometidas a abrasión severa. Produce un depósito de elevada resistencia a oxidación y corrosión, gracias a su alto porcentaje de Cromo, que le proporciona, además una buena resistencia a elevadas temperaturas (hasta 700°C - aunque a esta temperatura su dureza sea inferior a la que muestra a temperatura ambiente). Labios de palas mecánicas y palas excavadoras, tornillos de Arquímedes, campanas de altos hornos (área de carga), molinos trituradores de carbón, mezcladores de asfalto, etc. Se recomienda:

- No precalentar si el acero base es austenítico (no magnético). Precalentar a 250°C aceros dulces de grandes dimensiones o aceros de alto o medio carbono o fundiciones de hierro.
  - Soldar en cordones rectos y rápidos (sin balancear el electrodo) para obtener fisuras transversales de eliminación de tensiones espaciadas unos 10 a 20 mm.
  - No realizar más de dos o tres pasadas con este electrodo, y, si se suelda sobre materiales de elevado contenido de carbono o es necesario realizar más pasadas, efectuar una capa intermedia con **REP TEC 29**. Esto evitará fisuración y desprendimiento del recargue del material base.
  - Si sólo debiera realizarse una capa, sobrelapar los cordones en gran medida (sobre el 70%), para obtener la estructura de carburos primarios -la dilución puede dejar una estructura de austenita primaria o casi eutéctica con inferior resistencia a la abrasión.
- Dureza del material sin dilución: 62-63 HRc.

### KD 700 SUPERDUR (WEARSHIELD 70)

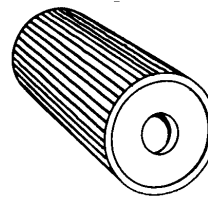
Electrodo de 250% de rendimiento. Deposita una aleación de estructura mayoritaria de carburos de diferentes metales de pequeño tamaño y mayor dureza que los carburos de cromo. Se utiliza para trabajos de abrasión muy severa, asociada a menudo con altas temperaturas (más de 500°C). Para tamices y trituradores de clinkers de cemento, campanas de altos hornos (área de carga). El depósito es una de las aleaciones más resistentes, únicamente superada por aleaciones de carburos de wolframio. Se recomienda:

- No precalentar si el acero base es austenítico (no magnético). Precalentar a 250°C aceros dulces de grandes dimensiones o aceros de alto o medio carbono o fundiciones de hierro.
  - A diferencia de los electrodos anteriores, aún con cordones anchos y más lentos, se obtienen fisuras transversales de eliminación de tensiones muy juntas.
  - No realizar más de dos o tres pasadas con este electrodo, y, si se suelda sobre materiales de elevado contenido de carbono o es necesario realizar más pasadas, efectuar una capa intermedia con **REP TEC 29**. Esto evitará fisuración y desprendimiento del recargue del material base.
  - En aplicaciones donde, además de resistencia a abrasión el material esté expuesto a elevadas temperaturas, se recomienda utilizar **LIMAROSTA 309** para capa intermedia.
  - Si sólo debiera realizarse una capa, sobrelapar los cordones en gran medida (sobre el 70%), para obtener la estructura de carburos primarios -la dilución puede dejar una estructura de austenita primaria o casi eutéctica con inferior resistencia a la abrasión. En este caso, si sólo es posible dar una capa, este electrodo es la mejor elección para obtener la máxima resistencia a abrasión.
- Dureza del material sin dilución: 68-70 HRc.

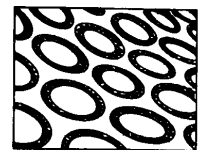
### KD DIAMANT (WEARSHIELD WC)

Electrodo de varilla tubular, rellena de aleación de carburos de wolframio en una malla fina (0,16-0,31mm) para aportaciones que deban resistir la abrasión en grado máximo. El mismo material está disponible como varilla desnuda para soldadura TIG u oxiacetilénica. Se recomienda realizar dos pasadas con este consumible. Si fuera necesario dar mayor número de pasadas, puede hacerse una capa intermedia con **REP TEC 29** y una o dos pasadas con alguno de los electrodos citados anteriormente.

Dureza del material sin dilución: 2000 HV (CW)



Rodillos de molino de clinkers



Tamices rotativos y vibratorios

## ALAMBRES TUBULARES AUTOPROTEGIDOS:

### LINCORE 60-O

Alambre tubular autoprotegido (no necesita gas). Los diámetros mayores pueden utilizarse sin protección o, para mejor aspecto del cordón, en soldadura de Arco Sumergido, con flux 803. Las características del depósito que aporta, aplicaciones y las recomendaciones para su utilización, son casi idénticas a las mencionadas para el electrodo KD 63 (WEARSHIELD 60). Para indicación de parámetros de soldadura, consultar "Data Sheet" de este producto. Dureza del material sin dilución: 60 HRC.

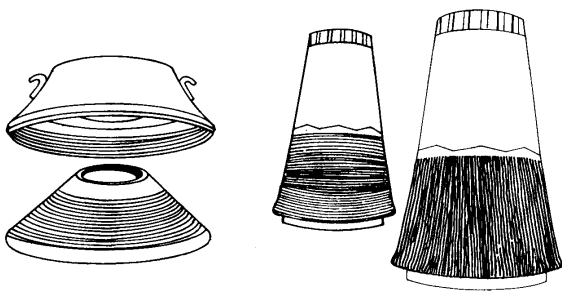
### LINCORE 65-O

Alambre tubular autoprotegido (no necesita gas). Tiene mayor contenido en carbono y cromo que el LINCORE 60-O, con lo que se obtiene una dureza ligeramente superior, y su resistencia al desgaste por abrasión es también mayor. Es un consumible ideal en el caso de necesitar una sola capa de recargue, ya que, incluso con la dilución del material base, conserva la microestructura de carburos primarios, sin necesidad de sobrelapar los cordones en tan gran medida. Se obtienen fisuras transversales de eliminación de tensiones muy juntas, incluso a velocidades de soldadura pequeñas. Dureza del material sin dilución: 65 HRC.

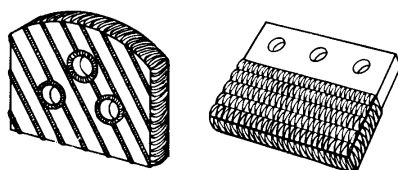
## ALAMBRES / FLUXES ARCO SUMERGIDO:

### LINCORE 60-S / 803 y LINCORE 60-O / 803

La composición, características del recargue, aplicaciones y recomendaciones son equivalentes a lo indicado para el electrodo KD 63 (WEARSHIELD 60). Para indicación de parámetros de soldadura, consultar "Data Sheet" de estos productos. Dureza del material sin dilución: 60 HRC



Camisas y forros de molinos trituradores giratorios



Palas mezcladoras de asfalto

## Piezas sometidas a desgaste por erosión por impactos

Este tipo de desgaste es causado por el impacto de partículas abrasivas sobre la superficie, pero a diferencia del desgaste por abrasión, en este caso, la presión y el impacto de dichas partículas es insignificante comparados con la velocidad de las mismas.

La erosión puede producirse por dos procesos diferentes:

- Erosión debida a deformación: los ángulos de impacto son casi perpendiculares a la superficie.
- Erosión debida a un efecto de corte: los ángulos de impacto son casi paralelos a la superficie.

En general, ambos mecanismos actúan simultáneamente.

Ejemplos de estos tipos de desgaste son: Palas de molinos y ventiladores o extractores o sopladores, bombas de arena, bases de chimeneas de altos hornos, molinos de mazas y de barras, rodillos esmeriladores, molinos de muelas, machacadores, etc.

### Ejecución del recargue resistente a erosión por impactos

Un material con buena resistencia a desgaste por impactos es el que no se fisura o se rompe cuando actúan sobre él fuerzas de compresión dinámicas (a altas velocidades).

Para evitar rotura o desgaste prematuro de componentes sometidos a este fenómeno:

- Cubrir el metal base o el recargue con otro metal más dúctil y de mayor límite elástico. En general, se buscarán los consumibles de recargue con mayor TENACIDAD.
- Limitar el número de pasadas del recargue, siguiendo las instrucciones que se dan para cada tipo de consumible.

### Protección de superficies contra impactos

A diferencia del desgaste por abrasión, en el que, según el tamaño de las partículas abrasivas, puede realizarse un recargue de menor coste, recubriendo sólo parcialmente la superficie según los dibujos de tableros indicados en la sección de este tipo de desgaste, en el caso de desgaste por impactos, normalmente no se puede predeterminar cuál será la zona donde éstos vayan a producirse. Esto motiva en que las superficies deban recargarse en su totalidad para protegerlas de desgaste por erosión debida a impactos.

### Elección del consumible para resistencia a impactos

Los materiales de mayor resistencia a este tipo de desgaste pueden clasificarse en los siguientes grupos:

1. Aleaciones de acero austenítico al manganeso
2. Aleaciones de acero austenítico al cromo-manganeso



### Aleaciones de acero austenítico al manganeso:

- Contienen típicamente de 0,5 a 1,1% de carbono, y de 13 a 20% de aleantes, principalmente manganeso.
- Presentan una dureza de 20 a 25 HRc inmediatamente después de su soldadura, pero se endurecen rápidamente por trabajo hasta 45 a 55 HRc.
- Si hay una alta dilución con el metal base, y éste es de acero sin alear o de baja aleación, la primera capa, si la velocidad de enfriamiento de la soldadura es alta y el precalentamiento es insuficiente, tendrá cierta proporción de martensita, la cual es una estructura muy frágil. Esto puede producir fisuración de esta primera capa e incluso desprendimiento del recargue. Para evitar este fenómeno, los precalentamientos según el tipo de material base de que se trate, son muy importantes.
- Son las aleaciones más *económicas* para resistir este tipo de desgaste.

Recomendaciones para efectuar el recargue con este tipo de aleaciones:

- No precalentar si el acero base es austenítico (no magnético). Precalentar a 250°C aceros dulces de grandes dimensiones o aceros de alto o medio carbono o fundiciones de hierro.
- Limitar la temperatura entre pasadas a 250°C para evitar fragilización del recargue debido a precipitación de carburos de manganeso, la cual tiene lugar alrededor de los 300-315°C.
- Puede darse un número ilimitado de pasadas, y no es necesario efectuar capa intermedia con otro tipo de material.
- Normalmente no será necesario efectuar post-tratamientos térmicos para eliminación de tensiones, ya que la elevada ductilidad del material evitará dichas tensiones, salvo que se quisiera hacer, en aplicaciones de gran responsabilidad, un tratamiento de disolución de carburos, el cual sería a 1100°C.
- **PRECAUCIÓN:** Una exposición elevada a humos con altas concentraciones de manganeso puede causar daños en el sistema nervioso central. Especialmente si se trabaja en áreas confinadas, hay que usar extracción de humos, ventilación adecuada o respiradores de aire suplementarios.

### ELECTRODOS RECUBIERTOS:

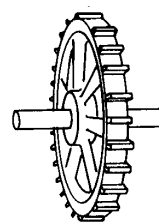
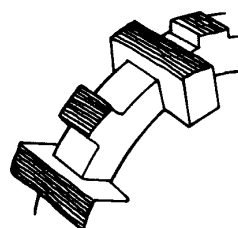
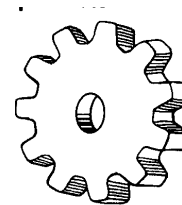
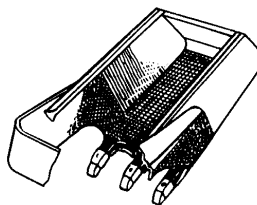
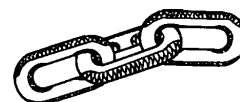
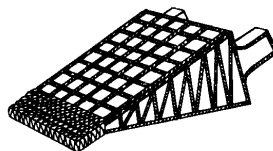
#### WEARSHIELD MANGJET

Electrodo que deposita una aleación de acero austenítico al manganeso, que endurece rápidamente por trabajo desde 20 HRc tras soldadura, hasta 45-50 HRc, lo cual confiere al depósito una mayor resistencia a abrasión. Tiene una gran resistencia a fisuración incluso con grandes sollicitaciones de impacto. El recargue realizado con este electrodo es mecanizable con equipos rígidos y herramientas de carburos, aunque normalmente se utiliza en piezas que no necesitan mecanización tras la soldadura. Se utiliza para recargue de aceros al manganeso y piezas de aceros al carbono si se les quiere dar una mayor resistencia a impactos y a abrasión. Aplicaciones típicas: Equipos de movimiento de tierras y piedras (palas excavadoras -dientes y labios, interior de las palas, bandas de rodamiento de orugas y tractores, ruedas dentadas de cadenas articuladas, eslabones, etc.), cruces de vías de ferrocarril, eslabones y ganchos de grúas, molinos de martillos, etc.

### ALAMBRES TUBULARES AUTOPROTEGIDOS

#### LINCORE M

Alambre tubular autoprotegido (no necesita gas). Los diámetros mayores pueden utilizarse sin protección o, para mejor aspecto del cordón, en soldadura de Arco Sumergido, con flux 803. Las características del depósito que aporta, aplicaciones y las recomendaciones para su utilización, son casi idénticas a las mencionadas para el electrodo WEARSHIELD MANGJET. Para indicación de parámetros de soldadura, consultar "Data Sheet" de este producto.



### Aleaciones de acero austenítico al cromo-manganeso:

- Contienen típicamente de 0,3 a 0,8% de carbono, y de 20 a más de 30% de aleantes (principalmente cromo y manganeso).
- Presentan una dureza de 20 HRc inmediatamente después de su soldadura, pero se endurecen rápidamente por trabajo hasta unos 50HRc.
- Se utilizan para recargue de aceros al carbono y aceros al manganeso, cuando se quiere obtener una mayor resistencia a corrosión, además de las propiedades citadas para las aleaciones anteriores.
- Son ideales si sólo puede realizarse una capa de recargue resistente a impacto. Ya que, aún con la dilución con el metal base, aportan una aleación austenítica muy resistente a fisuración.
- Es preferible no utilizar este tipo de aleaciones, al igual que las anteriores, para unión de aceros al manganeso, o reparación de los mismos; en este caso, es preferible utilizar un consumible como **REP TEC 126**, el cual es un acero al cromo-níquel-manganeso, con las mismas propiedades en cuanto a dureza, resistencia a corrosión y a impactos + abrasión, pero con mucha menor susceptibilidad a fisuración en el centro de los cordones de soldadura.

Las recomendaciones para efectuar el recargue con este tipo de aleaciones son las mismas que para las aleaciones anteriores.

### ELECTRODOS RECUBIERTOS:

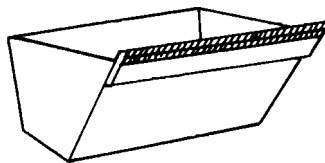
#### **WEARSHIELD 15CrMn**

Electrodo que deposita una aleación de acero austenítico al cromo-manganeso, incluso desde la primera capa, que endurece muy rápidamente por trabajo desde 20 HRc tras soldadura, hasta 40-50 HRc, lo cual confiere al depósito una mayor resistencia a abrasión. Tiene una gran resistencia a fisuración, incluso con grandes sollicitaciones de impacto. Posee además una excelente resistencia a corrosión, gracias a su elevado contenido de cromo. El recargue realizado con este electrodo es mecanizable con equipos rígidos y herramientas de carburos, aunque normalmente se utiliza en piezas que no necesitan mecanización tras la soldadura. Se utiliza para recargue de aceros al manganeso y piezas de aceros al carbono si se les quiere dar una mayor resistencia a impactos y a abrasión. Aplicaciones típicas: Equipos de movimiento de tierras y piedras (palas excavadoras -dientes y labios, interior de las palas, bandas de rodamiento de orugas y tractores, ruedas dentadas de cadenas articuladas, eslabones, etc.), cruces de vías de ferrocarril, eslabones y ganchos de grúas, molinos de martillos, etc.

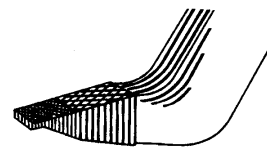
### ALAMBRES TUBULARES AUTOPROTEGIDOS

#### **LINCORE 15CrMn**

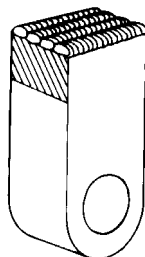
Alambre tubular autoprotegido (no necesita gas). Los diámetros mayores pueden utilizarse sin protección o, para mejor aspecto del cordón, en soldadura de Arco Sumergido, con flux 801. Las características del depósito que aporta, aplicaciones y las recomendaciones para su utilización, son casi idénticas a las mencionadas para el electrodo WEARSHIELD 15CrMn. Para indicación de parámetros de soldadura, consultar "Data Sheet" de este producto.



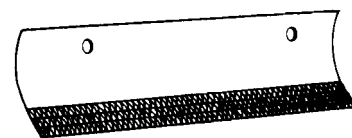
Pala excavadora



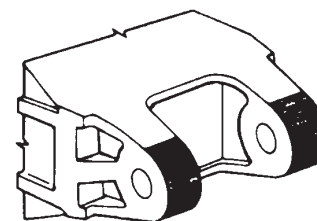
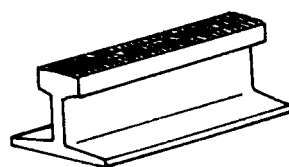
Diente



Molino de martillos



Cuchilla niveladora





## Piezas sometidas a desgaste por combinación de erosión y abrasión

En este caso, la elección del consumible para mayor resistencia al desgaste, será un compromiso entre *dureza* (cuanto mayor dureza, mayor resistencia a abrasión, pero mayor fragilidad) y *tenacidad* (cuanto mayor tenacidad, mayor resistencia a impactos).

Podemos distinguir, para seleccionar el consumible más adecuado, según se presenten los siguientes casos:

### Aplicaciones de abrasión con impacto moderado

#### ELECTRODOS RECUBIERTOS:

##### **KD 59 (WEARSHIELD ME)**

Electrodo de rendimiento 170%. Deposita una aleación con estructura casi totalmente eutéctica con carburos en su mayoría de cromo. Para recargos sometidos a abrasión con impacto muy moderado. Para dientes de cangilones, dientes de palas excavadoras, tornillos de Arquímedes y transportadores, campanas de altos hornos (área de carga), aspas, paletas, martillos, rodillos trituradores, etc. Se recomienda:

- No precalentar si el acero base es austenítico (no magnético). Precalentar a 250°C aceros dulces de grandes dimensiones o aceros de alto o medio carbono.
- Soldar en cordones rectos (sin balancear el electrodo) para obtener fisuras transversales de eliminación de tensiones espaciadas unos 25 mm.
- No realizar más de dos o tres pasadas con este electrodo, y, si se suelda sobre materiales de elevado contenido de carbono o si es necesario realizar más pasadas, efectuar una capa intermedia con **REP TEC 29**. Esto evitará fisuración y desprendimiento del recargue del material base.

Dureza del material sin dilución: 59HRc.

#### ALAMBRES / FLUXES ARCO SUMERGIDO:

##### **L-60 / H-560 (Procedimiento con alto voltaje)**

La composición, características del recargue, aplicaciones y recomendaciones son equivalentes a lo indicado para el electrodo **KD 59 (WEARSHIELD ME)**.

Para indicación de parámetros de soldadura, consultar "Data Sheet" de estos productos.

Dureza del material sin dilución: 55 HRc

### Aplicaciones de impacto con abrasión moderada

La estructura que mejor resiste en este tipo de aplicaciones es la de carburos eutécticos en matriz austenítica, la cual se obtiene con composiciones de 2-3% de carbono y 5-30% de aleantes.

La dureza de estas aleaciones es variable, dependiendo del contenido de carbono, principalmente:

- Unos 30 HRc si el carbono es 2%, aproximadamente.
- Unos 50 HRc si el carbono es 3%, aproximadamente.

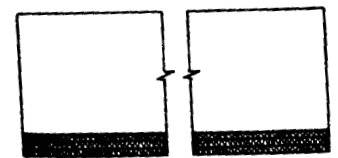
Estas aleaciones son algo endurecibles por trabajo, en función de la proporción de matriz austenítica que presenten. La matriz austenítica tiene la propiedad de absorber los impactos; los carburos tienen la propiedad de resistir la abrasión.

Para depositar recargos de estas aleaciones, se recomienda:

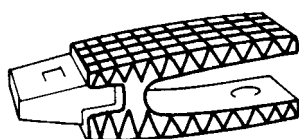
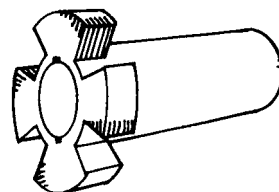
- No precalentar si el acero base es austenítico (no magnético). Precalentar a 250°C aceros dulces de grandes dimensiones o aceros de alto o medio carbono.
- Soldar en cordones rectos (sin balancear el electrodo) para obtener fisuras transversales de eliminación de tensiones.
- No realizar más de dos o tres pasadas con estos consumibles, y, si se suelda sobre materiales de elevado contenido de carbono o si es necesario realizar más pasadas, efectuar una capa intermedia con **REP TEC 126**. Esto evitará fisuración y desprendimiento del recargue del material base.



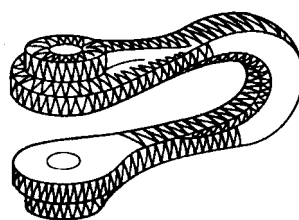
Final trépanos de niveladoras



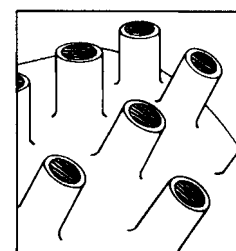
Cuchillas de niveladoras



Adaptador de dientes de pala excavadora



Abrazadera de equipos de drenaje



Salientes de rodillos de apisonadora

## ELECTRODOS RECUBIERTOS:

### WEARSHIELD ABR

Electrodo que deposita una aleación de carburos eutécticos en matriz austenítica, que endurece en cierta medida por trabajo y también por tratamiento térmico. Para recargues de piezas sometidas a impactos con abrasión moderada. Aplicaciones usuales: Cuchillas de bulldozers, carcasas de bombas, dientes de cortadores de drenaje, cadenas-oruga de tractores, cangilones de transportadores, cubas o camisas de molinos, oruga de palas mecánicas, dientes y labios de palas excavadoras, etc. Recomendaciones:

- Depositar una primera pasada fina usando amperajes altos, y precalentamiento a unos 200°C, ya que con la dilución con el metal base, existe el riesgo de formación de martensita en esta primera capa, y, por tanto, de fisuración y/o desprendimiento del recargue.
- Para mayor resistencia a abrasión, depositar una segunda capa del máximo espesor. Procurar no dar más de dos capas.
- Si fuera necesario dar más de dos capas, precalentar a unos 250°C (no exceder los 300°C), dar una tercera capa con **REP TEC 29** para mayor resistencia a abrasión o con **REP TEC 126** para mayor resistencia a impactos, y continuar con otras dos capas del **WEARSHIELD ABR**, y así sucesivamente hasta completar el espesor de recargue deseado.
- Si fuera necesario mecanizar, puede ablandarse el recargue con un tratamiento térmico de 750°C durante una hora por cada 25 mm de espesor del material, y enfriar a una velocidad de 10°C por hora hasta los 650°C, y luego al aire. Para máxima mecanizabilidad, usar el mismo tratamiento térmico, salvo incrementando la temperatura hasta 900°C. Recuperar la dureza del recargue, tras el mecanizado mediante un tratamiento de temple en aceite desde 800°C y revenido a 200°C.

Dureza del material sin dilución: 40 HRc.

### WEARSHIELD 44

Electrodo de las mismas características que el WEARSHIELD ABR, pero muy superior contenido de aleantes, principalmente cromo (25%), con lo que posee, además de las propiedades ya descritas para el electrodo anterior, una excelente resistencia a corrosión, y, al tener algo más de dureza, su resistencia a abrasión es también mayor. Las propiedades, . Las propiedades, aplicaciones y recomendaciones son las mismas que las indicadas para el WEARSHIELD ABR.

Dureza del material sin dilución: 44HRc.

## ALAMBRES TUBULARES AUTOPROTEGIDOS

### LINCORE 50Mn

Alambre tubular autoprotegido (no necesita gas). Los diámetros mayores pueden utilizarse sin protección o, para mejor aspecto del cordón, en soldadura de Arco Sumergido, con flux 803. Las características del depósito que aporta, aplicaciones y las recomendaciones para su utilización, son casi idénticas a las mencionadas para el electrodo WEARSHIELD ABR. Para indicación de parámetros de soldadura, consultar "Data Sheet" de este producto.

Dureza del material sin dilución: 50 HRc.

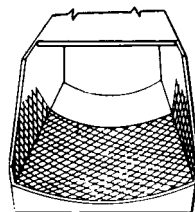
## ALAMBRES / FLUXES ARCO SUMERGIDO:

### L-60 / H-560 (Procedimiento con bajo voltaje)

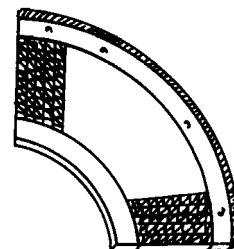
La composición, características del recargue, aplicaciones y recomendaciones son equivalentes a lo indicado para el electrodo WEARSHIELD 44.

Para indicación de parámetros de soldadura, consultar "Data Sheet" de estos productos.

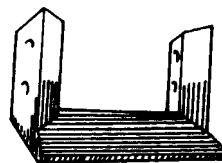
Dureza del material sin dilución: 50 HRc



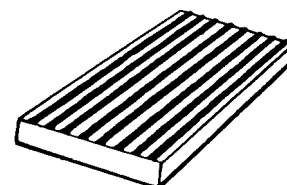
Cucharones de extracción



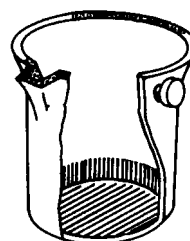
Paletas rascadoras



Labios de cucharas de molinos de bolas.



Placa difusora de alto horno



Cucharón de escoria

## Piezas sometidas a desgaste por cavitación

La cavitación es un fenómeno de desgaste que se produce por la implosión repetitiva de burbujas de gas en un líquido o fluido sobre la superficie que se desgasta. La presión que ejercen estas burbujas, al formarse, sobre la superficie, es muy elevada, y el proceso de desgaste resulta muy similar al descrito para la abrasión con presión y deformación de las superficies, pero en este caso, las partículas abrasivas son gaseosas en lugar de sólidas.

Los componentes expuestos a este tipo de fenómeno pueden ser de aceros, o, al tratarse de componentes en contacto o sumergidos en líquidos o fluidos, pueden ser de otro tipo de materiales; entre los más comunes: aleaciones de cobre, aleaciones de aluminio, aleaciones de níquel, y, por supuesto, aceros inoxidables.

Si el componente es de acero al carbono o de baja aleación, o de acero inoxidable, el consumible ideal para realizar el recargue es el **REP TEC 29**, ya que posee un elevado límite elástico para evitar las deformaciones que la presión de las burbujas pueden ocasionar, y, además es un acero inoxidable austenítico de elevada resistencia a la corrosión (normalmente más acelerada dentro de un fluido que al aire).

Si el componente es de cualquiera de los otros tipos de materiales citados, lo más usual es recargarlos con consumibles que depositen aleaciones similares al material del componente. Si no se conociera exactamente la composición de dicho material, aunque sí su naturaleza -de aleación de cobre, de aluminio, de níquel, se describen a continuación algunos consumibles que pueden utilizarse para cada tipo de aleación, respectivamente

### Aleaciones de cobre:

#### ELECTRODOS RECUBIERTOS:

##### REP TEC CU 8

Electrodo de aleación de cobre especial para recargue de componentes de bronce, y muy útil para plaqueado de aceros, aceros fundidos y hierros fundidos (se utiliza también con éxito en la reparación de algunos tipos de hierros fundidos), y para cuando se quiere obtener un componente de gran resistencia a desgaste por cavitación y por corrosión en agua de mar y ácidos. El metal depositado permite el pulido y abrillantado. Recomendaciones:

- Precalentar el material base a unos 150-200°C.
- Limpiar entre pasadas cuidadosamente los restos de escoria y de óxido a los lados de los cordones.

Para recargue o plaqueado de hélices, depósitos, etc.

Dureza del material sin dilución: 150 HBr 10

#### ALAMBRES MACIZOS PARA SOLDADURA MIG y TIG:

##### LNM y LNT CuAl 8

Alambre macizo para soldadura MIG y varilla para soldadura TIG, respectivamente, que requieren protección de gas Argón puro en ambos casos.

Las propiedades, características del depósito y aplicaciones son similares a las descritas para el electrodo anterior, salvo que no se recomienda la reparación de fundición de hierro con ninguno de estos procesos de soldadura (aunque, en algunos casos se utiliza con éxito la varilla TIG con soldadura oxiacetilénica).

### Aleaciones de aluminio:

#### ELECTRODOS RECUBIERTOS:

##### ALSI 12

Electrodo de excepcional calidad para soldadura de unión y recargue de la gran mayoría de aleaciones de aluminio (forjables y de fundición). Contiene un 12% de silicio para proporcionar una buena fusión. Recomendación:

- Precalentar las aleaciones de aluminio de 250 a 300°C.

#### ALAMBRES MACIZOS PARA SOLDADURA MIG y TIG:

##### LNM y LNT AISi 12

Alambre macizo para soldadura MIG y varilla para soldadura TIG, respectivamente, que requieren protección de gas Argón puro en ambos casos.

Las propiedades, características del depósito y aplicaciones son similares a las descritas para el electrodo anterior.

## Piezas sometidas a desgaste por fricción metal-metal

Se produce al existir fricción entre dos superficies metálicas, bajo fuerzas tangenciales y normales, de forma que hay un desplazamiento continuo del punto donde se aplica la fuerza. Esta fricción puede ocurrir con o sin presencia de lubricante entre ambas superficies. El fallo (rotura o fisuración) de las piezas suele producirse por acumulación de fatiga (aplicación de fuerzas intermitentes) que provoca una fisuración acumulativa. Esta fatiga es mayor cuanto menor es el área de contacto entre las dos superficies.

Ejemplos típicos de piezas sometidas a este tipo de desgaste son: matrices de embutición, troqueles, hileras de trefilado, poleas de cables de acero, cuchillas de corte, ruedas de grúas, dientes de engranajes, etc.

Los aceros que mejor se comportan en este tipo de aplicación son los de estructura martensítica de baja aleación, los cuales tienen un elevado límite elástico para resistir el fenómeno de la fatiga, y los de estructura ferrítica, también de baja aleación.

Otro tipo de aceros que podrían utilizarse con una resistencia relativamente buena a este tipo de desgaste son los que presentan una estructura austenítica endurecible al manganeso (consultar los consumibles citados en el apartado de protección de superficies contra impactos).

### Aceros de estructura ferrítica de baja aleación:

- Contienen típicamente menos de 0,3% de carbono, y menos de 6% de aleantes (Cr, Mn, Mo, Ni, etc.).
- Presentan una dureza de hasta 40 HRc.
- Pueden utilizarse también como capa intermedia en recargues resistentes a desgaste por abrasión.
- Son muy resistentes a desgaste por fricción metal-metal, sobre todo cuando las superficies ruedan una sobre la otra.

Recomendaciones para efectuar el recargue con este tipo de aleaciones:

- Precalear el metal base de 150 a 200°C, ya que estas aleaciones, de contenido de carbono ligeramente elevado son sensibles a fisuración en frío por difusión de hidrógeno.
- La temperatura entre pasadas puede llegar hasta los 350-400°C; no conviene que llegue a ser mucho más elevada, pues resultaría un depósito excesivamente blando para resistencia al desgaste.
- Puede soldarse tanto con cordones rectos como con cordones gruesos (balanceando el electrodo), en este segundo caso, la dureza que se obtenga será ligeramente inferior, ya que el aporte térmico es mayor.
- Se puede dar un número ilimitado de pasadas.
- Es necesario que las piezas recargadas se dejen enfriar lentamente para evitar fisuración por difusión de hidrógeno. La dureza final dependerá en cierta medida de la velocidad de enfriamiento de las pie

## ELECTRODOS RECUBIERTOS:

### **KD 62**

Electrodo de gran rendimiento, 170%. Deposita una aleación con estructura ferrítica-bainítica a una velocidad de enfriamiento normal de la soldadura, con una dureza de 31 a 35 HRc, que puede endurecerse aún más (hasta 40 HRc) por tratamiento térmico de temple. Para recargue de piezas sometidas a desgaste por fricción metal-metal, por ejemplo de raíles, ejes, cruces de vías, ruedas lisas y dentadas, etc.

## ALAMBRES TUBULARES AUTOPROTEGIDOS:

### **LINCORE 33**

Alambre tubular autoprotegido (no necesita gas) de similares características que el electrodo anterior.

Dureza del depósito sin dilución, a velocidad de enfriamiento normal de soldadura: 31 HRc.

Para indicación de parámetros de soldadura, consultar "Data Sheet" de este producto.

## ALAMBRES / FLUXES ARCO SUMERGIDO:

### **LINCORE 30-S / 801**

Características similares al electrodo KD 62.

Dureza del depósito sin dilución, a velocidad de enfriamiento normal de soldadura: 27 HRc.

### **LINCORE 35-S / 801**

Características similares al electrodo KD 62.

Dureza del depósito sin dilución, a velocidad de enfriamiento normal de soldadura: 35 HRc.

### **LINCORE 40-S / 801**

Características similares al electrodo KD 62.

Dureza del depósito sin dilución, a velocidad de enfriamiento normal de soldadura: 40 HRc.

### **L-60 / H-535 (procedimiento con bajo voltaje)**

Características similares al electrodo KD 62.

Dureza del depósito sin dilución, a velocidad de enfriamiento normal de soldadura: 32 HRc.

### **L-60 / H-535 (procedimiento con medio voltaje)**

Características similares al electrodo KD 62.

Dureza del depósito sin dilución, a velocidad de enfriamiento normal de soldadura: 38 HRc.

### **L-60 / H-535 (procedimiento con alto voltaje)**

Características similares al electrodo KD 62.

Dureza del depósito sin dilución, a velocidad de enfriamiento normal de soldadura: 45 HRc.

### Aceros de estructura martensítica de baja aleación:

- Contienen típicamente de 0,3 a 0,8% de carbono, y menos de 6% de aleantes.
- Presentan una dureza de 45 a 60 HRc.
- Considerando que la austenita transforma a martensita por debajo de los 350°C con enfriamiento al aire en este tipo de aleaciones, puede hacerse toda la soldadura con el material precalentado a esa temperatura y con temperatura entre pasadas también superior, y luego dejar enfriar al aire todo el recargue, con lo que se obtendrá siempre la máxima dureza.
- *Son muy resistentes a desgaste por fricción metal-metal, sobre todo cuando las superficies deslizan una sobre la otra, y también cuando hay cierta abrasión debido a partículas abrasivas blandas entre dichas superficies (polvo, barro, etc., como es el caso de poleas de movimiento de tierras).*

Recomendaciones para efectuar el recargue con este tipo de aleaciones:

- Precalentar el metal base a 300°C o más.
- La temperatura entre pasadas puede llegar hasta los 350-400°C.
- Puede soldarse tanto con cordones rectos como con cordones gruesos (balanceando el electrodo).
- Se recomienda limitar el número de pasadas a un máximo de 3 ó 4.
- Es necesario que las piezas recargadas se dejen enfriar lentamente para evitar fisuración por difusión de hidrógeno.
- Puede darse un tratamiento de revenido para ablandar ligeramente y, sobre todo para dar mayor tenacidad al recargue. Por ejemplo, un recargue realizado con LINCORE 55 presentará tras soldadura unos 55 HRc; después de un revenido a 400°C, unos 50 HRc; después de un revenido a 600°C, unos 40 HRc; después de un revenido a 700°C, unos 32 HRc.

### **ELECTRODOS RECUBIERTOS:**

#### **KD 600**

Electrodo que deposita una aleación de estructura martensítica a la velocidad de enfriamiento normal de la soldadura, con una dureza de 55 HRc, para recargue de piezas sometidas a desgaste por fricción metal-metal, especialmente cuando las superficies se deslizan una contra la otra. Gracias a la elevada dureza del depósito, es especialmente recomendable en los casos en que además de este tipo de desgaste, se produzca cierto desgaste por abrasión debido a que hayan partículas abrasivas entre las dos superficies, como barro o polvo, vidrio, etc., como es el caso de poleas de cables para movimiento de tierras, y todas las aplicaciones descritas para los consumibles del apartado anterior, pero con la adición del componente abrasivo.

### **ALAMBRES TUBULARES AUTOPROTEGIDOS:**

#### **LINCORE 55**

Alambre tubular autoprotegido (no necesita gas) de similares características al electrodo anterior. Los diámetros mayores pueden utilizarse sin protección o, para mejor aspecto del cordón, en soldadura de Arco Sumergido, con flux 801. Para indicación de parámetros de soldadura, consultar "Data Sheet" de este producto.

Dureza del material sin dilución: 53 HRc.



## Piezas sometidas a desgaste por corrosión

Este capítulo es muy amplio. Para conocer los diferentes tipos de corrosión/oxidación, y los consumibles (y materiales base) adecuados para resistir cada uno de los tipos, debe consultarse el informe sobre aceros inoxidable, y, en el catálogo general de consumibles, las diferentes soluciones para cada uno de los procesos de soldadura.

Un caso particular de desgaste por corrosión es el que tiene lugar a altas temperaturas. Para estas aplicaciones se utilizan los llamados aceros refractarios inoxidable, y las aleaciones de base níquel. Consultar también para estas situaciones nuestro catálogo general de consumibles.

## Piezas sometidas a desgaste por efecto de altas temperaturas

Los procesos de desgaste descritos anteriormente: abrasión, erosión, fricción metal-metal, pueden verse enormemente acelerados cuando los componentes se encuentran, además, expuestos a elevadas temperaturas. Esto es debido a que a temperaturas altas, la estructura de los metales cambia, normalmente a estructuras más blandas, y, además, las reacciones químicas en la superficie de los metales, como la corrosión, son también más rápidas.

Por orden creciente de resistencia a estos fenómenos, las aleaciones que se exponen a continuación, son las que se emplean con más éxito en este tipo de aplicaciones:

- Aleaciones de estructura martensítica de alta aleación (aceros rápidos)
- Aleaciones de estructura martensítica inoxidable
- Aleaciones de base cobalto

### Aleaciones de estructura martensítica de alta aleación:

- Contienen típicamente de 0,25 a 0,9% de carbono, y de 7 a 13% de aleantes. Estos aleantes son metales forman carburos muy estables en la matriz martensítica, y proporcionan al metal una elevada dureza, que se mantiene bastante elevada incluso a temperaturas relativamente elevadas (550-600°C).
- A temperaturas superiores a 300°C, la estructura de estas aleaciones es de matriz austenítica. A temperaturas inferiores, su estructura es martensítica. Esto es un detalle crucial a tener en cuenta durante la soldadura de estos recargues, ya que es conveniente que no haya estructura martensítica durante todo el proceso de recargue, ya que se produciría fisuración inmediata del mismo. Esto nos dicta las temperaturas de precalentamiento (200 a 550°C) y entre-pasadas (300 a 600°C), según el contenido de carbono de la aleación.
- Las aplicaciones típicas de estas aleaciones es para herramientas de corte y troqueles y matrices, así como para rodillos de laminación de acerías.
- Se recomienda limitar el recargue con estas aleaciones a un máximo de 4 capas.
- El enfriamiento del recargue, tras la soldadura, debe ser muy lento si quiere evitarse fisuración del mismo.

- A menudo, una vez realizado el recargue, es conveniente dar un post-tratamiento térmico a la pieza para endurecimiento final. Por ejemplo, un recargue realizado con KD 61 tiene una dureza tras soldadura de 53 HRC; después de un tratamiento a 550°C durante dos horas, su dureza llega a 60 HRC.

## ELECTRODOS RECUBIERTOS:

### **KD 61**

Electrodo que deposita una aleación de acero rápido o acero de herramientas de corte. Se utiliza para el recargue de gran variedad de piezas de acero de herramientas y para plaqueado de otros tipos de aceros dulces o de baja aleación, para lograr una gran resistencia al desgaste por fricción metal-metal, incluso a elevadas temperaturas (hasta 550°C). Es recomendado especialmente para recargar bordes y cuerpos de herramientas de corte, como matrices de perforación, punzones de embutición, cuchillas de cizallas, desbastadoras de serrerías, troqueles de fundición, etc.

Al utilizarlo, se recomienda precalentar y mantener una temperatura entre-pasadas de, al menos, 300°C, para evitar fisuración, y dejar enfriar muy lentamente. Una vez frío, es posible que se necesite post-tratar para revenir el recargue, y lograr así una mayor tenacidad (sobre todo si la pieza va a exponerse a impactos), a unos 550-600°C durante 1 hora. La soldadura no es mecanizable, salvo si se da un tratamiento de recocido a 850°C durante varias horas, quedando entonces, una dureza de unos 30 HRC, con enfriamiento lento. Para recuperar la dureza, una vez mecanizado el recargue, tratar de nuevo a 1200°C seguido de enfriamiento al aire.

Dureza del material sin dilución: 60 HRC.

## ALAMBRES TUBULARES AUTOPROTEGIDOS:

### **LINCORE T&D**

Alambre tubular autoprotegido (no necesita gas) de similares características al electrodo anterior. Los diámetros mayores pueden utilizarse sin protección o, para mejor aspecto del cordón, en soldadura de Arco Sumergido, con flux 802. Para indicación de parámetros de soldadura, consultar "Data Sheet" de este producto.

Dureza del material sin dilución: 53-55 HRC.

## ALAMBRES / FLUXES ARCO SUMERGIDO

### **LINCORE 102W / 802**

La composición, características del recargue, aplicaciones y recomendaciones son equivalentes a lo indicado para el alambre anterior. Esta combinación de alambre/flux se utiliza a menudo como solución más económica para recargue de rodillos de laminación, ya que deposita una aleación razonablemente resistente a la corrosión que produce el agua de enfriamiento que se echa sobre dichos rodillos y sobre el producto de laminación.

Para indicación de parámetros de soldadura, consultar "Data Sheet" de estos productos. Dureza del material sin dilución: 52 HRC.



### Aleaciones de estructura martensítica inoxidable:

- Contienen típicamente hasta 0,3% de carbono y de 9 a 18% de aleantes (usualmente cromo).
- Presentan una dureza de 30 a 55 HRc.
- La temperatura de transformación martensítica es de unos 300°C, por lo que, para evitar fisuración y obtener la máxima dureza, conviene soldar con el material precalentado y con temperatura entre-pasadas superior.
- La aplicación más recomendada de este tipo de aleaciones es para recargue de rodillos de laminación, ya que poseen una excelente resistencia a desgaste metal-metal incluso a elevadas temperaturas, combinado con una gran resistencia a la oxidación y corrosión provocadas por el agua de refrigeración que se suele utilizar, y al desgaste por abrasión de los óxidos metálicos que se van desprendiendo tanto de los propios rodillos como de los productos de laminación.

Recomendaciones para efectuar el recargue con este tipo de aleaciones:

- Prácticamente toda la soldadura de recargue de los rodillos de laminación se hace con Arco Sumergido. Los procesos de arco abierto no son recomendables, ya que interesa obtener el máximo de estructura martensítica para conseguir la máxima dureza. El nitrógeno que se introduciría con arco abierto es austenizante.
- Precalentar el metal base a 300°C o más, y mantener esta temperatura hasta que finalice todo el proceso del recargue.
- Enfriar muy lentamente hasta los 100°C para dejar transformar toda la estructura a martensita.
- Realizar un post-tratamiento térmico hasta obtener la dureza/tenacidad deseadas.
- **Precaución:** Debe obtenerse una estructura totalmente martensítica; si se obtuvieran capas de diferente estructura (austenita y martensita) es muy probable que aparecieran problemas de fisuración: la temperatura debe estar siempre por encima de la temperatura de transformación.

### ELECTRODOS RECUBIERTOS:

#### WEARSHIELD 420

Electrodo que deposita una aleación de acero martensítico inoxidable. Se utiliza únicamente para reparación, aunque, para tener las mismas características en la reparación del recargue que en el propio recargue, es más recomendable utilizar TIG, con un trozo del alambre tubular como varilla, teniendo el soldador que realizar una técnica especial de movimiento del baño para ir extrayendo la escoria del mismo.

Dureza del material sin dilución: 55 HRc.

### ALAMBRES / FLUXES ARCO SUMERGIDO:

#### LINCORE 410 / 801- 802

Proporciona un recargue con relativamente bajo contenido de carbono, resistente a la corrosión que resulta más fácilmente mecanizable. Es también resistente a la fatiga o shock térmico.

Dureza del material sin dilución: 32 HRc

#### LINCORE 410 NiMo / 801- 802

Proporciona un recargue de bajo contenido en carbono que tiende a dar una estructura martensítica más blanda que la mayoría de aleaciones utilizadas para el recargue de rodillos de laminación. Es también una aleación más tenaz. Por supuesto, resiste corrosión y shock térmico.

Dureza del material sin dilución: 35 HRc

#### LINCORE 420 / 801- 802

Proporciona un recargue con las mismas propiedades que la mayoría de rodillos de laminación. Resulta moderadamente duro, pero aún mecanizable, con buena resistencia a fatiga térmica.

Dureza del material sin dilución: 48 HRc

#### LINCORE 423Cr / 802

Alambre tubular de elevado contenido en cromo para mayor resistencia a la corrosión en recargue de rodillos de laminación. Resiste también muy bien el reblandecimiento general que suele ocurrir a las altas temperaturas de trabajo de dichos rodillos, gracias a la adición de vanadio y molibdeno que aporta.

Dureza del material sin dilución: 44 HRc

#### LINCORE 424 A / 801 - 802

Alambre tubular de mayor contenido en níquel que el LINCORE 410NiMo para mayor resistencia a la corrosión y sobre todo a fatiga térmica en recargue de rodillos de laminación.

Dureza del material sin dilución: 40 HRc

#### L-60 / A96-S

Alambre macizo de acero al carbono y flux aleado, que proporciona una aleación similar a la del LINCORE 410 / 801, pero de mayor contenido de carbono, lo cual resulta en una mayor dureza del recargue y, por lo tanto, en una mayor resistencia al desgaste por fricción metal-metal. Deben tomarse las precauciones en cuanto a parámetros de soldadura y espesor de cada capa de recargue para obtener una aleación homogénea, que viene dada, principalmente, por la cantidad de flux que se funde.

Dureza del material sin dilución, y con un consumo de flux de 1,5 veces el de alambre: 52 HRc

**Lincoln dispone de otros consumibles para estas aplicaciones. Consultar para cada aplicación específica.**

### Aleaciones de base cobalto:

- Estas aleaciones son conocidas como “Stellites”, y se aplican normalmente, para todo tipo de desgaste producido a elevadas temperaturas, ya que tienen la virtud de conservar hasta 600°C la misma dureza que presentan a temperatura ambiente.
- Para elegir el grado de Stellite más adecuado para realizar un recargue, en general, los grados de dureza inferior a 45 HRc se utilizan con mejores resultados para aplicaciones donde haya presencia de impactos y fricción metal-metal, y los de dureza superior para aplicaciones donde haya presencia de partículas abrasivas.
- Son, además, aleaciones de elevada resistencia a la corrosión, por lo que se utilizan en gran variedad de aplicaciones con un excelente resultado, lo cual amortiza el alto coste de estos consumibles.

Las recomendaciones para recargar piezas con estas aleaciones son:

- No precalentar si el acero base es austenítico (no magnético). Precalentar a 250°C aceros dulces de grandes dimensiones o aceros de alto o medio carbono, fundiciones de acero y aceros rápidos de matricería.
- No realizar más de dos o tres pasadas con estos consumibles, y, si se suelda sobre materiales de elevado contenido de carbono o es necesario realizar más pasadas, efectuar una capa intermedia con **REP TEC 29**. Esto evitará fisuración y desprendimiento del recargue del material base.

### ELECTRODOS RECUBIERTOS:

#### **KD 210 U**

Electrodo que deposita una aleación Stellite Grado 21, Cobalto-Cromo-Níquel-Molibdeno, resistente a abrasión e impactos moderados de materiales expuestos, además, a elevadas temperaturas.

Dureza del material sin dilución a Tamb: 35 HRc  
Dureza del material sin dilución a 600°C: 35 HRc

#### **KD 67 U**

Electrodo que deposita una aleación Stellite Grado 6, Cobalto-Cromo-Wolframio, muy resistente a fatiga o choques térmicos. Para recargue de piezas sometidas a abrasión y corrosión a elevadas temperaturas o con cambios bruscos de éstas: asientos y cierres de válvulas de vapor recalentado a alta presión, matrices de forja en caliente, cuchillas de corte para cartón, papel, hojalata y amianto, bisinfines para extrusionado de plásticos, etc.

Dureza del material sin dilución a Tamb: 42-44 HRc  
Dureza del material sin dilución a 600°C: 42 HRc

#### **KD 200 U**

Electrodo que deposita una aleación Stellite Grado 12, Cobalto-Cromo-Níquel-Wolframio, muy resistente a fatiga o choques térmicos. Para recargue de piezas sometidas a abrasión y corrosión a elevadas temperaturas o con cambios bruscos de éstas: dientes de sierra para madera y, en general, para elementos de desgaste en la industria maderera, cuchillas para fibras textiles, plásticos y papel, rodillos de trenes de laminación en caliente y piezas sometidas a fricción metal-metal a elevadas temperaturas.

Dureza del material sin dilución a Tamb: 51 HRc  
Dureza del material sin dilución a 600°C: 51 HRc

#### **KD 101 U**

Electrodo que deposita una aleación Stellite Grado 1, Cobalto-Cromo-Wolframio, con máxima resistencia a abrasión a elevadas temperaturas en ausencia de impactos. Para “Bamburys” y camisas de mezcladoras en la industria del caucho.

Dureza del material sin dilución a Tamb: 55 HRc  
Dureza del material sin dilución a 600°C: 55 HRc

### VARILLAS TIG:

#### **KD 210 A**

Varilla para soldadura TIG equivalente al electrodo KD 210 A.

#### **KD 67 A**

Varilla para soldadura TIG equivalente al electrodo KD 67 A.

#### **KD 200 A**

Varilla para soldadura TIG equivalente al electrodo KD 200 A.

#### **KD 101 A**

Varilla para soldadura TIG equivalente al electrodo KD 101 A.

## Reparación de piezas de fundición

A la hora de reparar una pieza o componente de fundición o hierro fundido, podemos encontrarnos los mismos tipos de roturas o fisuras descritos en el capítulo 1, y las consideraciones dadas en ese mismo capítulo sobre los refuerzos, serán igualmente aplicables en las reparaciones de este tipo de piezas.

## Preparar una fundición para su reparación

En las piezas de hierro fundido, normalmente, la estructura es relativamente porosa, por lo que, para eliminar o limpiar una fisura, no se recomienda utilizar amolado, ya que las partículas que se desgastan de los discos de esmeril suelen introducirse dentro de los poros del hierro fundido, lo cual dificulta aún más la soldabilidad de este material, creando mayor porosidad y defectos durante la soldadura de reparación.

Para limpiar una fisura es más recomendable utilizar arco-aire o un electrodo de chaflanado como el **KD 31**, ya que esta técnica, además del efecto de limpieza, aumentará la temperatura superficial de la pieza, que servirá de beneficioso precalentamiento y hervirá algunas impurezas contenidas en dicha superficie debida al trabajo de la pieza fisurada (aceite, grasa, etc.).

Otra consideración debida al mismo hecho de porosidad del hierro fundido es que, cuanto más limpiemos la superficie del hierro fundido, más suciedad aparecerá. Por ello, una vez retirada la fisura, y comprobado con líquidos penetrantes que la misma está totalmente eliminada, la superficie ya estará dispuesta a comenzar a soldar.

Al no poder limpiar exhaustivamente, en muchas ocasiones aparecerá en las primeras capas de soldadura bastante porosidad. Este es un defecto que en otro tipo de piezas resulta imperdonable, pero en el hierro fundido, poroso de por sí, es secundario y prácticamente inevitable. Para minimizarlo, una vez realizada la primera capa de soldadura de reparación, puede pasarse una mola por la superficie de la misma, con lo que se retirará gran parte de impurezas (que tienden a acumularse en el centro y superficie de los cordones), y así en la segunda capa de soldadura se obtendrá menor cantidad de poros. Si aún son muchos, debe retirarse la superficie de esta segunda capa, y se obtendrán menos en la tercera, y así sucesivamente.

## Piezas de hierro fundido recuperables con soldadura

Se consideran posible de recuperación mediante soldadura las piezas de fundición gris (cualquiera de los tipos: maleable, nodular, etc.) Se consideran prácticamente insoldables las piezas de fundición blanca.

Esto es muy importante para entender la soldabilidad de las piezas de fundición, ya que por tratamiento térmico, una pieza de fundición gris, al templar (enfriamiento brusco), puede transformarse en fundición blanca, que es sumamente frágil. Esto es la razón

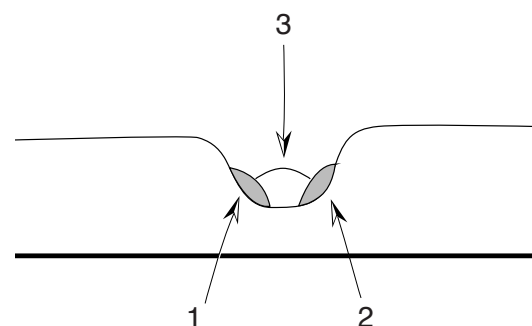
que, a veces, una misma pieza que en su conjunto puede parecer de fundición gris, en la práctica, al intentar su reparación, ésta resulte imposible, ya que va fisurando a medida que se va soldando. Este fenómeno es más usual en piezas que presentan diferencias de espesores: las partes de la pieza con menor espesor tienen mayor tendencia a presentar una estructura de fundición blanca.

Relacionado con este fenómeno la técnica que se describe para realizar una reparación de piezas de fundición gris, está encaminada, principalmente, a evitar la tendencia a fisuración de la capa de fundición blanca que se obtendrá, inevitablemente, en las zonas afectadas térmicamente por los cordones de soldadura (zonas adyacentes a dichos cordones), ya que estas zonas, mientras se suelda, se irán transformando por temple al aire, en zonas de estructura de fundición blanca.

Se recomienda preparar chaflanes redondeados y muy abiertos que puedan albergar cordones amplios y con muy poca dilución con el contaminado material base:

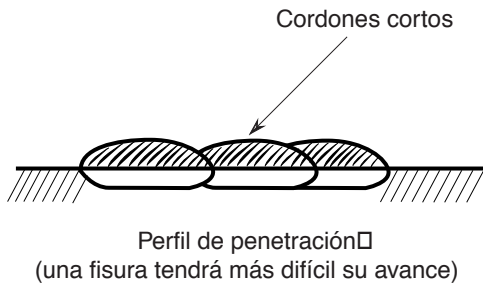
## Soldadura de reparación de fundición

- La pieza debe precalentarse a una temperatura próxima a los 100°C y mantenerse a dicha temperatura durante todo el proceso de reparación, procurando un enfriamiento lento una vez concluida la soldadura. Una temperatura inferior daría como resultado un temple brusco de las zonas afectadas térmicamente por el cordón de soldadura, y, por lo tanto, una capa gruesa de fundición blanca en estas zonas, y una gran tendencia al agrietamiento y desprendimiento del cordón de reparación. Y una temperatura superior daría como resultado mayor porosidad debido a una ebullición mayor de todas las impurezas contenidas en los poros de la estructura del hierro fundido.
- Si la pieza se ha preparado convenientemente, tal como se indica al final del anterior apartado, es preferible realizar cordones de soldadura que hagan contacto sólo con un lado del chaflán o del metal base; esto evitará acumulación de tensiones que tenderían a arrancar dichos cordones debido a la facilidad de fisuración del material transformado a fundición blanca en las zonas adyacentes a los cordones:

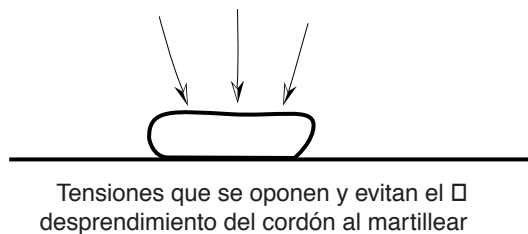
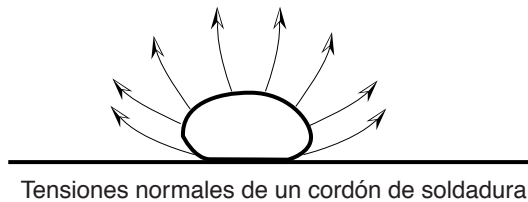


- Para evitar una dilución excesiva con el metal base, es necesario

sario realizar cordones muy cortos (máximo 3-5 cm):



- Al acabar cada uno de estos cordones, deben martillearse con, por ejemplo, una piqueta de punta redondeada. Esto, por un lado hará que el material enfríe antes de realizar el siguiente cordón, y, aún más importante, eliminará las tensiones que tienden a arrancar el cordón del material base, al oponer, por martilleo, tensiones en sentido contrario:



- Preferentemente, soldar con c.c.+; este tipo de corriente aporta menos calor al metal base, lo cual contribuye a obtener una dilución mínima.

### Consumibles para reparación de fundición

ser un proceso lento, para asegurarse de obtener un buen resultado. Procesos de soldadura de alta velocidad, como la soldadura MIG, o de alto aporte térmico, como la soldadura por Arco Sumergido, no son recomendables debido al elevado riesgo de fisuración y/o rotura de la pieza reparada con estos procesos.

La soldadura tradicional con soplete (oxiacetilénica), utilizando como varilla de aporte hierro fundido, y precalentando las piezas a elevadas temperaturas (700-800°C), es, quizás, el proceso que proporciona mayores garantías de la reparación, aunque, como se puede prever, resulte una reparación costosa y difícilmente ejecutable. Es por esto que la soldadura con electrodo recubierto sea la que se utiliza más normalmente, con buenos resultados en muchas

ocasiones.

Se relacionan, a continuación los electrodos recomendados para la reparación de piezas de fundición. La soldabilidad de cada uno de ellos varía enormemente con el tipo de pieza, la aleación que ésta tenga, el tiempo que ha estado en servicio, y en qué condiciones de servicio ha trabajado (con suciedad, fluidos o partículas que hayan podido impregnar la pieza en mayor o menor medida, fatiga, etc.). Los electrodos están relacionados en orden decreciente de versatilidad, es decir, si se pretende tener sólo uno o dos tipos de estos electrodos en el almacén de reparación, adecuado/s para una mayoría de piezas a reparar, se recomienda elegir uno de los primeros que se lista a continuación, aunque pudieran presentarse piezas en las que otro electrodo se comportaría mejor. Normalmente se verá inmediatamente el comportamiento del electrodo, ya que un electrodo no adecuado para la pieza en cuestión, presentará una fusión muy difícil o prácticamente nula sobre la superficie (ya preparada) de la misma. En cambio, si la fusión fuera buena, pero se produjeran fisuras a medida que se suelda bajo el cordón o a los lados de éste, es posible que el electrodo sea adecuado (probar entonces con uno que presente el máximo de alargamiento del metal depositado, y comprobar si desaparece el problema), pero la técnica no lo sea: quizás se deban hacer cordones aún más cortos, martilleándolos más, precalentar más la pieza, etc.

### ELECTRODOS RECUBIERTOS:

#### REP TEC 7

Electrodo de recubrimiento básico de aleación níquel-cromo-hierro, de rendimiento 140%, para soldar materiales sometidos a temperaturas de servicio desde -196 a +1100°C. La soldadura que resulta es muy resistente a fisuración por shock térmico. Tiene un alargamiento muy elevado (casi 40%), por lo que, unido al resto de sus propiedades, es un electrodo imprescindible para realizar las reparaciones más difíciles, incluso cuando involucran materiales difíciles de soldar o mezcla de diferentes materiales, incluidos aceros inoxidables o fundiciones de hierro o aceros fundidos. Está recomendado también para la reparación de aceros refractarios ya que posee una alta resistencia a fisuración en caliente. Únicamente puede soldarse en c.c.+.

#### REP TEC CAST 31

Electrodo de aleación níquel-hierro para soldadura de reparación de hierro y acero fundido, especialmente aplicable para reparación de fundiciones nodulares y maleables, y para unión de acero o hierro fundido con aceros al carbono y de baja aleación. Tiene muy buena fusión sobre muchos tipos de piezas de fundición, incluso cuando éstas aparecen impregnadas de grasa o aceite, con una mínima cantidad de porosidad incluso en los casos más extremos. Puede utilizarse tanto con c.a. como con c.c.+.

Aplicaciones típicas son reparación de bancadas de máquinas, carters y elementos de máquinas.

Dureza del material sin dilución: 180 HBr 10 (permite el

mecanizado del depósito de soldadura).

#### **REP TEC CAST 1**

Electrodo de aleación de níquel para soldadura de reparación de hierro y acero fundido, especialmente aplicable para reparación de fundición maleable. Es especialmente útil cuando debe hacerse una soldadura en frío, motivada a menudo por dimensiones de la pieza muy grandes. Tiene una excelente fusión con el metal base, lo que proporciona una reparación hermética con buena resistencia al esfuerzo mecánico y a presión. Puede utilizarse tanto con c.a. como con c.c.+.

Dureza del material sin dilución: 170 HBr 10 (permite el mecanizado del depósito de soldadura).

#### **REP TEC Cu 8**

Electrodo de aleación de cobre especial para recargue de componentes de bronce, y muy útil para plaquado de aceros, aceros fundidos y hierros fundidos (se utiliza también con éxito en la reparación de algunos tipos de hierros fundidos), y para cuando se quiere obtener un componente de gran resistencia a desgaste por cavitación y por corrosión en agua de mar y ácidos.

Dureza del material sin dilución: 150 HBr 10 (permite el mecanizado del depósito de soldadura).

#### **REP TEC 5**

Electrodo de aleación de níquel-cobre, de recubrimiento básico para soldadura en todas posiciones de aleaciones tipo Monel, altamente resistente a corrosión por agua de mar, y para unión de aceros al carbono, de baja aleación y fundiciones de hierro con aleaciones de níquel y níquel-cobre. Se aplica muy frecuentemente en equipos de fabricación de sal. Únicamente puede soldarse en c.c.+.

### **ALAMBRES TUBULARES AUTOPROTEGIDOS:**

#### **INNERSHIELD NR-211MP**

Alambre tubular autoprotegido (no necesita gas) de acero al carbono. Es un alambre cuya escoria tiene gran facilidad de limpieza de impurezas y elementos contaminantes y ha demostrado dar un excelente resultado en algunas piezas de fundición gris y maleable. Para indicación de parámetros de soldadura, consultar "Data Sheet" de este producto. Únicamente puede soldarse en c.c.- y el equipo adecuado.