



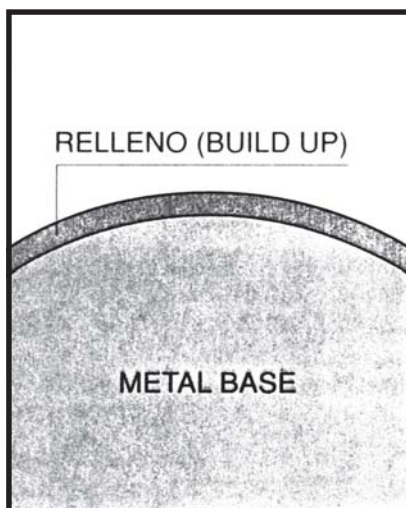
SOLDADURA

DEFINICIÓN DE RECUBRIMIENTO Y RECUPERACIÓN DE PIEZAS

El recubrimiento y recuperación de piezas consiste en la aplicación de un material de aleación especial sobre una pieza metálica mediante diversos procesos de soldadura, con el fin de mejorar la resistencia al desgaste y/o recuperar las dimensiones apropiadas.

La propiedad que generalmente se quiere mejorar es la resistencia al desgaste producto de la abrasión, impacto, adhesión (desgaste metal-metal), calor, corrosión o una combinación de cualquiera de estos factores.

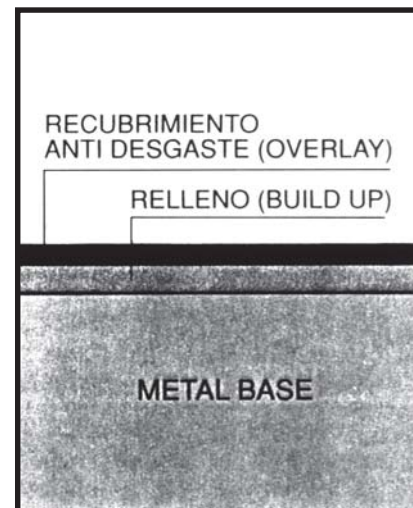
Existe una amplia gama de aleaciones de recubrimiento apropiadas para casi cualquier pieza metálica. Algunas aleaciones son muy duras, otras son más suaves con partículas dispersas de alta resistencia a la abrasión. Algunas aleaciones están diseñadas para llevar una pieza hasta una dimensión determinada (Build-up), mientras que otras están diseñadas para obtener una capa antidesgaste que proteja la superficie de trabajo. (Overlay).



El aumento de dimensión mediante la aplicación de un material de relleno (Build-up), se puede utilizar para volver una pieza a su dimensión original.



La capa final de recubrimiento (Overlay), se puede utilizar para otorgar a la pieza una resistencia adicional contra el desgaste.



El aumento de dimensión o relleno (Build-up) y la capa final (Overlay) se pueden utilizar conjuntamente para volver una pieza a su dimensión original y darle una resistencia adicional al desgaste.

RAZONES PARA LA RECUPERACIÓN O EL RECUBRIMIENTO DE PIEZAS

Las empresas utilizan los productos de recubrimiento por las siguientes razones:

- 1.- Reducir costos** - La aplicación de un material de recubrimiento a una pieza metálica desgastada, para proporcionarle una condición similar a la de una pieza nueva, constituye por lo general entre un 25 - 75 % del costo de un repuesto nuevo.
- 2.- Prolongar la vida útil del equipo** - El recubrimiento extiende la vida útil de una pieza entre un 30 y un 300 %, en comparación a una pieza no revestida.
- 3.- Menor pérdida de tiempo** - Gracias a la mayor duración de las piezas, se requiere menos interrupciones en el trabajo para reemplazarlas.
- 4.- Reducción del inventario de repuestos** - No hay razón para mantener un gran stock de repuestos cuando existe la alternativa de recuperar las piezas devolviéndoles sus dimensiones originales.

USO DEL RECUBRIMIENTO Y RECUPERACIÓN DE PIEZAS:

El recubrimiento y la recuperación de piezas se utilizan básicamente en dos áreas:

- 1.- La recuperación de piezas devolviéndoles sus dimensiones originales.** Esto se logra mediante la aplicación sólo de capas de relleno o bien de relleno (Build-up) y de recubrimiento antidesgaste (Overlay). En ambos casos, las propiedades de la pieza reacondicionada, son generalmente superiores a las de la pieza original. Por otro lado las piezas metálicas que permanecen en buen estado pueden volver a ser recuperadas una y otra vez, si se siguen los procedimientos adecuados.
- 2.- La protección contra el desgaste de piezas metálicas nuevas.** La capa de recubrimiento antidesgaste (Overlay), se utiliza tanto en piezas nuevas como también en usadas, en aquellas zonas donde las piezas son más susceptibles de desgaste. La capa final de alta aleación ofrece una resistencia superior al desgaste en comparación con la resistencia del material base original. Esto a menudo duplica o triplica la vida útil del componente en relación a una pieza que no ha sido recubierta. En algunos casos el recubrimiento puede aumentar el valor del equipo, pero esto se compensa empleando materiales base de menor costo.

SELECCIÓN DE ALEACIONES PARA EL RECUBRIMIENTO Y RECUPERACIÓN DE PIEZAS

Con el fin de determinar el tipo de aleación requerido para una aplicación determinada, se deben responder las siguientes preguntas:

- I.- ¿Qué proceso de soldadura se prefiere o es recomendable utilizar?
- II.- ¿Cuál es el metal base a recuperar o recubrir?
- III.- ¿Cuáles son los factores o mecanismos de desgaste involucrados?
- IV.- ¿Qué acabado superficial se requiere?

I.- PROCESO DE SOLDADURA PARA EL RECUBRIMIENTO Y RECUPERACIÓN DE PIEZAS

Las aleaciones para el recubrimiento y recuperación de piezas se pueden aplicar utilizando casi cualquier proceso de soldadura. Para tomar una decisión apropiada es necesario tener en cuenta sus preferencias, necesidades, habilidades y disponibilidad de equipos y aleaciones de recubrimiento.

Los procesos de soldadura más usados para la recuperación y el recubrimiento de piezas son:

- 1.- Soldadura al Arco Manual (SMAW).**
- 2.- Soldadura al Arco con Alambre Tubular.**
- 3.- Soldadura por Arco Sumergido.**

También se utilizan otros procesos tales como el oxigas y Tig, pero sus bajas tasas de depósito limitan su uso a aplicaciones específicas.

SELECCIÓN DEL PROCESO DE SOLDADURA

Los factores que influyen en la selección de un determinado proceso de soldadura, son:

- * Disponibilidad del equipo de soldadura.
- * Habilidad de los operadores.
- * Tamaño y forma de la pieza a ser recubierta o recuperada.
- * Disponibilidad de aleaciones para el recubrimiento o recuperación.

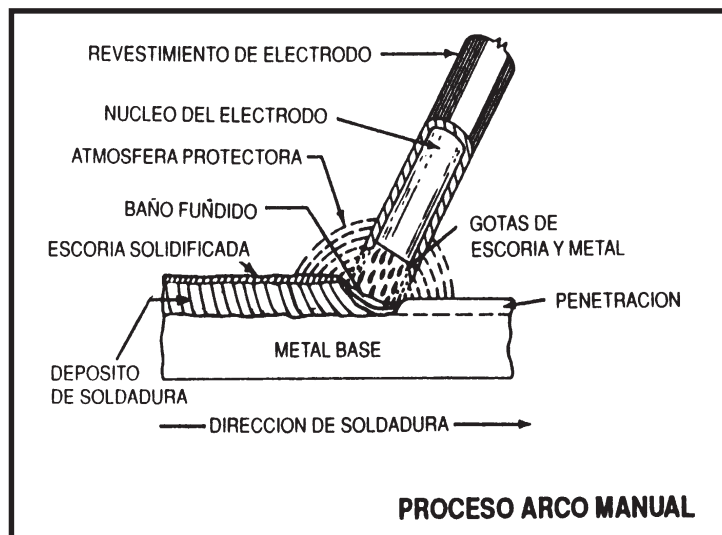
1.- Soldadura al Arco Manual (Electrodo recubierto)

Ventajas

- a.- Disponibilidad de aleaciones** - La mayoría de las aleaciones para el recubrimiento o recuperación de piezas las encontramos bajo la forma de electrodos para arco manual.
- b.- Espesor del Material** - Con algunas limitaciones prácticas y económicas, la mayoría de las piezas pueden ser recuperadas por el proceso arco manual (SMAW).
- c.- Posición de soldadura** - Los electrodos para Arco Manual están disponibles para soldar fuera de posición.
- d.- Versatilidad** - Los electrodos recubiertos se pueden utilizar al exterior y en lugares distantes.

Desventajas

- a.- Dilución** - Se requieren dos o tres capas para lograr las máximas propiedades de desgaste.
- b.- Baja eficiencia y tasa de Depósito** - pérdida de colillas y tasas de depósito de entre 0.5 - 4 kgs/hr.



2.- Soldadura al Arco con Alambre Tubular.

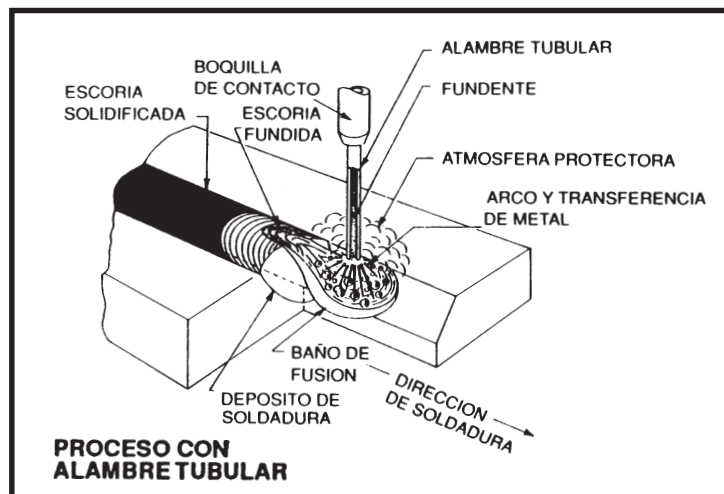
Ventajas

- a.- Disponibilidad de aleaciones** - Disponibilidad de aleaciones similar al SMAW, con la capacidad de cambiar fácilmente los porcentajes de aleación si es necesario.

- b.- Alta tasa de depósito** - Que fluctúa entre 2 y 12 kgs/hr.
- c.- Integridad del depósito** - Buena recuperación de elementos de aleación a través del arco.
- d.- Fácil de operar** - Tiempo de entrenamiento mínimo para capacitar a un operador.
- e.- Versatilidad** - no es tan versátil como el proceso arco manual, pero se puede utilizar en exteriores y en lugares distantes.

Desventajas

- a.- Dilución** - Se requieren dos o tres capas para lograr las máximas propiedades de desgaste.
- b.- Posición de Soldadura** - Aunque algunos alambres se pueden aplicar en diversas posiciones, la mayoría están diseñados para aplicaciones en posición plana y horizontal.



3.- Sistema Arco Sumergido

Ventajas

- a.- Fácil automatización** - El proceso tiende por sí solo a la aplicación automática.
- b.- Alta tasa de depósito** - Más económico para recubrir o recuperar piezas desgastadas de grandes dimensiones.
- c.- Habilidad del operador** - Se requiere poca destreza y la capacitación es mínima.

CURSO DE SOLDADURA

d.- Depósito de soldadura - Produce depósitos suaves, limpios y de excelente calidad.

e.- Ambiente taller - No produce destellos ya que el fundente rodea al arco.

Desventajas

a.- Disponibilidad de Aleaciones - Se limita a ciertas aleaciones utilizadas comúnmente para recuperar o recubrir piezas.

b.- Posición de Soldadura - Se limita a la posición plana debido a la protección del fundente, y por lo general son piezas cilíndricas.

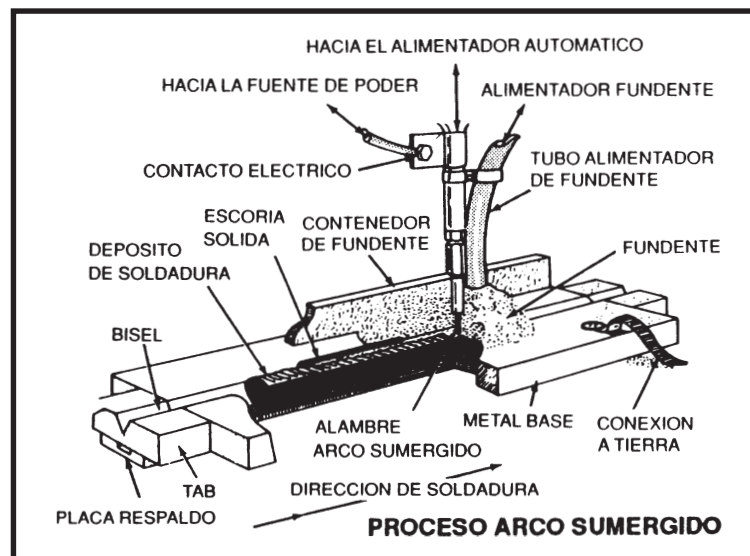
c.- Espesor del Material - Se limita a piezas mayores que se presentan para aplicaciones automáticas.

d.- Dilución extremadamente alta - Se requieren múltiples capas para lograr propiedades de desgaste máximas.

e.- Entrada alta de calor - Puede distorsionar las piezas.

f.- Versatilidad - Limitada a aplicaciones de taller debido al equipo automático que se requiere.

g.- Se requiere fundente - Esto implica gastos adicionales y equipos de soldadura especial.



FACTORES DE DILUCIÓN DE LOS PROCESOS DE SOLDADURA

PROCESO	DILUCION
Oxígeno - Acetileno	0 - 5%
Soldadura Tig	5 - 15%
Electrodo manual	20 - 45%
Alambre tubular	20 - 45%
Arco sumergido	25 - 50%

Para mayor información en relación a la dilución y sus efectos sobre la resistencia al desgaste, refiérase al Apéndice A.

II.- METALES BASE

El conocimiento de material base es esencial para decidir que aleación se debe utilizar para la recuperación o el recubrimiento de una pieza, ya que los procedimientos de soldadura difieren según sea éste. Debemos señalar que los materiales base se dividen en dos categorías.

1.- Aceros al carbono o de baja aleación

2.- Aceros al manganeso austenítico

El uso de un imán distingue generalmente los dos tipos. El acero al carbono y los aceros de baja aleación son altamente magnéticos, mientras que los aceros al manganeso austeníticos son «no magnéticos»

1.- Aceros al carbono o de baja aleación

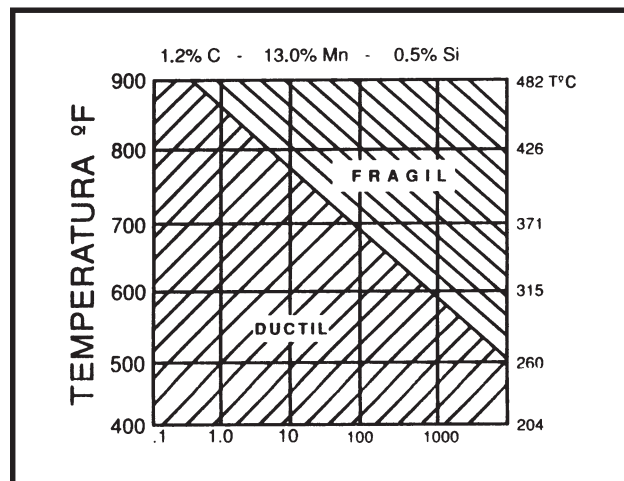
Existen tantos grados de aceros al carbono y de baja aleación que no se pueden dar recomendaciones generales para los procedimientos de soldadura. A medida que el contenido de carbono y de aleación en el material base aumenta, también lo hacen las precauciones necesarias para los procedimientos de soldadura. Se puede requerir un precalentamiento, un postcalentamiento, un enfriamiento lento o la liberación de tensiones (ver Apéndice B). Se debe tener un cuidado especial al depositar aleaciones base hierro con porcentajes altos de carburos en aceros al carbono o de baja aleación, ya que se puede producir una interfase frágil y sensible al agrietamiento.

2.- Aceros al manganeso austeníticos

Este acero aleado, dúctil, tenaz y de alta resistencia, se ha utilizado universalmente como un

componente resistente al desgaste debido a la dureza que adquiere cuando es sometido a impacto. Bajo su superficie protectora endurecida, el material retiene su tenacidad, resistencia y ductilidad. Proporciona también una excelente capa base para las aleaciones de alto porcentaje de carburos de cromo. Aunque generalmente no es magnético, el acero al manganeso austenítico endurecido, presentará cierto magnetismo.

Las altas temperaturas pueden tener un efecto negativo en los aceros al manganeso austenítico. No se deben precalentar a menos que el metal base esté bajo 50°F (10°C). El precalentamiento se lleva a cabo sólo para sacar el hielo del metal base y no se debe exceder los 150°F (66°C). Durante la soldadura la temperatura del material base no debe sobrepasar los 500°F (260°C). La fragilización del acero al manganeso es una relación tiempo/temperatura (Ver figura). Más carbono y menos manganeso aceleran esta relación.



PREPARACION DEL METAL BASE

Independiente del material base, se deben tener presentes ciertas precauciones en lo que se refiere a su preparación. Antes de soldar se debe eliminar todo vestigio de grasa, aceite, polvo, óxido u otros materiales extraños. Para eliminar grietas, restos de depósitos anteriores o cualquier área endurecida se pueden usar sistemas mecánicos o el torchado. Si no se efectúa una buena preparación superficial antes de aplicar la aleación de recubrimiento, puede existir el riesgo de agrietamiento antes o después de poner en servicio la pieza.

III.- MECANISMOS DE DESGASTE

El desgaste de las piezas metálicas debe definirse como un decaimiento o falla gradual del metal. Cuando una pieza se deforma excesivamente, de manera que no puede trabajar adecuadamente, se debe reemplazar o recuperar. Mientras que los resultados finales que ocasiona el fenómeno de desgaste son similares, las causas de éste son diferentes. Es esencial entender los mecanismos

de desgaste involucrados, antes de realizar la selección de la aleación que se empleará en la recuperación o el recubrimiento de una pieza.

Sería sencillo seleccionar una aleación de recubrimiento si todos los componentes de la pieza estuvieran sujetos a un solo tipo de desgaste. Sin embargo, una pieza metálica se desgasta generalmente por la combinación de dos o más tipos de desgaste. Esto hace que la selección de la aleación sea considerablemente más complicada.

Las aleaciones empleadas en la recuperación y recubrimiento de piezas se deben elegir en base al compromiso existente entre cada mecanismo de desgaste. El enfoque inicial debe centrarse en el mecanismo de desgaste principal y luego deben examinarse los secundarios. Por ejemplo: luego de examinar una pieza metálica desgastada, se determina que el principal mecanismo de desgaste es la abrasión y el mecanismo secundario es el impacto ligero. De acuerdo con esto, la aleación seleccionada debe tener una muy buena resistencia a la abrasión como también una buena resistencia al impacto.

LOS CINCO PRINCIPALES MECANISMOS DE DESGASTE

Existen cinco tipos principales de desgaste:

- ♦ **Abrasivo (3 categorías)**
- ♦ **Impacto.**
- ♦ **Adhesivo (Desgaste Metal-Metal).**
- ♦ **Altas temperaturas.**
- ♦ **Corrosivo.**

1.- Desgaste Abrasivo



El desgaste Abrasivo es causado por materiales extraños que se frotan contra una pieza metálica. Corresponde al 55 ó 60% del desgaste de los componentes industriales.

El desgaste abrasivo es en realidad un conjunto de problemas de desgaste. Se puede dividir en tres categorías principales:

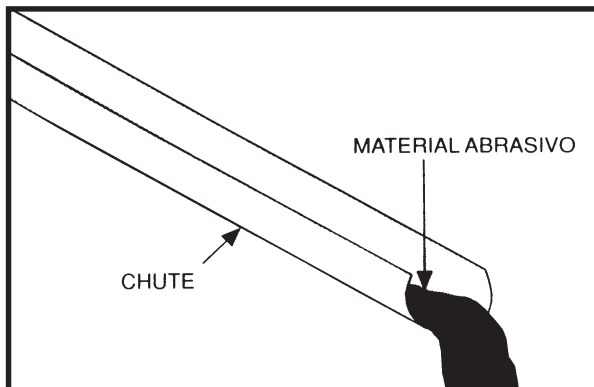
A.- Abrasión pura o de baja tensión - Normalmente es el tipo de abrasión menos severa. Las piezas de metal se desgastan debido a la acción del desgarro repetido que producen partículas duras y afiladas moviéndose por la superficie del metal a velocidades variables (Fig. 1). La velocidad, la dureza, el filo del reborde, el ángulo de introducción y el tamaño de las partículas abrasivas se combinan para influir sobre el efecto de la abrasión.

Las aleaciones que contienen carburos (particularmente carburos de cromo) se utilizan exitosamente para resistir el desgaste por abrasión de baja tensión. Debido a la ausencia de

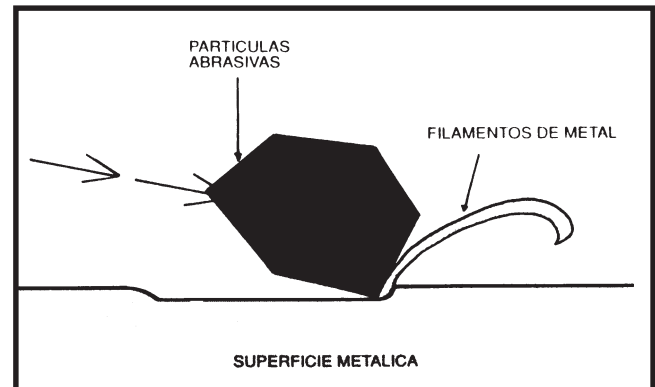
impacto, las aleaciones de acero altas en carbono y cromo (relativamente frágiles) son apropiadas para aplicaciones en que las piezas están expuestas a este tipo de abrasión.

Los componentes típicos sometidos a abrasión pura o de baja tensión incluye: implementos agrícolas, clasificadores, tornillos sin fin, toberas de bombas de pulpa, equipos de proyección de arena, canaletas y ductos de transporte de material abrasivo, etc.

Figura 1 - DESGASTE POR ABRASION PURA O DE BAJA TENSION.



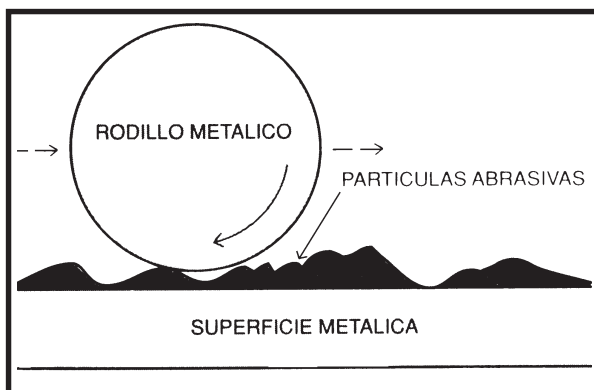
El material abrasivo que se desliza va desgarrando levemente la superficie del metal, desgastándola gradualmente.



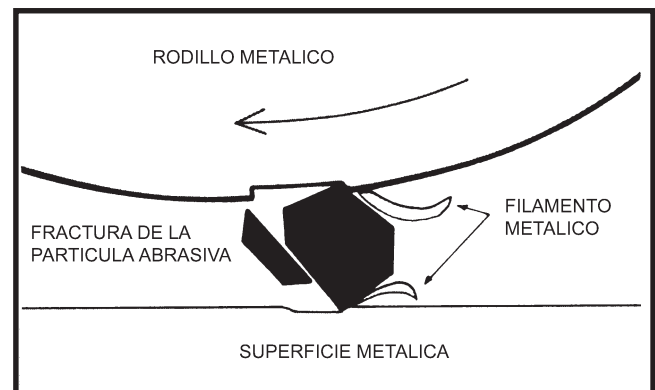
Un corte microesquemático muestra cómo una partícula abrasiva en movimiento desgarrar un diminuto filamento de metal.

B.- Abrasión de alta tensión o esfuerzo - Es más intensa que el simple desgarrar y ocurre cuando pequeñas y duras partículas abrasivas son presionadas contra una superficie metálica con fuerza suficiente para quebrar la partícula de modo de triturarla. Generalmente la fuerza de compresión la proporcionan dos componentes metálicos con el elemento abrasivo aprisionado

Figura 2 - DESGASTE POR ABRASION DE ALTA TENSION O ESFUERZO.



Dos componentes metálicos presionan fuertemente el material abrasivo entre ellos, triturando la partícula original.



El corte microesquemático muestra la fractura de una partícula abrasiva en trozos más pequeños y de ángulos más afilados, los que cortan pequeños filamentos en ambas superficies metálicas.

entre ellos, llamada regularmente abrasión de tres elementos (Fig. 2). La superficie se pone áspera producto del desgarrar, pudiendo dar origen a grietas superficiales.

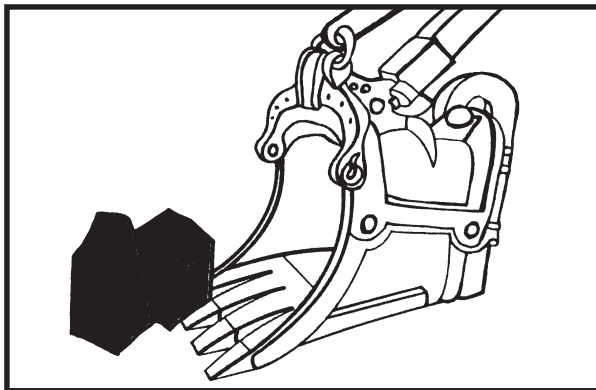
Existen ejemplos de aleaciones dúctiles y tenaces que desarrollan cierta dureza al estar sometidas a abrasión por alta tensión. La gama de aleaciones utilizadas exitosamente incluye; manganeso austenítico, aceros martensíticos y algunas aleaciones que contienen carburos (usualmente carburos pequeños) en una matriz tenaz.

Los componentes típicos sometidos a abrasión por alta tensión incluyen: barrenas, palas excavadoras, pulverizadores, molinos de bola y barra, tambores de freno, rodillos trituradores y paletas mezcladoras.

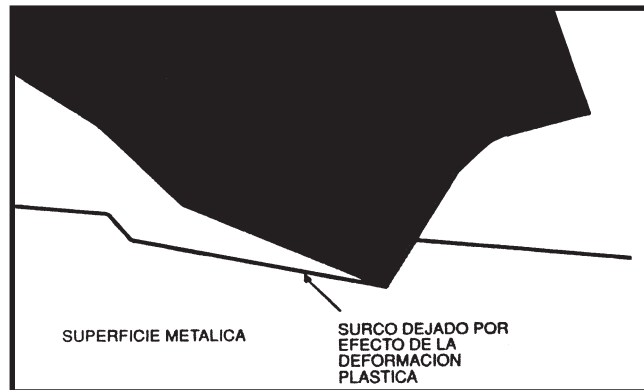
C.- Abrasión por desgarramiento - Cuando la abrasión de alta y baja tensión va acompañada con algún grado de impacto y carga, el resultado de desgaste puede ser extremo. En la superficie del metal se producen severas deformaciones y surcos cuando objetos masivos (a menudo rocas) son presionadas fuertemente en su contra. (Fig. 3). Un ejemplo de esto, a baja velocidad, es una pala de rastra excavando en la tierra; un ejemplo de alta velocidad sería la trituración de una roca. En ambos casos la acción del material sobre el metal es similar a la de una herramienta de corte.

Cuando existe abrasión por desgarramiento generalmente se utilizan aleaciones de alta tenacidad en reemplazo de aleaciones más duras y resistentes a la abrasión. Las aleaciones en base a carburos de cromo se utilizan sólo cuando se aplican sobre una base de material tenaz, preferentemente de acero al manganeso austenítico. Los componentes típicos sometidos a abrasión por desgarramiento incluyen: palas de rastra, palas mecánicas, baldes tipo de concha de almeja, chancadores de cono, chancadores de pera, chancadores de mandíbula, etc.

Figura 3 - DESGASTE DEBIDO A LA ABRASION POR DESGARRAMIENTO



El peso de la roca impactada sobre el metal con una fuerza a baja velocidad, produciendo surcos y cortes en la superficie del metal.



Un corte macroesquemático muestra como la roca pesada deforma y hunde la superficie de metal. El surco es el resultado de la deformación plástica masiva del metal.

2.- Desgaste por Impacto



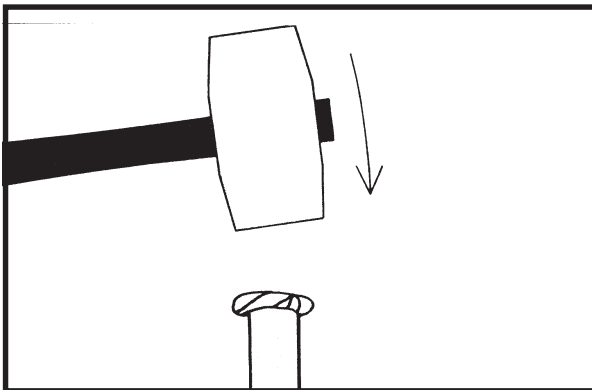
El impacto, que se define como la aplicación rápida de una carga compresiva, produce en forma momentánea una tensión mecánica extremadamente alta sobre un componente metálico. Cuando la tensión excede los límites elásticos del metal, este se deforma bajo el punto y lateralmente a lo largo de la superficie de impacto.

Un material muy frágil no puede soportar mucha deformación de modo que puede agrietarse de un golpe muy severo o producto de una serie de golpes más suaves. Aún cuando el metal sea lo suficientemente dúctil para evitar el agrietamiento, los impactos sucesivos a menudo comprimen la superficie, provocando a veces que ésta tome la forma de un hongo en los bordes y eventualmente se rompa en pedazos (Fig. 4).

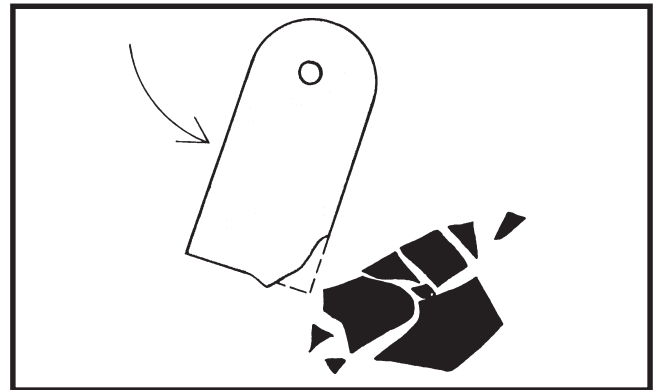
Los aceros al manganeso austeníticos (11 a 20% Mn) son la mejor elección para resistir impactos fuertes debido a su característica de endurecimiento por deformación mecánica. Aunque no tan bueno como los aceros al manganeso austeníticos, las aleaciones martensíticas también ofrecen una resistencia moderada al impacto.

Los componentes típicos sometidos al impacto incluyen: cajas de acoplamiento, rodillos de trituración, martillos de impacto, barras de impacto, mandíbulas de chancadores, cruces de rieles, etc.

Figura 4 - DESGASTE POR IMPACTO

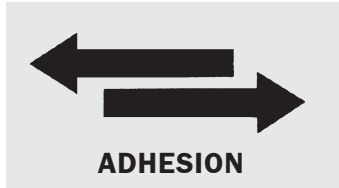


El desgaste por impacto se puede apreciar fácilmente en un cincel, donde los sucesivos golpes del martillo van deformando gradualmente la cabeza del cincel, agrietando finalmente los rebordes y expandiéndolos como la cabeza de un hongo.



Un efecto «Hongo» similar ocurre con equipos tales como martillos trituradores, con la diferencia de que en este caso es el eje proyectado el que es golpeado y deformado por el impacto de la roca.

3.- Desgaste Adhesivo (metal - metal)

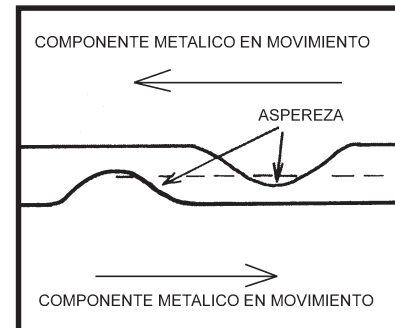


El desgaste adhesivo o metal - metal, que comprende un 15% del desgaste general, resulta de la fricción no lubricada entre piezas metálicas. Las superficies metálicas, sin importar su acabado, están compuestas de áreas microscópicas altas y bajas. Como las superficies de metal se deslizan una contra otra, se rompen las áreas altas y se desprenden diminutos fragmentos de metal (Fig. 5). La remoción continua de metal produce aspereza en la superficie de éste, lo que contribuye a que el desgaste sea aún más acelerado.

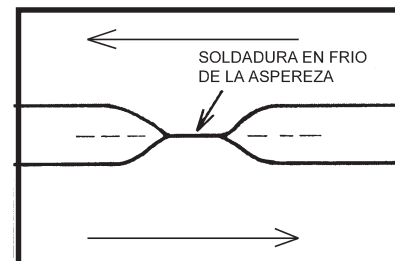
Las aleaciones martensíticas son una buena opción para resistir el desgaste por adhesión (metal - metal). Otras aleaciones usadas en forma exitosa son aquellas en base a cobalto. Considerando que una aleación más suave enfrentada con una superficie más dura se desgasta rápidamente, es importante no sobredimensionar un componente, cuando se aplica un recubrimiento resistente al desgaste por adhesión.

Los componentes típicos sometidos a desgaste por adhesión incluyen: rodillos de laminación de acero, componentes del tren de aterrizaje, cuchillos cortantes, ejes, muñones, superficies de rodamientos no lubricados, rodillos impulsores, rodillos guías, rueda motriz, cadena y otras piezas de equipos de movimiento de tierra.

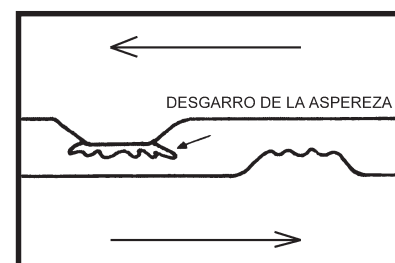
Figura 5 - DESGASTE POR ADHESION O METAL-METAL (Corte Microesquemático)



Los componentes del metal deslizante tienen diminutas protuberancias o rugosidades llamadas asperezas, las que chocan entre sí.



El contacto bajo ciertas condiciones de calor y presión hace que el metal fluya y se adhiera momentáneamente en una soldadura en frío o por presión.



Cuando la fuerza del equipo fractura la aspereza soldada en frío, el metal distorsionado de una de las superficies se adhiere a la superficie contraria, acelerando el desgaste.

4.- Desgaste por alta temperatura



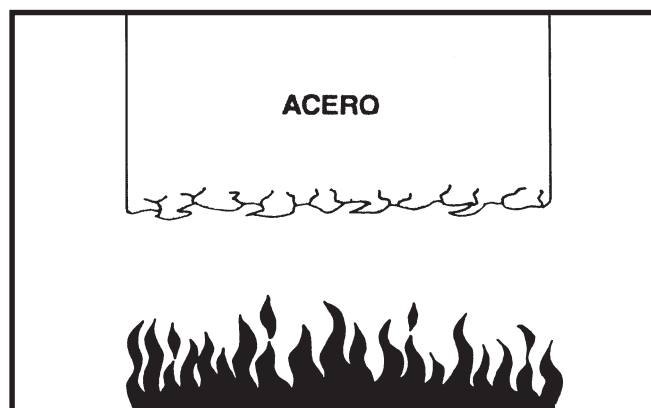
Las superficies de acero expuestas a altas temperaturas por períodos extensos, se pueden deteriorar permanentemente. El calor afecta la microestructura del metal y generalmente reduce su durabilidad (Fig. 6). La mayoría de las aleaciones ven reducida su resistencia al desgaste cuando están sometidas a temperaturas elevadas durante el servicio. Esto se debe principalmente a la pérdida de propiedades que sufre cualquier material por efecto de las altas temperaturas.

La principal causa de falla en los metales que están expuestos a altas temperaturas es la fatiga térmica (agrietamiento por temperatura). Esta se produce cuando se somete un metal a ciclos repetidos de altas temperaturas seguidos de enfriamientos rápidos. Las expansiones y contracciones continuas causadas por este ciclo térmico, eventualmente exceden la capacitación del metal para recuperarse y es motivo de agrietamientos profundos.

Los aceros Martensíticos que contienen de un 5 a 12% de cromo se utilizan extensamente para combatir la fatiga térmica. Muchas aleaciones de carburos de cromo conservan su resistencia al desgaste hasta 1200°F (648°C). Las condiciones de servicio a temperaturas superiores generalmente requieren una aleación no ferrosa.

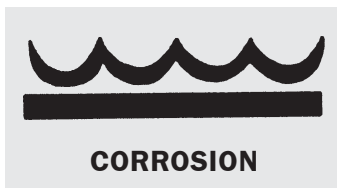
Los componentes típicos sometidos a desgaste por altas temperaturas incluyen: rodillos para colada continua, rodillos para laminación en caliente, matrices de forja en caliente, tenazas y equipos de sintetizado, válvulas de motores a combustión, etc.

Figura 6 - DESGASTE POR OXIDACION A ALTA TEMPERATURA (Corte Microesquemático)



Las altas temperaturas que se dan en ciertas aplicaciones pueden provocar agrietamiento y escamación de la superficie.

5.- Desgaste por Corrosión

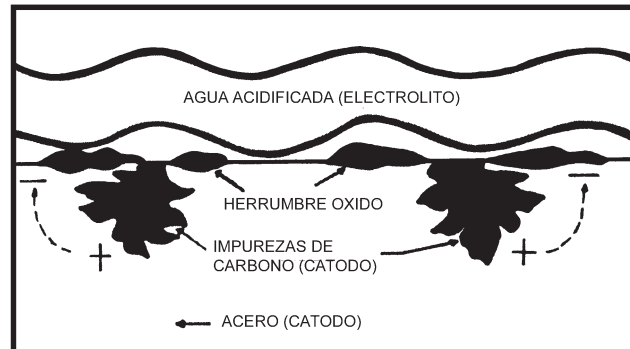


Los metales ferrosos están expuestos a muchas formas de corrosión, y cada una puede causar un daño por desgaste. El tipo de corrosión más común es la oxidación. La oxidación transforma la superficie del metal en óxido, el cual, eventualmente se descascara y rompe, reduciendo, así el espesor original del metal (Fig. 7).

La corrosión relacionada con la superficie es a menudo un factor de

desgaste secundario. Aunque muchas aleaciones para recubrimiento ofrecen una cierta protección contra la corrosión, la selección de la aleación para un ambiente corrosivo específico debe manejarse como un asunto aparte.

Figura 7 - DESGASTE POR CORROSION EN AMBIENTE LIQUIDO (Corte Microesquemático)

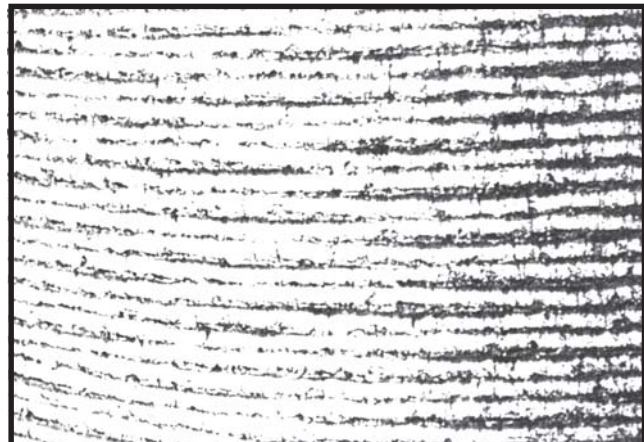


Cuando el agua hace contacto con el acero, se establecen pequeñas celdas eléctricas. La humedad acidificada (electrolito) ataca la superficie del acero, transformándolo gradualmente en óxido.

IV. - ACABADO SUPERFICIAL

¿Debe el depósito ser mecanizado, rectificado o cortado a llama?. ¿Debe el componente ser tratado térmicamente?, ¿Es aceptable el alivio de tensiones por agrietamiento?. Estas interrogantes se deben responder antes de seleccionar la aleación para el recubrimiento o recuperación de una pieza.

El tipo de aleación generalmente determina la calidad del acabado superficial de la pieza recuperada. Si se requiere una superficie suave o pulida para un servicio específico se debe considerar la factibilidad y los aspectos económicos relativos al mecanizado o fresado de la pieza. Algunas aleaciones deben ser tratadas térmicamente a fin de suavizarlas lo suficiente para el mecanizado y luego someterlas nuevamente a un tratamiento térmico para alcanzar la dureza apropiada y así obtener la máxima vida útil. Algunas aplicaciones, como trituración de rocas, pueden requerir intencionalmente una falta de suavidad para ayudar a retener el material que ingresa.



Grietas en un recubrimiento con alto porcentaje de carburos de cromo, producto de alivio de tensiones.

En la familia de las aleaciones base carburos existen algunas que son, según su diseño, sensibles al agrietamiento y desarrollan el alivio de tensiones a través del agrietamiento de los depósitos de soldadura a medida que estos se enfrían. (ver fotografía). Estas grietas son necesarias para

prevenir el desprendimiento o desgarramiento de los cordones y no debilitan o afectan las características antidesgaste de la aleación. Usualmente mientras más bajo es el porcentaje de carburos en la aleación, se producirán menos grietas en el depósito. Pero al ser más bajo el porcentaje de carburos, menor será su resistencia contra el desgaste.

Ya que las aleaciones utilizadas para el recubrimiento y recuperación de piezas van desde las fáciles de mecanizar hasta las difíciles de rectificar, es preciso tener claro cual es el acabado. A menudo es necesario un sacrificio en el grado de resistencia al desgaste para lograr el acabado superficial requerido. Revise las especificaciones del producto a fin de estar seguros de que se podrá obtener el acabado superficial especificado.

CLASIFICACIÓN DE ALEACIONES PARA EL RECUBRIMIENTO Y RECUPERACIÓN DE PIEZAS

INDURA fabrica dos categorías principales de productos para el recubrimiento y recuperación de piezas; las bases fierro y las no ferrosas. Las aleaciones en base fierro representan sin duda el uso mayoritario de las aleaciones de recubrimiento y las discutiremos ampliamente.

I.- ALEACIONES BASE FIERRO

Las aleaciones base fierro se pueden subdividir de acuerdo con su fase metalúrgica o microestructura. Cada tipo resiste ciertos tipos de desgaste en forma más económica y/o mejor que otros. Para simplificarlo, INDURA agrupa las diferentes aleaciones en tres grandes familias:

- 1.- Aleaciones Austeníticas.**
- 2.- Aleaciones Martensíticas.**
- 3.- Aleaciones en base a Carburos.**

En cada familia se pueden encontrar productos en los que se combinan las propiedades de la familia principal de aleaciones con propiedades de otra familia de aleaciones. Estos productos los desarrolló INDURA para resistir dos tipos de desgaste en forma simultánea o para incorporar ciertas características deseables.

1.- ALEACIONES AUSTENÍTICAS

- * Excelente resistencia al impacto.
- * Resistencia a la abrasión aceptable.
- * Apropriadas para relleno (Build-up)

Se llaman austeníticas las aleaciones que conservan una microestructura austenítica a temperatura ambiente. Con composiciones de 0,5 a 1% carbono y entre 13 a 20% de aleación (principalmente manganeso, con un pequeño porcentaje de níquel y/o cromo), comúnmente se les llama aleaciones «manganeso austenítico» o aceros al manganeso tipo «Hadfield», y son de composición similar al metal base. Estas aleaciones están diseñadas para satisfacer (o exceder) las propiedades del metal base (Manganeso tipo «Hadfield»). Se utilizan extensamente en la recuperación o reacondicionamiento de piezas de acero al manganeso desgastadas y también como capa base para aleaciones más duras (carburos de cromo).

Las aleaciones austeníticas con contenidos de hasta 0,7% de carbono, y 20 a 30% aleación (a menudo con partes similares de manganeso y cromo y algo de níquel) proporcionan austenita estable incluso en caso de ser usados en aceros al carbono o de baja aleación. Esto las hace ser una mejor alternativa que las aleaciones al manganeso austeníticas, en el caso de recubrir piezas de acero al manganeso o para uniones disímiles entre éstos y aceros al carbono o de baja aleación.

Las aleaciones tipo austeníticas bien diseñadas, son extremadamente tenaces, dúctiles y endurecen fácilmente en servicio. Ofrecen una excelente resistencia al impacto, una buena resistencia abrasiva (la cual mejora a medida que se endurece en servicio), y no muestran agrietamiento. Estas aleaciones se endurecen normalmente en servicio hasta llegar a una dureza de 50Rc y aunque esto mejora su resistencia abrasiva, aún conservan su buena resistencia al impacto. Tanto los depósitos de recubrimiento austenítico como los metales base al manganeso austeníticos (ver Materiales Base), no deben exponerse por períodos prolongados a temperaturas sobre 500°F (260°C) a fin de minimizar la tendencia al agrietamiento.

Dentro de esta familia de aleaciones austeníticas se incluyen además los aceros inoxidable austeníticos tipos 308, 316, 309, 312, etc. los cuales han sido usados con éxito en el recubrimiento y recuperación de pieza desde su primera aparición en el mercado.

Arco Manual	Alambre Tubular
Mn - 14 Super 160 Timang	OA - 308L AP - O



Microfotografía que muestra la estructura Austenítica.

2.- ALEACIONES MARTENSÍTICAS.

- * Buena resistencia al impacto.
- * Resistencia a la abrasión aceptable.
- * Buena resistencia al desgaste Metal - Metal.
- * Utilizado tanto para relleno (Build - up) como para recubrimiento antidesgaste (Overlay).

La Martensita es una fase microestructural dura que se obtiene en los aceros, producto de un enfriamiento rápido desde cierta temperatura. Dado que las aleaciones martensíticas se endurecen al aire, la velocidad de enfriamiento juega un papel importante en la fuerza final; el enfriamiento más rápido generalmente resulta en un depósito más duro. Cuando se trabaja con aleaciones martensíticas generalmente se requieren precalentamientos de 250°F (121°C) hasta 600°F (316°C) para evitar fisuras en el depósito de soldadura (el metal base también debe tomarse en cuenta).

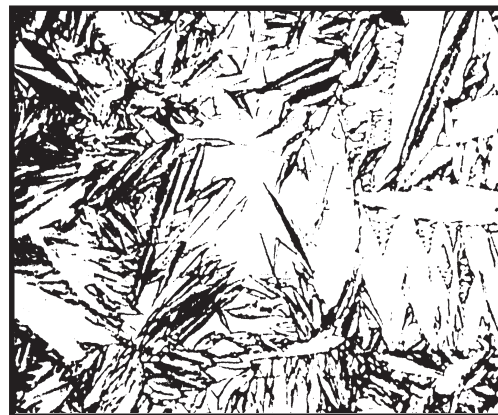
Las aleaciones martensíticas de bajo carbono y las de baja aleación (menos de un 5%), se usan principalmente para el relleno (Build-up) y recuperación de piezas de acero al carbono o de baja aleación. Su alta resistencia a la compresión, tenacidad y su buena resistencia al desgaste metal - metal, las hacen apropiadas no sólo para reacondicionar componentes hasta sus dimensiones originales, sino que también como una capa base para recubrimientos más duros.

Porcentajes levemente superiores de carbono y porcentajes más altos de aleación (6 a 12%) produce que los depósitos exhiban una dureza significativamente mayor. Esta dureza les da una mayor resistencia al desgaste metal - metal y una mejor resistencia a la abrasión, (comparado con las aleaciones de relleno Build-up) pero su tenacidad es menor. Aunque la tenacidad se puede mejorar con un revenido, estas aleaciones se utilizan principalmente como recubrimiento antidesgaste (Overlay).

Otro grupo común de aleaciones martensíticas corresponde a los aceros inoxidables martensíticos. Con un contenido de alrededor de 0,25% de carbono y hasta 18% aleación (principalmente cromo), este grupo de aleaciones presenta una excelente resistencia al shock térmico. También proporcionan una buena resistencia a la cavitación, al desgaste metal - metal y una resistencia a la corrosión moderada. Requieren procedimientos de soldadura rígidos para una aplicación exitosa y se utilizan en forma importante para recubrir rodillos de laminación de acero (incluyendo los de colada continua) y rodets de turbinas de centrales hidroeléctricas (Pelton, Francis)

Las aleaciones martensíticas proporcionan un buen balance entre resistencia al impacto y a la abrasión. Una selección apropiada de los porcentajes de carbono y cromo permite obtener una buena combinación entre resistencia a la abrasión, desgaste metal - metal e impacto. La capacidad de las aleaciones martensíticas para responder a los tratamientos térmicos también posibilita alterar su relación dureza / tenacidad a fin de satisfacer las condiciones de trabajo en forma más apropiada. Esta familia de aleaciones no debe ser utilizada para unir piezas y no debe aplicarse sobre metales base austeníticos.

Arco Manual	Alambre Tubular
Build-up 24 Build-up 28 Build-up 4340 Antifrix 37 410 NiMo	242 - 0



Microfotografía que muestra la estructura martensítica.

3.- ALEACIONES EN BASE A CARBUROS

- * Excelente resistencia a la abrasión.
- * Buena resistencia al calor.
- * Resistencia a la corrosión aceptable.
- * Resistencia al impacto moderada a baja.

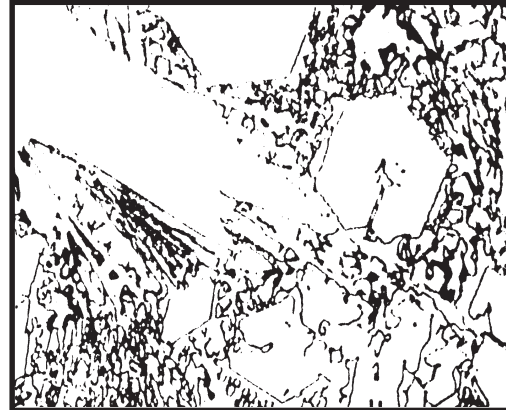
Porcentajes variables de carbono con porcentajes mínimos de un 12% de aleación (principalmente cromo) genera la formación de carburos duros los que se dispersan por toda la superficie del depósito (ver Fig. 8). Estos carburos dispersos son mucho más duros que la matriz circundante y proporcionan una excelente resistencia a la abrasión. Se utilizan cuando la abrasión es el principal mecanismo de desgaste.

En el extremo inferior del rango de carbono (menos de 3%), la cantidad de carburos es pequeña comparada con la matriz en la que se encuentran dispersos. Estas aleaciones presentan una buena resistencia abrasiva acompañado de una buena tenacidad, por lo que son usadas para resistir una combinación de abrasión e impacto.

A medida que aumenta el contenido de carbono (hasta un 7%) de las aleaciones que contienen carburos, aumenta la resistencia a la abrasión y disminuye la tenacidad (debido al porcentaje más alto de carburos). Todas las aleaciones base carburos desarrollan grietas transversales, producto del alivio de tensiones (ver pág 9). Como regla general se puede decir que mientras mayor el porcentaje de carburos, mayor es la tendencia al agrietamiento, mayor es la cantidad de grietas que se generan pero mayor es su resistencia al desgaste.

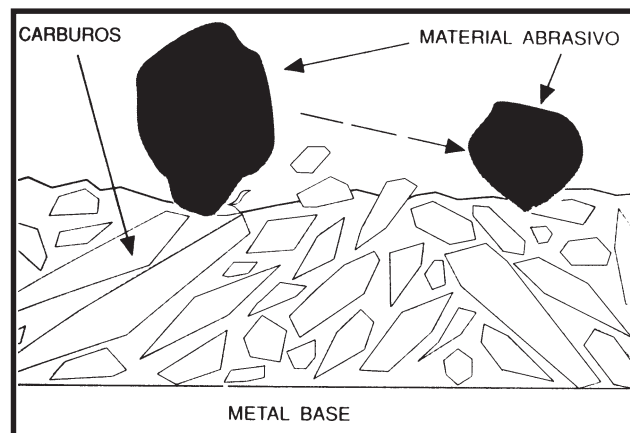
Estas aleaciones no deben ser utilizadas para unir piezas pero se pueden aplicar en aceros al carbono, acero de baja aleación, acero al manganeso austenítico y en hierro fundido (con procedimientos de soldadura especiales). Antes de aplicar un recubrimiento base carburos se recomienda depositar una capa base de material tenaz (super 160, MN 14, 308L, 19-9, etc.). Además es aconsejable limitar el espesor del recubrimiento base carburos a 2 ó 4 capas, a fin de prevenir el desprendimiento de éste. Se debe tener cuidado al aplicar aleaciones base carburos en piezas metálicas de bajo espesor ya que las grietas

Arco Manual	Alambre Tubular
Overlay 50 Overlay 60 Overlay 62 Duraloy	OA - 58



Microfotografía que muestra grandes carburos en una matriz.

Figura 8 - CARBUROS RESISTIENDO EL DESGASTE



A medida que los carburos son desgastados y golpeados por las partículas abrasivas en movimiento, otros carburos adicionales van apareciendo para resistir el efecto abrasivo y retardar el desgaste.

generadas (producto éstas del alivio de tensiones) se pueden propagar a través de ésta. Las aleaciones base carburos presentan una buena resistencia a la abrasión a altas temperaturas (algunas sobre 1200°F, (650°C)) y se deben considerar como no aptas para el maquinado.

II.- ALEACIONES NO FERROSAS

1.- ALEACIONES BASE COBALTO

Las aleaciones austeníticas, martensíticas y base carburos que hemos mencionado son todas base fierro. Aunque en menor número también se utilizan aleaciones de recubrimiento no ferrosas. Estas aleaciones generalmente se emplean donde las temperaturas de servicio exceden los límites térmicos que son capaces de resistir las aleaciones base carburos. Las aleaciones base Cobalto ofrecen propiedades de resistencia para combatir la gran mayoría de estos tipos de desgaste, pero debido a su alto costo se usan principalmente en aplicaciones específicas donde sus propiedades tan especiales se justifican desde el punto de vista económico.

Las aleaciones base cobalto se utilizan comúnmente en aplicaciones donde existen altas temperaturas, sin embargo, presentan una buena resistencia al mecanismo de desgaste abrasivo de baja tensión, además de una buena resistencia al impacto. Dependiendo de la aleación, éstas son capaces de resistir el desgaste metal - metal, corrosión, oxidación y altas temperaturas.

La aleación INDURA Cobalt 6 (AWS A5.13, ER CoCr - A) es la aleación base cobalto más conocida. Contiene carburos de cromo en una matriz de solución sólida de cobalto -cromo - tungsteno. El Cobalt 6 se utiliza donde los factores de desgaste van acompañados de temperaturas elevadas y/o corrosión, siendo particularmente adecuadas para resistir el desgaste en situaciones de desgaste por fricción metal - metal de alto esfuerzo.

Otra aleación base cobalto que fue introducida recientemente a nuestra línea de productos es la denominada INDURA COBALT HR 21. Esta aleación tiene la propiedad de endurecer en trabajo (32 a 48 Rc) conservando sus características a altas temperaturas.

2.- ALEACIONES BASE NÍQUEL

Las aleaciones de recubrimiento en base a níquel fueron desarrolladas como substitutos para ciertas aleaciones en base a cobalto, a fin de reducir el costo de la aleación. El níquel proporciona una mayor resistencia de la matriz a altas temperaturas comparado con las aleaciones base fierro, y tiene aplicaciones similares a las aleaciones de cobalto. Las aleaciones en base a níquel son básicamente un substituto más barato de las aleaciones base cobalto, para aplicaciones donde están presentes altas temperaturas. Un ejemplo de esto es el electrodo INDURA Nichrom C, en cual posee una buena resistencia a la corrosión y abrasión a altas temperaturas y en muchos casos se usa como una alternativa del electrodo base cobalto, Cobalt 6.

Otro electrodo base níquel que reviste gran importancia por sus características, es el electrodo INDURA Nicroelastic 46. Este electrodo combina alta resistencia con alta ductilidad y tenacidad, no se ve afectado por tratamiento térmico, tiene excelente comportamiento a los ciclos térmicos y es apto para trabajar a temperaturas criogénicas. Puede ser usado para unión y reconstrucción de piezas, principalmente de acero de baja aleación de composición desconocida o difícil soldabilidad, aceros fundidos, aleaciones base níquel (iconel, incoloy, hastelloy, etc), uniones disímiles, etc.

3.- OTRAS ALEACIONES

Dentro de la línea de electrodos INDURA, se encuentran además las aleaciones para hierro fundido, aleaciones base cobre, y las aleaciones base aluminio. Todas ellas son usadas para la unión y reconstrucción de piezas de los metales base correspondientes. Más adelante se entrega una completa descripción de las características y aplicaciones de cada una de ellas.

UN CONCEPTO ERRADO RESPECTO A LA DUREZA

Una mayor dureza no siempre implica una mejor resistencia a la abrasión o una vida útil más prolongada. Varias aleaciones pueden tener la misma dureza pero tienen grandes diferencias en su resistencia al desgaste por abrasión.

Por ejemplo, algunas de las mejores aleaciones de recubrimiento INDURA deben su gran resistencia a la abrasión a la presencia de carburos sumamente duros, dispersos en una matriz más dúctil y tenaz. Los ensayos de macrodureza (Rockwell o Brinell) que miden la dureza promedio conjunta tanto del carburo como de la matriz, a menudo registran la misma dureza que en otros metales convencionales. La diferencia está en que una aleación que contiene carburos tiene sustancialmente una mejor resistencia abrasiva. (Ver gráfico de la Fig. 9).

Del mismo modo, al comparar varias aleaciones de recubrimiento entre sí (Fig. 10) se deduce que la dureza, aunque iguales, no es el único factor que se debe considerar en lo referente a la resistencia al desgaste. La resistencia (especialmente a la abrasión de alta y baja tensión) depende más bien de una combinación de ambas; dureza y microestructura de las aleaciones varía según la proporción de carburos en la matriz y del tipo de carburos presente. La aleación con mayor porcentaje de carburos, más duros y mejor distribuidos será la que presente la mejor resistencia a la abrasión, tanto de baja como de alto esfuerzo o tensión.

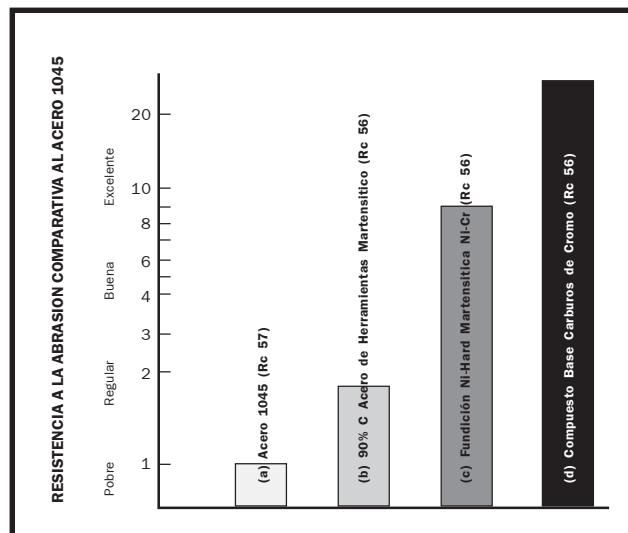


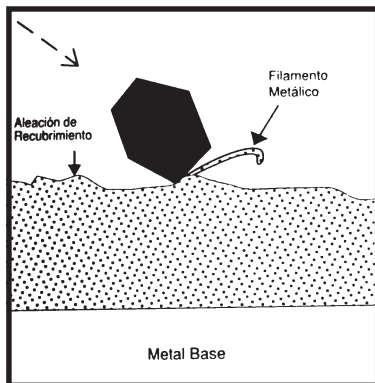
Figura 9 - DUREZA COMPARADA CON RESISTENCIA AL DESGASTE.

Los resultados de estas pruebas muestran que los materiales pueden tener la misma dureza, pero su resistencia a la abrasión difiere en forma notoria.

- a.- El acero 1045 se utiliza sólo como base de comparación.
- b.- El acero de herramienta es sólo $1\frac{3}{4}$ veces más resistente a la abrasión que el acero 1045.
- c.- La aleación tipo Ni - Hard es 8 veces más resistente que el acero 1045.
- d.- El recubrimiento base carburos es 20 veces más resistente que el acero 1045.

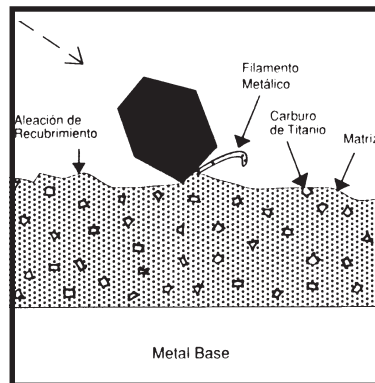
Figura 10 - COMPARACION DE DEPOSITOS DE ALEACIONES DE RECUBRIMIENTO: DUREZA vs. RESISTENCIA A LA ABRASION (corte microesquemático)

Aleación de recubrimiento Marten-sítico. Dureza promedio del depó-sito - 58 Rc.



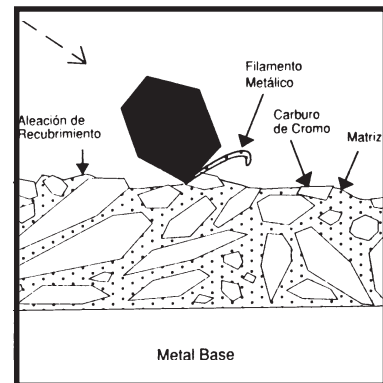
Mejor resistencia a la abrasión que el acero carbono. Las partículas abrasivas desgarran grandes filamentos de la superficie.

Aleación de recubrimiento conteniendo Carburos de Titánio. Dureza promedio del depósito - 58 Rc.



La resistencia a la abrasión es aún mayor ya que la partícula abrasiva es capaz de extraer filamentos más cortos de la matriz antes de golpear los pequeños carburos de titanio.

Carburo de cromo (Overlay 60 - 0A - 58). Dureza promedio de depósito - 56.



Presenta una resistencia superior a la abrasión ya que las partículas abrasivas extraen una mínima parte de la matriz antes de golpear los grandes carburos de cromo.

ALEACIONES INDURA PARA LA RECUPERACIÓN Y EL RECUBRIMIENTO DE PIEZAS

Las aleaciones desarrolladas por INDURA para la recuperación y el recubrimiento de piezas, no solo se pueden clasificar según el tipo de aleación sino que también por sus aplicaciones:

1.- Aleaciones para reacondicionamiento o relleno (BUILD-UP)

2.- Aleaciones para recubrimientos antidesgaste (OVERLAY)

Las aplicaciones para reacondicionamiento o relleno tienen una buena resistencia al impacto pero sólo una moderada resistencia al desgaste por abrasión. Dichas aleaciones se pueden utilizar como superficies de desgaste en sí, pero se emplean más frecuentemente para relleno o como base para capas superiores más duras y resistentes a la abrasión. Tanto las aleaciones al manganeso austeníticas como las martensíticas de baja aleación se utilizan para el reacondicionamiento o relleno de piezas.

Las aleaciones para recubrimiento antidesgaste (Overlay) son generalmente duras, tienen una excelente resistencia a la abrasión y una resistencia al impacto entre moderada y mala. Debido a su dureza, estas aleaciones se limitan usualmente a un número específico de capas. Ciertas aleaciones martensíticas y todas las aleaciones base carburos se utilizan como recubrimiento antidesgaste (Overlay).

PRINCIPALES ELECTRODOS INDURA PARA LA RECUPERACIÓN Y RECUBRIMIENTO DE PIEZAS

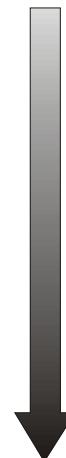
Dentro del amplio espectro de productos INDURA se destacan doce de ellos. Estos cubren la mayoría de las aplicaciones de desgaste por abrasión e impacto. Estas doce aleaciones INDURA, provienen de las tres clasificaciones de aleaciones en base a hierro descritas anteriormente (austeníticas, martensíticas, base carburos). La tabla inferior muestra la clasificación de la aleación y el grupo de uso de los productos INDURA. En las páginas siguientes se podrá encontrar mayor información referente a estos electrodos y al resto de los productos INDURA utilizados para la recuperación y recubrimiento de piezas.

	Tipo aleación	Arco manual	Alambre tubular
Build up y Overlay	Manganeso Austenítico	Super 160	AP - 0 AP - 0
		MN - 14	
		Timang	
Overlay	Martensíticos	Build up 28	242 - 0
		Antifix 37	
		Build up 4340	
Overlay	Base Carburos	Overlay 60	OA - 58
		Overlay 62	

Aumenta resistencia al impacto



Aumenta resistencia a la abrasión



APENDICE A

LA DILUCIÓN EN LA RECUPERACIÓN Y EL RECUBRIMIENTO DE PIEZAS

La dilución se define como un cambio en la composición química de un metal de aporte o soldadura, causado por la mezcla del metal base con el depósito de soldadura. Se mide como la proporción entre el metal base y el metal de aporte en el depósito de soldadura (ver dibujo). Es decir, el porcentaje de dilución es la cantidad de metal base (o depósito de soldadura anterior) que se mezcla con el depósito de soldadura.

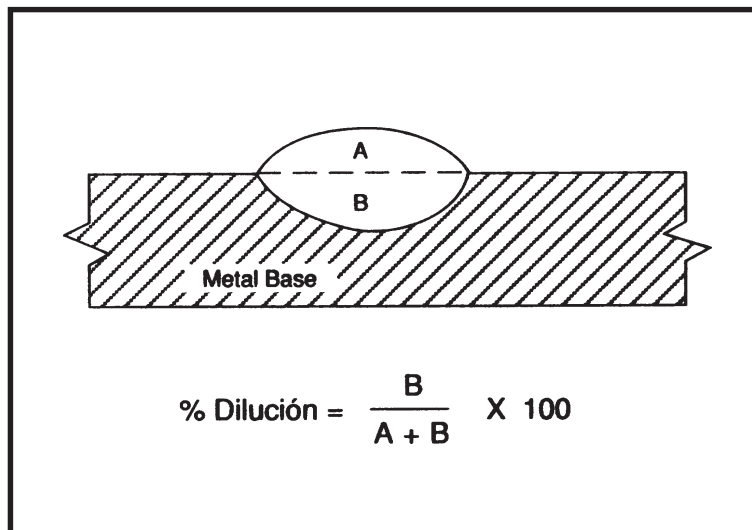
Al unir dos metales la resistencia de la unión está determinada por la magnitud de la penetración o dilución. En la recuperación y recubrimiento de piezas no existe la necesidad de una gran penetración ya que sólo se requiere una buena liga entre el depósito de soldadura y el metal base. Dado que la composición química y las propiedades de las aleaciones empleadas para el recubrimiento antidesgaste (Overlay), son a menudo muy diferentes a las del metal base, una dilución excesiva puede resultar perjudicial. Estas aleaciones están formuladas cuidadosamente para cumplir con ciertas características específicas de desgaste con el mínimo de pases de soldadura, ya que a medida que aumenta la dilución, disminuyen las características antidesgaste.

Factores que influyen en la dilución:

- a.- Velocidad de soldadura.** Mientras mayor es la velocidad de soldadura, menor es la dilución.
- b.- Temperaturas de precalentamiento.** A mayor temperatura de precalentamiento mayor es la dilución. Mantenga las temperaturas de precalentamiento dentro de los rangos recomendados.
- c.- Corriente de Soldadura.** Mientras mayor es el amperaje, mayor es la dilución.
- d.- Polaridad de soldadura.**
 - Polaridad Directa (DC -) ==> menor dilución.
 - Polaridad Invertida (CC +) ==> mayor dilución, pero mejores son las características de arco.
- e.- Posición de Soldadura.** Dilución en orden decreciente: Vertical ascendente (mayor dilución), horizontal, sobrecabeza, plano descendente (menor).
- f.- Técnica de Soldadura.** Mientras mayor es la oscilación del electrodo menor es la dilución. Un cordón recto proporciona una dilución máxima. Un mayor traslape con cordones anteriores también reduce la dilución.

g.- Número de Capas. A mayor el número de capas, menor es la dilución.

h.- Extensión del Electrodo. (STICK-OUT) Una mayor extensión del electrodo disminuye la dilución (para procesos con alambre tubulares)



APENDICE B

PRECALENTAMIENTO

El uso del precalentamiento reduce la tendencia a:

- a.- Desarrollar grietas.** La humedad puede ser aportada al depósito de soldadura por el revestimiento de los electrodos o por el fundente. El hidrógeno generado, producto de la humedad aumenta la posibilidad de agrietamiento de la soldadura o de la zona afectada térmicamente. El precalentamiento disminuye la velocidad de enfriamiento, lo cual permite que el hidrógeno tenga más tiempo para escapar.
- b.- Generación de tensiones por contracción.** El metal de soldadura fundido se contrae a medida que se enfría, lo que aumenta la tensión entre el depósito de soldadura (en contracción) y el metal base más frío. Esto puede provocar un agrietamiento durante o después de la soldadura. Precalentando la pieza el diferencial de temperatura entre el metal base y el depósito de soldadura se reduce. Esto disminuirá la susceptibilidad al agrietamiento.
- c.- Porosidad. Nuevamente el hidrógeno es el culpable.** La humedad puede estar presente en una superficie que no ha sido precalentada. Durante la soldadura el hidrógeno puede verse atrapado en el metal de soldadura y provocar porosidad a medida que se solidifica. El precalentamiento eliminará la humedad en el material base y por lo tanto la tendencia a la porosidad.
- d.- Desarrollo de zonas duras adyacentes a la soldadura dura (ZAT).** Algunas aleaciones de acero tienen la tendencia a endurecerse y agrietarse en la zona afectada térmicamente (ZAT). Esto se debe a la alta velocidad de enfriamiento durante el proceso de soldadura. El precalentamiento disminuye la velocidad de enfriamiento y proporciona una microestructura más dúctil.
- e.- Distorsiones.** A medida que el depósito de soldadura se enfría, se contrae y desarrolla tensiones entre éste y el material base adyacente más frío. Debido a ello el material base puede sufrir distorsión permanente. El precalentamiento puede ayudar a minimizar la distorsión, reduciendo el diferencial de temperatura entre el material base y el depósito de soldadura.

¿Cómo se determinan las temperaturas de precalentamiento?

Se debe conocer la composición química del material base antes de seleccionar una temperatura de precalentamiento adecuada. El contenido de carbono y de aleación del metal base son dos factores importantes que afectan la temperatura de precalentamiento.

Normalmente a mayor contenido de carbono y/o de elementos de aleación mayor será la temperatura de precalentamiento. En el Apéndice C se muestra una tabla de precalentamiento para diferen-

tes materiales base. Durante la soldadura, la temperatura entre pases debe ser igual a la temperatura de precalentamiento.

Otro factor importante para determinar las temperaturas de precalentamiento es el espesor del metal base. A mayor espesor del metal base, mayor la temperatura de precalentamiento.

Cuando se precalienta una pieza se requiere un tiempo de mantención a la temperatura adecuada a fin de que ésta sea lo más homogénea posible. Generalmente todas las piezas que se precalientan van acompañadas de un enfriamiento lento.

APÉNDICE C

TABLA PRECALENTAMIENTO

GRUPO METAL	DESIGNACION	COMPOSICION QUIMICA %								T PRE-CALENTAMIENTO RECOMENDADA
		C.	Mn.	Si.	Cr.	Ni.	Mo.	Cu.	OTROS	
ACERO CARBONO	Acero bajo carbono	Menos de .20								<100 °C
	Acero dulce	.20 - .30								100 - 150 °C
	Acero mediano carbono	.30 - .45								150 - 260 °C
	Acero alto carbono	.45 - .80								260 - 430 °C
ACERO CARBONO MOLIBDENO	Acero carbono molibdeno	.10 - .20					.50			150 - 260 °C
	Acero carbono molibdeno	.20 - .30					.50			200 - 320 °C
	Acero carbono molibdeno	.30 - .35					.50			260 - 430 °C
ACEROS AL MANGANESO	Acero estructural (Silicio)	.35	.80	.25						150 - 260 °C
	Acero mediano manganeso	.20 - .25	1.0 - 1.75							150 - 260 °C
	SAE T 1330	.30	1.75							200 - 320 °C
	SAE T 1340	.40	1.75							260 - 430 °C
	SAE T 1350	.50	1.75							320 - 480 °C
	Manganeso austenítico (12%)	1.25	12.0							NO REQUIERE
ACEROS DE ALTA RESISTENCIA	Manganeso Moly	.20	1.65	.20			.35			150 - 260 °C
	JALTEN	.35 Max.	1.50	.30				.40		200 - 320 °C
	MANTEN	.30 Max.	1.35	.30				.20		200 - 320 °C
	ARMCO HIGH TENSILE	.12 Max.				.50 Min.	.05 Min.	.35 Min.		<100 °C
	Double Strength #1	.12 Max.	.75			.50 - 1.25	.10 Min.	.50 - 1.50		150 - 320 °C
	DOUBLE STRENGTH #1A	.30 Max.	.75			.50 - 1.25	.10 Min.	.50 - 1.50		200 - 370 °C
	MAYARI R	.12 Max.	.75		.2 - .10	.25 - .75		.60		<150 °C
	OTISCOLOY	.12 Max.	1.25	.10 Max.	.10 Max.			.50 Max.		100 - 200 °C
	NAX HIGH TENSILIE	.15 - .25	.75	.60	.17	.15 Max.	.25 Max.		Zr. .12	<150 °C
	CROMANSIL	.14 Max.	1.25	.75	.50					150 - 300 °C
	A.W. DYN-EL	.11 - .14						.40		<150 °C
	CORTEN	.12 Max.		.25 - 1.0	.5 - 1.5	.55 Max.		.40		100 - 200 °C
	CROMO - NIQUEL - COBRE	.12 Max.	.75		.75	.75		.55		100 - 200 °C
	CROMO - MANGANESO	.40	.90		.40					200 - 320 °C
	YOLOY	.05 - .35	.3 - 1.0			1.75		1.0		100 - 320 °C
	HI-STEEL	.12 Max.	.6	.3 Max.		.55		.9 - 1.25		100 - 260 °C
ACEROS AL NIQUEL	SAE 2015	.10 - .20				.50				<150 °C
	SAE 2115	.10 - .20				1.50				100 - 150 °C
	2 1/2% NICKEL	.10 - .20				2.50				100 - 200 °C
	SAE 2315	.15				3.50				100 - 260 °C
	SAE 2320	.20				3.50				100 - 260 °C
	SAE 2330	.30				3.50				150 - 320 °C
	SAE 2340	.40				3.50				200 - 370 °C
ACEROS AL NIQUEL CROMO	SAE 3115	.15			.60	1.25				100 - 200 °C
	SAE 3125	.25			.60	1.25				150 - 260 °C
	SAE 3130	.30			.60	1.25				200 - 370 °C
	SAE 3140	.40			.60	1.25				260 - 430 °C
	SAE 3150	.50			.60	1.25				320 - 480 °C
	SAE 3215	.15			1.00	1.75				250 - 260 °C
	SAE 3230	.30			1.00	1.75				260 - 370 °C
	SAE 3240	.40			1.00	1.75				370 - 540 °C
	SAE 3250	.50			1.00	1.75				480 - 590 °C
	SAE 3315	.15			1.50	3.50				260 - 370 °C
	SAE 3325	.25			1.50	3.50				480 - 590 °C
	SAE 3435	.35			.75	3.00				480 - 590 °C
	SAE 3450	.50			.75	3.00				480 - 590 °C
ACEROS: NIQUEL - MOLIBDENO, CROMO - MOLIBDENO, NIQUEL - CROMO - MOLIBDENO	SAE 4140	.40			.95		.20			320 - 430 °C
	SAE 4340	.40			.65	1.75	.35			370 - 480 °C
	SAE 4615	.15				1.80	.25			200 - 320 °C
	SAE 4630	.30				1.80	.25			260 - 370 °C
	SAE 4640	.40				1.80	.25			320 - 430 °C
	SAE 4820	.20				3.50	.25			320 - 430 °C
ACEROS BAJO CROMO - MOLIBDENO	2% Cr. - 1/2% Mo.	Hasta .15			2.0		0.5			200 - 320 °C
	2% Cr. - 1/2% Mo.	.15 - .25			2.0		0.5			260 - 430 °C
	2% Cr. - 1% Mo.	Hasta .15			2.0		1.0			500 - 370 °C
	2% Cr. - 1% Mo.	.15 - .25			2.0		1.0			320 - 430 °C
ACEROS MEDIANO CROMO MOLIBDENO	5% Cr. - 1/2% Mo	Hasta .15			5.0		0.5			260 - 430 °C
	5% Cr. - 1/2% Mo.	.15 - .25			5.0		0.5			320 - 480 °C
	8% Cr. - 1% Mo.	.15 Max.			8.0		1.0			320 - 480 °C
ACEROS ALTO CROMO (INOX) FERRITICOS MARTENSITICO	12 - 14% Cr. T P 410	.10			13.0					150 - 260 °C
	16 - 18% Cr. T P 430	.10			17.0					150 - 260 °C
	23 - 30% Cr. T P 446	.10			26.0					150 - 260 °C
ACEROS INOXIDABLES ALTO CROMO Y NIQUEL (AUSTENITICOS)	18% Cr. Ni. TIPO 304	.07			18.0	8.0				USUALMENTE NO REQUIEREN
	25 - 12 TIPO 309	.07			25.0	12.0				
	25 - 20 TIPO 310	.10			25.0	20.0				
	18 - 8 Cb. TIPO 347	.07			18.0	8.0			Cb 10XC	
	18 - 8 Mo. TIPO 316	.07			18.0	8.0	2.5			
	18 - 8 Mo. TIPO 317	.07			18.0	8.0	3.5			
FIERRO FUNDIDO	FIERRO FUNDIDO									370 - 480 °C

APÉNDICE D

ESTIMACIÓN DE MATERIAL

REACONDICIONAMIENTO DE COMPONENTES CILÍNDRICOS

Estimación de Material de Soldadura Depositado por Soldadura Automática

Diametro de la pieza (pulgadas)	ESPESOR DEL DEPOSITO									
	1/8"	1/4"	3/8"	1/2"	5/8"	3/4"	7/8"	1"	1 1/4"	1 1/2"
4	.40	.75	1.20	1.50	1.85	2.20	2.50	2.85	3.30	4.00
5	.50	1.00	1.50	2.00	2.50	2.90	3.40	3.80	4.50	5.40
6	.60	1.25	1.90	2.50	3.10	3.65	4.25	4.80	5.75	6.50
7	.70	1.50	2.25	2.95	3.60	4.30	5.00	5.70	6.70	8.30
8	.80	1.70	2.50	3.40	4.20	5.00	5.80	6.10	8.00	9.20
9	.95	1.90	2.97	3.85	4.80	5.70	6.60	7.50	9.20	10.60
10	1.10	2.15	3.25	4.30	5.40	6.40	7.40	8.40	10.30	12.00
11	1.25	2.45	3.65	4.72	6.00	7.20	8.30	9.40	11.50	13.40
12	1.40	2.75	4.05	5.14	6.65	8.00	9.20	10.40	12.75	14.80
13	1.48	2.93	4.35	5.56	7.17	8.62	9.90	11.30	13.95	16.30
14	1.56	3.11	4.65	5.98	7.70	9.25	10.80	12.20	15.10	17.80
15	1.64	3.29	4.95	6.46	8.22	9.87	11.50	13.10	16.30	19.30
16	1.75	3.50	5.25	7.00	8.80	10.50	12.30	14.00	17.50	20.80
17	1.86	3.72	5.61	7.50	9.40	11.22	13.10	15.00	18.70	22.30
18	1.97	3.94	5.97	8.00	10.00	11.94	14.00	16.00	20.00	23.80
19	2.09	4.16	6.33	8.50	10.60	12.66	14.80	17.00	21.20	25.30
20	2.20	4.40	6.70	9.00	11.20	13.40	15.70	18.00	22.50	26.80
24	2.89	5.75	8.56	11.00	14.23	17.12	19.68	22.25	27.28	31.67
28	3.30	6.59	9.86	12.67	16.32	19.61	22.90	25.86	32.01	37.44

CURSO DE SOLDADURA

Estas cifras se deben utilizar sólo como estimaciones. Observe el diámetro de la pieza cilíndrica a la izquierda y el espesor del depósito en la fila superior. La cifra de la columna adecuada le proporcionará las libras de metal de soldadura por pulgada lineal de trabajo. Multiplique esta cifra por la longitud a recubrir en pulgadas. Este número representa el metal depositado - se debe aplicar factor eficiencia del proceso para estimar la cantidad de soldadura requerida.

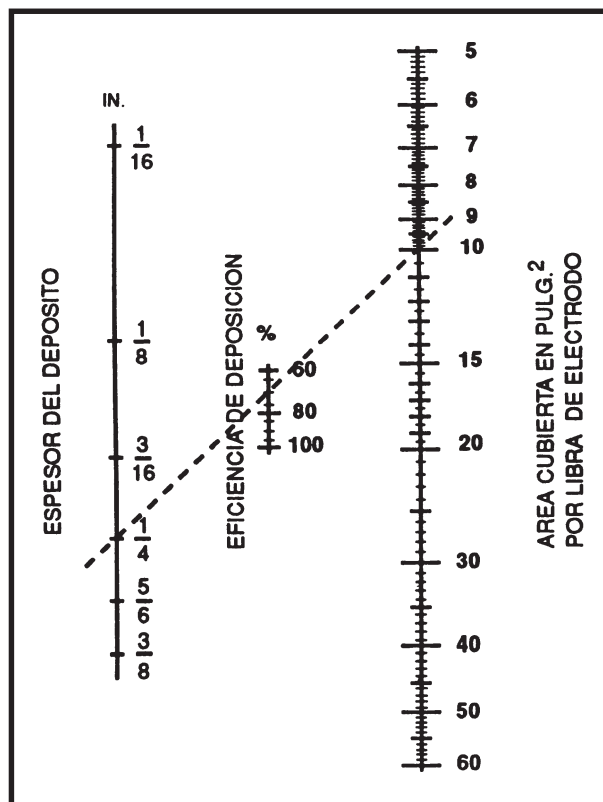
DATOS: 1 Kg _____ 2.205 lb
1 pulg _____ 2.54 cm
1 pulg² _____ 6.45 cm²

EL REACONDICIONAMIENTO DE COMPONENTES PLANOS

Con el presente gráfico se puede determinar el área que es capaz de cubrir una libra de soldadura para un espesor dado.

Trace una línea recta desde la línea correspondiente al espesor requerido de depósito, pasando por la línea correspondiente a la eficiencia del proceso utilizado - luego lea el área en pulgadas cuadradas que es capaz de cubrir una libra del electrodo seleccionado.

Ejemplo: En una pieza de 36" (91,44 cms) por 48" (122 cms) se requiere hacer un depósito de 1/4" (6,4 mm) de espesor, utilizando un electrodo con 70% de eficiencia. Empleando el gráfico usted puede determinar que una libra (0,45 Kg) de este electrodo cubrirá 10 pulg². (64.5 cms²) cono un espesor de 1/4" (6,4 cms). La pieza a ser recubierta tiene 1,728 pulg². (11.148 cms²), de modo que serán requeridas 173 Lbs (78 Kgs aprox.) de este electrodo para efectuar el trabajo.



CALCULO DEL COSTO DE SOLDADURA

Fórmula para el cálculo de costo de soldadura.

Determinación del costo del recubrimiento de una pieza.

A = Precio por Kg de electrodo o alambre

B = Precio por Kg de fundente.

C = Eficiencia de deposición (%)

D = Kilos de fundente utilizado por kilogramo de material depositado.

L = Costo de mano de obra y gastos generales.

R = Kilogramos de material depositado por hora (Kg/Hr).

G = Factor de operación en % (Tiempo de Arco)

$$\frac{A}{C} + \frac{FD}{RG} * \frac{L}{RG} = \text{Costo mano de obra y materiales por Kg de material depositado.}$$

Ejemplos:

1.- Electrodo arco manual - Overlay 60, 1/4", 300 amps.

$$\frac{3.231}{0.65} + \frac{5.000}{2.7 \times 0.35} = \$ 10.262$$

2.-Alambre tubular - OA - 58, 7/67", 380 amps

$$\frac{4.550}{0.90} + \frac{5.000}{6.5 \times 0.6} = \$ 6.338$$

Nota: Ejemplo basado en datos de enero de 1995. Los precios y valores pueden sufrir variaciones con el tiempo.

EFICIENCIA DE DEPOSICIÓN (%):

Arco manual	:	60 - 70 %
Alambre sólido (Mig/Mag)	:	88 - 95 %
Alambre tubular s/protección	:	85 - 92 %
Alambre tubular c/protección	:	86 - 94 %
Arco sumergido	:	97 - 98 %
Tig	:	94 - 96 %
Oxigas	:	92 - 95 %

APENDICE E

Efectos de los elementos de aleación sobre las propiedades de un material.

ELEMENTO	EFFECTO
B - BORO	Dureza
C - CARBONO	Dureza, Resistencia.
Cr - CROMO	Dureza, Resistencia al desgaste, Resistencia a la corrosión
Co - COBALTO	Resistencia a la corrosión, dureza en caliente.
Fe - HIERRO	Elemento Base
Mn - MANGANESO	Tenacidad, Capacidad de endurecimiento por deformación
Mo - MOLIBDENO	Resistencia, Dureza, Resistencia al desgaste.
Ni - NIQUEL	Dureza, Resistencia a la Corrosión.
Si - SILICIO	Fluidez.
Ti - TITANIO	Dureza, Resistencia al desgaste
W - TUNGSTENO	Dureza, Dureza en caliente, Resistencia al desgaste.
V - VANADIO	Tenacidad, Resistencia al desgaste