

Amado Cruz

Fundamentos de la recuperación por soldadura de aperos de labranza

Resumen

Se abordan los aspectos esenciales relacionados al desgaste de implementos de labranza y las formas eficientes de enfrentarlo. Se detalla en el comportamiento al desgaste de aperos de diferentes implementos bajo las condiciones de varios tipos de suelo. Se detalla en las formas más frecuentes de recuperación de órganos de trabajo desgastados, empleando métodos de soldadura por arco. Son descritos los depósitos usados para recargue duro que, según normas, responden al desgaste abrasivo. Se evalúa el efecto de los parámetros de soldadura sobre la calidad de los depósitos de recargue.

Introducción

Con el desarrollo de la agricultura y su masificación, cada día los equipos agrícolas trabajan en condiciones más severas, siendo una exigencia para estos equipos el aumento de la productividad y la disminución de los tiempos perdidos por concepto de mantenimiento y reparaciones.

En países subdesarrollados no siempre se dispone de las piezas de repuesto necesarias para la sustitución de aquellas que por razones de trabajo han arribado al estado límite, por lo que la recuperación de piezas se convierte en una necesidad para responder a las circunstancias particulares de desarrollo.

En este sentido, los órganos de trabajo de las máquinas agrícolas y los implementos de labranza, son elementos que presentan un alto índice de deterioro debido a las condiciones agresivas de trabajo a que están sometidos [8,11]. El contacto directo con la superficie abrasiva de los suelos, en muchos casos arenosos con alto contenido de cuarzo, constituye la causa fundamental del desgaste acelerado que sufren estos medios.

El desgaste genera considerables pérdidas de materiales, recursos y tiempo, con la consiguiente disminución de la producción, conlleva a la pérdida de gran cantidad de medios, así como a la elaboración o adquisición de nuevos elementos lo que encarece considerablemente el proceso, a estos factores se une la necesidad de incrementar las velocidades de trabajo en aras de aumentar la productividad de la maquinaria [8].

El incremento de la vida útil de los órganos de trabajo de las máquinas agrícolas se ha convertido en un problema básico en la práctica de la ingeniería en los últimos años, lo que está relacionado con el estudio de las leyes y mecanismos que rigen el proceso de

desgaste que sufren los implementos durante el período de explotación y el uso de materiales más resistentes [4].

Los métodos de fabricación y reacondicionamiento, de conjunto con el uso de los procesos de recargue, constituyen una vía importante para reducir los daños ocasionados por el desgaste, logrando estructuras metalográficas de alta resistencia en la zona de trabajo del implemento de labranza [7].

En este sentido, la tecnología de soldadura con recargue, permite en la actualidad prolongar la durabilidad de las máquinas por encima de las pronosticadas en el diseño, y mediante éste, las piezas desgastadas pueden restaurarse y ser utilizadas de nuevo.

En este contexto, los revestimientos protectores aplicados a las piezas nuevas, ayudan a mantenerlas en servicio más tiempo y permiten lograr ahorros considerables de materiales, energía y otros, ya que se reducen los inventarios de piezas de repuesto y las piezas restauradas pueden trabajar durante un tiempo mayor.

El método de soldadura es uno de los más empleados con este fin aplicando diferentes procesos, por lo que el desarrollo de las investigaciones relacionadas con la obtención y empleo de nuevos materiales para el recargue superficial como método de recuperación y fabricación de piezas, constituye un tema de actualidad e importancia para el país.

Sin embargo, para cada material y/o electrodo, es necesario realizar determinadas pruebas que forman parte de su evaluación, siendo esta la situación problemática del trabajo.

El desgaste abrasivo en las máquinas agrícolas

El desgaste es un proceso complejo que se produce en las superficies de los cuerpos debido a la fricción con otro cuerpo o medio, trayendo por consecuencia la variación de la micro geometría y macro geometría superficial; la modificación de la estructura y las propiedades físicas y mecánicas del material, con o sin pérdida del mismo. [1,13].

La fricción ha sido objeto de múltiples estudios, donde se ha establecido su independencia de la velocidad de deslizamiento y la dependencia de las características de los materiales de los cuerpos friccionantes [1,15]. La naturaleza de la fricción tiene un carácter dual y se debe a la fuerza de adhesión entre los cuerpos, así como a la fuerza condicionada por la rugosidad superficial de los mismos.

La primera ley que logra expresar matemáticamente este fenómeno se representa en la ecuación 1. [13]:

$$F_f = A_{adh.} + f \cdot F_n \quad (1)$$

Donde:

F_f - Fuerza de fricción.

$A_{adh.}$ - Componente adhesiva de la fuerza de fricción.

F_n - Carga normal a las superficies de rozamiento.

f - Coeficiente de fricción.

La teoría adhesivo - deformacional de la fricción [1,13], considera la fuerza de fricción como el resultado conjunto de la fuerza necesaria para cizallar las soldaduras puntuales formadas debido a la adhesión entre los cuerpos y la fuerza necesaria para producir el flujo plástico de las capas superficiales de los cuerpos comprimidos entre sí, y establecen la siguiente expresión matemática para la fricción seca:

El primer término de la expresión (2), representa la componente adhesiva de la fricción y el segundo término la componente deformacional.

La teoría de acuerdo a la cual la fricción esta condicionada a la adhesión y la rugosidad superficial, se expresa matemáticamente de la siguiente forma [1,13]:

$$f = \frac{\tau_{cort}}{HB} + \text{tg } \Theta \quad (3)$$

Donde:

τ_{cort} - Resistencia media a cortante del área real de contacto.

HB - Dureza del material más blando

Θ - Ángulo medio de las asperezas

La teoría mecánico-molecular de la fricción la considera como el resultado combinado de la adhesión molecular entre las superficies de rozamiento y el engranaje de las asperezas y deformaciones de las capas superficiales de los cuerpos en contacto, estableciendo la siguiente ley deformacional de la fricción [1, 13, 19].

$$f = \frac{\tau_0}{P_r} + \beta + K \sqrt{\frac{h}{R}} \quad (4)$$

donde:

τ_0 - Resistencia a cortante de la unión friccional.

P_r - Presión real del contacto.

R - Radio

La componente molecular está condicionada a la adhesión en los puntos de las superficies en contacto y la mecánica depende de la penetración de las irregularidades de las superficies comprimidas.

El método energético para la determinación de la fricción [12,15] introduce el concepto de "densidad de energía de fricción" y se expresa matemáticamente de la siguiente forma:

$$e_f = \frac{W_f}{V_f} \quad (5)$$

Donde:

e_f - Energía de fricción.

V_f - Volumen del material sometido a la fricción.

W_f - Trabajo de fricción

Conociendo el trabajo de fricción (W_f) se tiene:

$$e_f = \frac{f \cdot F_N \cdot S_f}{V_f} \quad (6)$$

donde:

S_f - Recorrido de fricción

Para el estudio de la fricción vinculado al fenómeno de desgaste y considerando la gran importancia de su análisis y determinación como un elemento indispensable que define la interacción entre dos cuerpos, consideramos la teoría mecánico molecular como la más adecuada para el análisis del desgaste en particular a partir de su relación directa con las presión de contacto y la aplicabilidad de la misma.

En la clasificación más general de los tipos de desgaste superficial en los cuerpos sólidos se establecen cuatro grupos [1,15]:

A.- Desgaste adhesivo: Se le conoce además como desgaste por fricción o deslizante, se produce debido a la adhesión molecular entre los cuerpos en contacto.

B.- Desgaste por fatiga: Es debido a causas mecánicas producto de tensiones variables y repetidas.

C.- Desgaste mecánico-corrosivo: Es el desgaste mecánico acelerado por la acción corrosiva del medio.

D.- Desgaste abrasivo: Es el desgaste mecánico como resultado de la acción de corte o rayado de asperezas de alta dureza o de partículas abrasivas.

También se consideran con frecuencia el desgaste erosivo, resultado de la oxidación dinámica [23].

En la práctica se ponen de manifiesto dos o más tipo de desgaste a la vez, y en determinados momentos uno se puede transformar en otro [13].

En la definición del tipo de desgaste presente en los implementos de labranza y la medida de su magnitud inciden una serie de factores los cuales se pueden dividir de la siguiente forma [4, 9]:

1. Las condiciones de explotación: Se determinan por la carga aplicada, la velocidad, la temperatura del proceso, los tipos de movimiento, el tipo de fricción, el recorrido de fricción y el tiempo de trabajo entre otras.

2. Características de los cuerpos en contacto: Se valora el tipo de material, la composición química, la dureza, las dimensiones y formas, la microgeometría superficial así como la microestructura.

3. Las características del medio: Se refiere a la humedad, la atmósfera corrosiva, la presencia de partículas abrasivas y las propiedades del lubricante si se aplica.

La causa de la sustitución del 85% de los elementos de la maquinaria agrícola es considerada como resultado del desgaste abrasivo, [12,18], como mecanismo principal del desgaste.

La modificación de las capas superficiales de los cuerpos producto de la acción de partículas de alta dureza, al deslizarse sobre la superficie metálica, da lugar a la pérdida volumétrica y con ello, a la disminución de la capacidad de uso del implemento u órgano de trabajo [14].

Considerando un grupo de factores como la forma y dimensiones de las partículas abrasivas, la relación de dureza respecto a la herramienta, la resistencia mecánica y las condiciones del medio y de trabajo, así como la carga aplicada, el desgaste abrasivo se puede manifestar a partir de diferentes mecanismos [1,19]:

A.- Mecanismo de microcorte: Si la penetración de la partícula abrasiva o aspereza sobrepasa determinado valor; si la partícula presenta cantos vivos; si la dureza del abrasivo es superior a la del material y si se sobrepasa el límite de rotura del material se

produce el microcorte de las superficies, generándose partículas de desgaste en forma de limallas o virutas.

B.- Mecanismo de deformación plástica: Si las partículas son pulidas, tensiones por debajo del límite de rotura del material, bajo grados de penetración, se produce la deformación plástica de las capas superficiales, trayendo como consecuencia la ralladura, arrugado de la superficie con poca generación de partículas de desgaste.

En dependencia del grado de libertad del grano abrasivo se distinguen dos tipos fundamentales de desgaste [1,13]:

1. Desgaste contacto-abrasivo: Producido por las asperezas o microirregularidades superficiales al penetrar y deslizarse sobre el otro cuerpo, conocidos también como desgaste por partículas fijas.

Producto de la carga normal y en dependencia de las propiedades mecánicas de los cuerpos sólidos en contacto, se produce la penetración de las asperezas del cuerpo más duro o resistente en las capas superficiales del cuerpo menos duro o resistente.

Al producirse el movimiento relativo, y debido a que las tensiones producto de la carga normal sobrepasan el límite de resistencia del material menos resistente, se produce el microcorte de la superficie.

La magnitud del desgaste contacto-abrasivo depende de la rugosidad superficial del cuerpo duro y de las propiedades mecánicas del cuerpo blando.

2. Desgaste contaminante-abrasivo: Producido por la acción de partículas libres, proveniente de diferentes medios las cuales deforman plásticamente y/o cortan las capas superficiales.

Al desgaste contaminante abrasivo se le denomina simplemente desgaste abrasivo por ser la forma más difundida de designarlo.

La resistencia al desgaste se incrementa con el aumento del contenido de carbono y de la dureza del material [2,13] así como la inclusión de pequeñas cantidades de elementos aleantes (níquel, cromo, silicio, magnesio, etc.). Se establece que el contenido de carbono hasta un valor de 0,8% influye en la resistencia al desgaste; para mayores contenidos ésta comienza a disminuir. Los aceros con una alta cantidad de austenita retenida presentan una considerable resistencia al desgaste en masa abrasiva.

Se establece que para partículas abrasivas con tamaños superiores a 1 mm se produce el desgaste abrasivo [2, 13,15]; lo que significa la existencia de éste en la mayoría de los casos. Otro factor de importancia es la relación dureza de las partículas abrasivas (H_a) y dureza del material (H_m); así cuando $H_m/H_a < 0,5$ se produce el desgaste mecánico por microcorte y cuando $H_m/H_a > 0,7$ se produce deformaciones plásticas y la separación de material ocurre después de un gran número de ciclos de trabajo (fatiga superficial).

Las partículas abrasivas de origen mineral se encuentran en altas cantidades en los suelos [20,21]; así por ejemplo el óxido de sílice (arena de cuarzo) constituye entre el 40 - 60% de los suelos cubanos.

El incremento de la resistencia al desgaste en masa abrasiva si $Hm/Ha < 0,5$ se logra aumentando la dureza del metal (Hm) hasta valores que no afecten el trabajo del elemento de máquina desde el punto de vista de su resistencia a la fragilidad o impacto. No es aconsejable que la relación de dureza sea muy superior a 0,76; ya que no se obtienen resultados satisfactorios.

Dentro de los factores que influyen en el desgaste abrasivo de las máquinas agrícolas en países tropicales, se establecen los siguientes [4, 19, 15]:

1. Contacto con el suelo: El suelo puede concebirse como un sistema de tres fases: fase sólida (materia mineral y orgánica), fase líquida (agua o solución del suelo) y fase gaseosa (aire del suelo). Existen, sin embargo, otros constituyentes presentes en todos los suelos: la materia mineral, 45%; la materia orgánica, 5%; el aire, 25% y el agua, 25%. Por los minerales constituir el 45% de los constituyentes del suelo reviste vital importancia su estudio. Dentro de las propiedades físico-mecánicas de los mismos encontramos la dureza y tenacidad, aspectos estos que influyen considerablemente en la intensidad del desgaste de los elementos de máquinas que están en contacto con ellos.

2. Condiciones climáticas: Las precipitaciones atmosféricas son relativamente abundantes y regulares con promedio anual de 1 360 mm. La Humedad relativa es alta con valor promedio de noviembre - abril del 77% (época seca), mayo - octubre del 81% (época húmeda), para una media anual de 79 %. La temperatura oscila entre 10 o C y 35 o C dando una media anual de 24 o C, en invierno de 21 o C y en verano de 27 o C.

3. Contacto con las plantas y frutos: Diversas son las plantas y los frutos que están en contacto directo con los órganos de trabajo de las máquinas agrícolas, este amplio grupo poseen características físicas y composiciones químicas muy perjudiciales en relación con el deterioro progresivo del material.

En este sentido, los principales elementos de trabajo que en las máquinas agrícolas sufren desgaste abrasivo, producidos por los factores antes mencionados son [8]:

- 1. Arados las vertederas en la cuchilla rotatoria, la anterreja, la costanera, la reja y los discos.
- 2. Los cultivadores en los escardillos, púas y rejas.
- 3. Las surcadoras en el machete.
- 4. Las gradas en las púas y los discos.
- 5. Los escarificadores en las rejas y el cincel.
- 6. Las fresas en las cuchillas, ganchos, rodillos, discos y anillos.
- 7. El multiarado en las rejas y cuchillas.
- 8. Las multilabradoras en las rejas, cuchillas y surcadores.
- 9. Las cosechadoras de cereales en los segmentos de corte, los dedos del molinete, el cóncavo, las cribas de limpieza y el transportador sinfín.
- 10. Las cosechadoras de caña en los segmentos de corte inferior, los transportadores, el aparato trozador y el patín.

La figura 1 muestra algunos ejemplos de órganos de trabajo que han sido objeto del desgaste por abrasión del suelo, y que por determinadas razones aún se mantienen en explotación a pesar de su elevado nivel de deterioro.

Figura 1. Órganos de trabajo de máquinas agrícolas desgastados por abrasión.

Las medidas fundamentales que se toman durante la explotación de las máquinas agrícolas para disminuir la incidencia del desgaste abrasivo son las siguientes [8]:

1. Aumento de la dureza de las capas superficiales de los elementos de máquinas.
2. Incremento del contenido de carbono y de carburos duros hasta un por ciento determinado en dependencia del material.
3. Control de la relación de dureza metal-abrasivo (H_m/H_a).
4. Selección adecuada del ángulo de ataque del implemento en dependencia de los materiales utilizados.
5. Disminución de las cargas y velocidades de trabajo.

Para contrarrestar el efecto del desgaste abrasivo se ha trabajado en dos direcciones principales [22,13]:

A.- Búsqueda y experimentación de nuevos materiales.

B.- La aplicación y desarrollo de nuevas tecnologías.

Dentro de las tecnologías que se han valorado en los últimos años para contrarrestar el desgaste abrasivo en las máquinas agrícolas se destacan: Temple isotérmico, tratamientos termo mecánicos, deposición electrolítica, deposición por fusión de aleaciones duras para formar elementos bimetálicos, tratamientos termoquímicos, temple superficial, tratamiento superficial por luz solar concentrada, entre otros.

Las investigaciones dirigidas a la reducción del daño provocado por el desgaste en los implementos de labranza, han estado divididas en dos direcciones fundamentales. La primera se encamina a la construcción de los implementos de labranza a partir de una selección de aceros y tratamientos térmicos adecuados, la cual sugiere utilizar aceros como el Y8A y el 60C2A o similares para la construcción de discos de gradas, escarificadores y otros elementos [19]. Este trabajo toma como medio para la determinación de la resistencia al desgaste abrasivo el suelo pardo tropical, el cual, a pesar de ser el más representativo, no es el más abrasivo, y propone materiales relativamente caros. La segunda dirección a la cual han estado dirigidos los trabajos investigativos ha sido el relleno con soldadura por arco eléctrico de las partes más sometidas al contacto con el suelo de los implementos.

A escala mundial, se ha estudiado la fabricación de nuevas aleaciones con propiedades antifricción y resistentes al desgaste [23,26] a partir de obtener en la estructura un mayor número de carburos. El ensayo de estas nuevas aleaciones, ha logrado incrementar de manera eficaz la vida útil de los implementos de labranza.

Para el caso específico de un cultivador, se establece como exigencia agrotécnica que la profundidad de trabajo debe ser de 160 ± 30 mm, pudiéndose regular mediante la rueda de apoyo derecha e izquierda ubicadas en el bastidor del implemento y se acoplan preferentemente a tractores de clase 14 KN, (tractores universales), los que deben poseer sistemas de levante oleohidráulico con enganche de tres puntos.

Estudios realizados por otros investigadores sobre el tema [25], indican que en los suelos Ferralíticos cuarcítico amarillo-rojizo lixiviado, sus características físicas muestran, desde el punto de vista granulométrico, una composición del 75 porciento en fracción de arena con un contenido de arcilla muy bajo o prácticamente insignificante, razón por la cual, se clasifican como suelos arenosos donde el desgaste predominante en el implemento es del tipo abrasivo como se muestra en la figura 2.



Figura 2. Desgaste de los órganos de trabajo de los aperos de labranza.

En muchas ocasiones, para resolver los problemas de carencia de este tipo de implemento, se ha recurrido al uso de materiales reciclados para la fabricación local de las rejas, figura 3, sin embargo, este proceso se hace de manera rudimentaria, sin el equipamiento adecuado, incumpliendo las normas o exigencias de acabado superficial y calidad, etc, lo que ha propiciado que no se respete la geometría original de estos, (ángulos de inclinación, dimensiones, radios de curvaturas, etc).



Figura 3. Soluciones constructivas locales.

Todos estos aspectos redundan en el mayor desgaste de los órganos de trabajo, aumento del consumo energético y disminución de la calidad de la labor.

La soldadura de relleno superficial como método de fabricación o restauración de piezas

El recargue es un grupo de técnicas relacionadas con la soldadura, llamadas también revestimientos o recubrimientos superficiales, la cual tiene el propósito de restaurar las dimensiones de las superficies desgastadas de las piezas mediante el aporte de un material nuevo, con vistas a extender su vida útil. Por otra parte esta técnica tiene un amplio uso en la fabricación de piezas nuevas, en aras de proteger un metal de bajas propiedades con una capa de una aleación compleja que le aporta propiedades específicas tales como resistencia al desgaste en cualquiera de sus variantes. Las dos aplicaciones representan ventajas económicas considerables, en el caso de la restauración de piezas la economía viene dada principalmente por la diferencia entre el costo de reparación y el costo de la pieza nueva. En el caso de la fabricación de piezas por recargue, además de que muchas ocasiones constituye una solución tecnológica para determinados elementos de máquina, el ahorro está dado por el uso de materiales de alto costo sólo en las superficies de la pieza que lo exijan según sus requerimientos de trabajo, mientras el resto del volumen se fabrica con materiales de menores costos [17], Esencialmente el proceso de recargue consiste en la deposición de una capa soldada que provee de las propiedades de trabajo requeridas en la superficie ya sea de una pieza nueva o desgastada, de forma que tenga un mejor desenvolvimiento en condiciones de trabajo severas, mejorando su vida útil y disminuyendo sus condiciones de mantenimiento.

Los beneficios del recargue son los siguientes:

- Es un método de fabricación de piezas que aumenta de 3 a 10 veces la vida útil de los elementos de máquina y permite la producción de piezas de forma más económica debido a que la aleación cara sólo se deposita en la zona de la pieza que lo requiere y esta puede ser construida de un material menos caro.
- Posibilita la reconstrucción de las zonas desgastadas a menores costos que el reemplazo por una nueva pieza.
- Disminuye los costos de mantenimiento cuando se reacondiciona la pieza en su lugar de trabajo.

- Reduce los tiempos fuera de producción y por tanto aumenta la eficiencia del trabajo.
- Reducción del stock de piezas de repuesto.

La importancia económica del recargue se deriva de la posibilidad de aplicar selectivamente un material de recargue caro, elegido en dependencia de las propiedades superficiales necesarias, en el lugar específico donde estas son requeridas, sobre un material más barato que constituiría la pieza en su conjunto. Así mismo, la aplicabilidad local del recargue usando un equipamiento portátil significa que puede ser aplicado en el lugar de utilización de la pieza, eliminando de esta forma los costos excesivos de transportación para la reparación de la pieza.

Aspectos a tener en cuenta para establecer un procedimiento de recargue

La selección del procedimiento de recargue depende de varios factores, entre los que se encuentran:

- las condiciones de trabajo a que está sometida la pieza, que generan un determinado tipo de desgaste.
- las características del metal base.
- si se requiere la reconstrucción de la zona a recargar debido al excesivo desgaste, cuando se trata de una reparación.
- si existen requerimientos de acabado superficial del proceso de soldadura que esté disponible.

En ocasiones existirá más de una solución para determinado caso, es entonces cuando se requiere de la experiencia para seleccionar la más económica. Los suministradores pueden estar dispuestos y capacitados para sugerir una solución, pero además es normal esperar alguna inclinación a favor de sus productos, por lo que se debe investigar más de una propuesta.

Debe prestársele la atención adecuada al tipo de metal base, la preparación, el precalentamiento y si es necesario el alivio de tensiones final o si requiere de enfriamiento lento. La dureza luego de la soldadura es un dato útil para conocer y verificar pero este no puede ser el elemento de mayor importancia para elegir la aleación y el proceso a aplicar.

La preparación de la superficie para el recargue consiste en la limpieza del área afectada y usualmente se realizan ranuras o acanalados en la zona de aplicación del recargue. Es necesaria una transición suave y gradual para proteger los bordes debido a que los materiales de recargue tienden a astillarse en condiciones de impacto.

Procesos de soldadura SMAW

La selección del proceso adecuado de soldadura depende de muchos factores y tiene una influencia fundamental en el costo total de operación. La forma, el tamaño y el peso de la pieza es la que establece si esta puede ser movida a otro lugar para su reparación, o si

se requiere que el equipamiento de soldadura se ubique en el lugar de trabajo de la pieza.

En el caso de implementos voluminosos, difíciles de mover, el proceso será preferiblemente manual y ejecutado en el lugar de trabajo por soldadores adiestrados usando un equipo portátil. Cuando se requiere de elevado volumen de soldadura pueden implementarse procesos semiautomáticos o automáticos, debido a su mayor razón de deposición. La dilución es en ocasiones un indicador a tener en cuenta para una decisión al respecto.

El metal base será quien dicte el procedimiento adecuado, lo que incluye el precalentamiento en materiales propensos al agrietamiento. Las capas de recargue tendrán coeficientes de expansión térmica diferentes del metal base y cuando esto se hace extremo se utilizan capas intermedias de empastado con un tercer material con propiedades intermedias.

La dilución en el depósito de recargue se controla mediante el calor aportado el cual debe ser mínimo. Con vistas a disminuir las tensiones residuales se recomienda un enfriamiento lento o en ocasiones el alivio de tensiones.

De todos los procesos del grupo de soldadura por arco, el SMAW es el más común y versátil, a pesar de no proveer la mayor razón de deposición. La dilución dependerá de los materiales y del adiestramiento del soldador.

Materiales de aporte para el recargue superficial

Respecto a los materiales de aporte que se pueden utilizar para el relleno superficial, desafortunadamente no existen métodos estandarizados de clasificación y especificación para los diferentes tipos de electrodos a nivel mundial. Cada fabricante se acomoda a las normas vigentes del país en donde produce dichos materiales así como se acoge a una o varias normas de carácter internacional que le permiten establecer un patrón de comparación [6], La American Welding Society (AWS) tiene publicado dos especificaciones que están bastante difundidas, la A5.13 "Specifications for Surfacing Welds Rods and Electrodes" y la A5.21 "Specifications for Composite Surfacing Weld Rods and Electrodes ". Existen varios casos de materiales de relleno comerciales que no están cubiertos por algunas de estas normas o especificaciones e incluso algunos de ellos no permiten que se les acoja para comparación por alguna de estas normas que tienen una amplia utilización. No obstante, sí es cierto que todo fabricante se preocupa por suministrar una información completa de como utilizar su producto específico para diferentes aplicaciones y diversas industrias, lo que hace que esta información sea en extremo útil y a la vez necesaria de consultar.

Como ya se planteó anteriormente, el recargue superficial duro se utiliza para proveer superficies de trabajo con propiedades superiores a la que presentan diferentes zonas de piezas, implementos o máquinas, haciéndolos adecuados para resistir la acción destructiva de fuerzas actuantes sobre estas, tales como abrasión, cavitación, erosión, corrosión, daño por calor, oxidación, impacto, fricción a elevadas presiones con otros metales y demás[10], En ocasiones ocurre que más de una solución aceptable puede aplicarse para cualquier situación dada y que las condiciones reales de operación son las variables esenciales que gobiernan la selección del consumible y proceso de recargue

más adecuado. Esta se basa generalmente en la disponibilidad, en la dilución que se obtiene (debe ser la mínima posible) y en la razón de deposición. La mayoría de las aleaciones se comercializan bajo nombres comerciales. Es por esto importante investigar los materiales recomendados para una aplicación específica. También pueden utilizarse pruebas comparativas para determinar lo adecuado de la selección realizada. La estructura de los metales depositados consiste usualmente en una matriz suave de base metálica que soporta una fase dura en forma de carburos, boruros o compuestos intermetálicos diseñados para resistir el desgaste abrasivo u otro tipo de daño. Dentro de los materiales matrices se incluyen aceros de baja aleación, aleaciones base hierro de alta aleación, hierros blancos, aleaciones de níquel o cobalto y menos comúnmente aleaciones de cobre.

Una clasificación común, establecida para materiales de recargue es la siguiente:

- Aleación utilizada para la reconstrucción de áreas desgastadas.
- Aleaciones resistentes al desgaste metal-metal.
- Aleaciones resistentes al desgaste metal-tierra.
- Aleaciones que contienen carburo de tungsteno, para requerimientos especiales.
- Aleaciones no ferrosas.

El hierro es el menos caro de los materiales matrices, aplicado en un gran número de aleaciones. Debido a la gran variedad de aleaciones base hierro disponibles para aplicaciones de recargue se ha vuelto costumbre agruparlas más por su comportamiento bajo condiciones de desgaste que por composición química.

Los aceros perlíticos son de baja aleación. Ellos poseen un contenido de carbono bajo (menor de 0,2%) y son usados para capas de reconstrucción. Este grupo de aleación tiene alta resistencia al impacto y baja o media dureza (en el rango de 25 a 37 HRC), así como excelente soldabilidad. Una aleación típica es la E-Fe1, la cual no está diseñada para resistir desgaste pero sirve como soporte para próximas capas de recargue.

Para reconstrucción con acero austenítico al manganeso, el cual es altamente resistente a impacto y se endurece durante su uso, se utilizan dos tipos de materiales de aporte de acero al manganeso, los cuales contienen también níquel y molibdeno: mientras el manganeso es alrededor del 15% para ambos, el cromo puede ser de alrededor de 4% (EFeMn-C) para reconstruir piezas de maquinaria sujetas a impacto o el que tiene alrededor de 15% de Cr (EFeMn-Cr) usado para reconstruir o soldar el mismo u otros metales. En cualquier caso la soldadura se ejecutará con el mínimo calor aportado y el enfriamiento adecuado. Para aplicaciones de desgaste metal-metal se emplean aceros martensíticos, similares a los aceros para herramientas, usando las precauciones debidas durante la soldadura en función de evitar grietas: estos, llamados también aleaciones para recargue de maquinaria, se endurecen durante el enfriamiento desde la temperatura de soldadura y exhiben altas durezas aunque presenten menor resistencia al impacto que los anteriores. Esas capas pueden ser difíciles o imposibles de maquinar. Dentro de las diferentes composiciones ofrecidas en el mercado, EFe2 y EFe3 han sido usadas satisfactoriamente. El AWS ER420 es muy popular, el cual es también medianamente resistente a la corrosión. Hierros fundidos blancos son usados para resistencia a la abrasión metal-tierra. Los principales ingredientes son cromo (entre 6 y 35%) y carbono (entre 2 y 6%). Las aleaciones de bajo carbono son preferidas para abrasión moderada e

impacto. Los hierros blancos de alto carbono se seleccionan donde el impacto no es un problema pero donde la abrasión severa tiene lugar.

Otros elementos adicionales que se encuentran en esta aleación son Si, Mo y Mn. Algunas de esas aleaciones están especificadas como ERFerCr-A3, ERFerCr-A4 (Mod) y ERFerCr-A2. Los carburos de tungsteno (y recientemente también carburos de titanio, vanadio, cromo u otros elementos) son partículas muy duras de un tamaño de malla seleccionado, que son insertadas en la matriz metálica mediante el proceso de soldadura. Para mayor sujeción, el tamaño del carburo debe ser menor que el de la partícula abrasiva. Es importante que estos carburos no se fundan con el fin de que preserven su dureza excepcional.

Por tanto el proceso OAW es el preferido cuando es aplicable, mientras es un proceso, debido a que los carburos no van a pasar por el arco si no directamente al charco de soldadura. Los carburos de tungsteno son importantes para aplicaciones de deslizamiento y movimiento de tierra tales como reja de arado, barrenas trituradoras de roca y en aplicaciones generales que requieran máxima resistencia a la abrasión en condiciones de bajo o moderado impacto. Otros aspectos a tener en cuenta para una aplicación dada, además del tipo de carburo, el tamaño de estos y el proceso de soldadura empleado, es su fracción de volumen en las capas.

De las aleaciones no ferrosas para recargue, las base cobalto son las más versátiles, son resistentes al calor, mantienen su dureza hasta los 850oC y son resistentes a la oxidación hasta 1090oC, choque térmico, abrasión, erosión, rodadura, impacto etc. El contenido de carburos en estas aleaciones depende de la cantidad de carbono presente en la fracción de volumen de carburos de diferentes tipos y composiciones: ellos presentan alta dureza a temperatura ambiente y varios grados de resistencia a la abrasión. Las aleaciones para recargue base níquel contienen hierro, cromo, boro y carbono. Las fases duras presentes son boruros y carburos, que exhiben excelente resistencia a la abrasión de baja presión, generalmente aumentando su fracción de volumen. Su resistencia a la rodadura en el desgaste metal-metal es moderada y su resistencia a la corrosión es menor que la de las aleaciones base cobalto. Las aleaciones de níquel que contienen carburo encuentran aplicación en la industria de energía nuclear, como un sustituto de las aleaciones de cobalto, debido a que estas son propensas a convertirse en radioactivas e interfieren su operación normal.

Con respecto a las aleaciones base cobre, se utilizan dos aleaciones de aluminio como aleaciones de recargue en engranajes, levas y matrices especiales.

Por otra parte, la norma AWS A 5.13 establece 26 tipos de consumibles base hierro para SMAW. De ahí puede demostrarse que los materiales de aporte para recargue, los que mayor número de elementos de aleación requieren son los destinados para contrarrestar el desgaste abrasivo [3].

Parámetros del régimen de soldadura SMAW y su influencia en las propiedades del depósito de recargue

El metal base y las características geométricas de la pieza serán los factores que dictan el procedimiento adecuado, lo que incluye el precalentamiento en materiales propensos al agrietamiento. Las capas de recargue tendrán coeficientes de expansión térmica

diferentes del metal base y cuando esto se hace extremo se utilizan capas intermedias de empastado con un tercer material con propiedades intermedias.

La dilución en el depósito de recargue se controla mediante el calor aportado el cual debe ser mínimo. Con vistas a disminuir las tensiones residuales se recomienda un enfriamiento lento o en ocasiones el alivio de tensiones [16],

El calor aportado (Q_a) es un factor que ejerce un efecto determinante en las propiedades del depósito de recargue, debido a que establece el nivel de dilución que se obtendrá en el mismo. En una aplicación determinada este calor no es necesariamente el mismo que el requerido en la soldadura estructural. En lugar de producir una mezcla de dos metales compatibles, como es el caso de la soldadura estructural, los productos para la soldadura de recargue aportan un cordón o una superficie localizada de metal aleado, con el fin de contrarrestar determinadas condiciones de trabajo que afectan el funcionamiento y la durabilidad de la pieza, por lo que requieren suficiente calor de aplicación para obtener una fusión adecuada con el metal base. La mezcla entre los dos metales debe minimizarse. Si se utiliza mucho calor aportado durante la soldadura de recargue se diluirá la aleación de aporte con el metal base, por lo que se reducirá la efectividad de las propiedades de resistencia al desgaste del material. Por otra parte, el calor excesivo causa la evaporación de elementos aleantes y la oxidación. Depósito con demasiado calor aportado aumentan su fluidez y se vuelven muy finos, por lo que pierden propiedades de resistencia al desgaste.

$$Q_a = \frac{I_s \cdot U_a}{V_s} \cdot \eta \quad (\text{kJ/s}) \dots\dots\dots [1]$$

Donde: Q_a - Calor aportado, I_s - Corriente de soldadura, U_a - voltaje y V_s - velocidad.

De la ecuación 1 se desprende que el calor aportado aumentará con el incremento de la intensidad de corriente y el voltaje de soldadura, siendo esto contrario para un incremento en la velocidad de soldadura. Este último parámetro del régimen en la soldadura manual es realmente difícil de controlar, dependerá fundamentalmente de la habilidad del soldador, así como de la corriente, la polaridad y el tipo de electrodo que se esté utilizando. En el caso del voltaje de soldadura este va a ser fijado según el tipo de fuente y dependerá de la corriente y las características del consumible. La corriente de soldadura será el parámetro más factible a regular en este proceso, con vistas a disminuir la dilución, mediante la utilización de los menores valores de amperaje posible. Esto se logra disminuyendo el diámetro del electrodo, lo cual hace decaer la productividad del proceso. Otra forma de disminuir la dilución es mediante la utilización de electrodos tubulares, los cuales operan con menores intensidades de corriente para diámetros equivalentes en electrodos macizos, por lo cual constituyen una adecuada elección para la soldadura de recargue superficial mediante el proceso SMAW.

Con respecto al número de pasadas, en muchas aplicaciones se utilizan depósitos de simple pasada. Existen casos, sin embargo, como son los martillos de molinos, en los que una pasada doble del mismo material producirá tres veces mayor resistencia que una pasada simple. Pueden utilizarse capas intermedias con composición química semejante a la aleación de recargue, con vistas a que el depósito tenga una transición

lenta en composición química y propiedades, lo cual va a provocar mejor adherencia del depósito de recargue.

Bibliografía

- 1. Álvarez, E., Tribología, Apuntes para un libro de texto, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas. 2000.
- 2. American Metallurgical Consultants. Flux Cored Welding. www.weldingengineer.com/flux.htm. 2002.
- 3. Bhushan, B., Gupta, B.K. Handbook of tribology, McGraw-Hill, New York 1991.
- 4. Boletín de Servicios Agrícolas de la FAO: La Ingeniería Agraria en el desarrollo. Directrices para reconstruir piezas y conjuntos de repuestos.. Roma, 1991.
- 5. Burgos Solas, José L. . . "Teoría de los procesos de soldadura". Material de apoyo al curso de la maestría en Ingeniería Mecánica. UCLV. 2000. Santa Clara. Cuba
- 6. Burgos Solas, José. Relleno superficial por soldadura. Curso recuperación de piezas por soldadura. Universidad Central de Venezuela. 1996
- 7. CIME, Grupo Científico Técnico, Recuperación de piezas por el método de Soldadura, Publicaciones IMAGO, 1996.
- 8. Ermolov, C. , Tipos de deterioros y destrucción de las piezas en la técnica agrícola, Editorial Bishaya Shcola, Moscú URSS, 1983.