

## **Reparación por soldadura de tapas, agrietadas, de hierro fundido**

*Félix Ramos Morales\**, *Juan A. Pozo Morejón\**, *Eduardo M. Díaz Cedré\**, *Enrique Velásquez Pérez\**, *Alexis Maza Sánchez\**, *Ómar García Manresa\**, *Alejandro Duffus Scott\**

(Recibido el 28 de enero de 2005. Aceptado el 26 de junio de 2005)

### **Resumen**

Se presenta la tecnología de reparación por soldadura de una tapa de hierro fundido de un cilindro secador de una planta papelera. Se muestran los resultados de la caracterización del metal base; se discute acerca de la posible causa raíz que provocó la aparición de las grietas en una reparación previa; se fundamentan las decisiones tomadas para encaminar el proceso de reacondicionamiento de la tapa.

----- *Palabras clave:* hierro fundido, tapas, planta papelera, reparación, soldadura.

## **Welding repairing of cracks in cast iron covers**

### **Abstract**

The welding repair technology of a cast iron cover of a drying cylinder from a paper mill is presented. The results of the base metal characterization are shown; possible reasons that originated the appearance of cracks in previous reparation are discussed; the undertaken decisions are explained in order to guide the process of a cover repair.

----- *Key words:* cast iron, cover, paper mill, repairing, welding.

---

\* Centro de Investigaciones de Soldadura (CIS). Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas. Carretera a Camajuani. Km 5 ½. Santa Clara. Villa Clara. Cuba. Teléfono: 53 42 281586. felixrm@fim.uclv.edu.cu.

## Introducción

En abril de 1989, cuatro cilindros secadores de una máquina de papel fabricada alrededor de 1914 por la Corporación Pusey Jones fallaron. La investigación de la falla determinó que la causa raíz fue una grieta de fatiga torsional que se inició en la superficie exterior de uno de los cilindros. El material del cilindro era hierro gris típico excepto por un muy alto contenido de fósforo. Las grietas, se definió tras la investigación, estaban ubicadas fuera de los cabezales que son los que están asociados a las zonas de alta tensión. La falla ocasionó la destrucción de parte del área de secado.

Los cilindros instalados en la planta en la que se realizó el trabajo descrito en este artículo, datan de 1958, fabricados en Alemania.

En estos cilindros se detectó una fuga de vapor en zonas cercanas a la apertura de visita (manhole) por el personal de mantenimiento de la planta. Empleando sus propios medios, trataron de reparar las grietas a través de las cuales fugaba el vapor, pero tras el trabajo comprobaron que la fuga se mantenía.

## Recopilación de información y caracterización del estado de integridad estructural de la tapa

Acorde a lo que establecen las principales metodologías para el estudio de vida restante, análisis de falla y reacondicionamiento de piezas, se realiza el trabajo de caracterización abordándolo por fases, las cuales son explicadas a continuación:

Fase I: determinación de las condiciones de trabajo del cilindro y recopilación de información acerca de su vida de trabajo. Metalografía in situ.

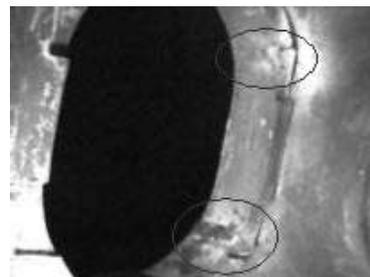
Fruto de la observación directa del elemento objeto de estudio, de la entrevista a personal de la planta, de la revisión de documentos técnicos, se determinó que las tapas del cilindro fueron fabricadas por: GEBR. BELLMER. NIEFERN. El año de fabricación fue 1958 y la probable

puesta en marcha fue en 1963 (más de 41 años de trabajo). El cilindro está diseñado (según la recomendación del fabricante) para soportar 0,245 MPa de presión de vapor.

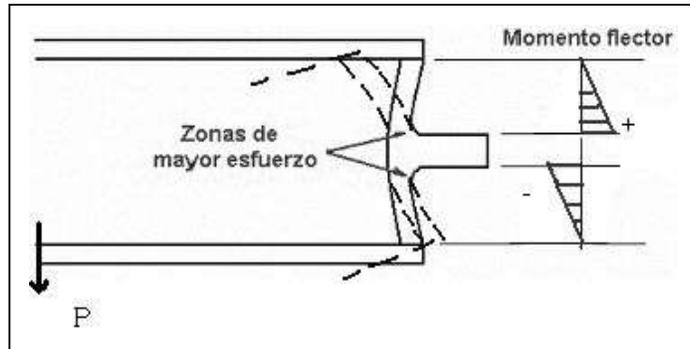
Se pudo conocer que la tapa había sufrido al menos una intervención, pero no había ningún informe o registro de ésta (no se sabía con precisión quién fue el soldador que realizó el trabajo, el régimen que utilizó o el metal que depositó). No se conocía con exactitud quién había dirigido el trabajo de intervención o quienes habían inspeccionado, previo o posterior al trabajo, la integridad de la tapa. Sin embargo no existía duda de la intervención, pues los cordones estaban ahí y se apreciaban con claridad tal y como se presenta en la figura 1.

Empleando técnicas de metalografía in situ se determinó que el material era hierro fundido gris con grafito laminar y matriz perlítica. Es necesario señalar que según la apreciación de los metalógrafos que observaron la estructura, las láminas de grafito eran extremadamente finas y alargadas (semejantes a una grieta).

Al analizar las condiciones de trabajo del cilindro y el sitio donde se realizaron las intervenciones y donde, además, subsistían las grietas, se definió como posible causa raíz de la aparición de estas la fatiga mecánica. En el sitio donde aparecieron las grietas es donde precisamente son mayores las tensiones de tracción (debidas a la presión interior más el efecto de flexión provocado por el peso del cilindro) durante parte de la revolución del cilindro (figura 2).



**Figura 1** Reparaciones previas, realizadas por personal de la planta, en la apertura de visita, de la tapa del cilindro secador



**Figura 2** Esquema de la deformación de la tapa producto de las cargas de trabajo

Fase II: aplicación de métodos de ensayo no destructivo (END) para determinar el estado de integridad estructural de las tapas.

Se realizó la preparación de la superficie empleando cepillos manuales y rotatorios, disco abrasivo y líquido limpiador.

La inspección se realizó por el método visual y aplicando líquidos penetrantes. El resultado de la inspección arrojó la presencia de grietas tanto en la zona afectada térmicamente (ZAT) como en la zona fundida (ZF) de la reparación vieja, se comprobó además la presencia de una grieta que se propagaba hacia la pared de la tapa tal y como se aprecia en la figura 3.

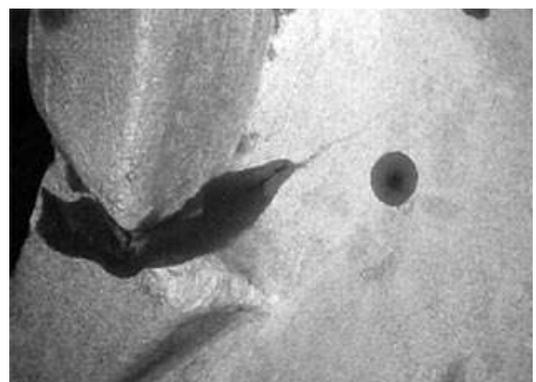
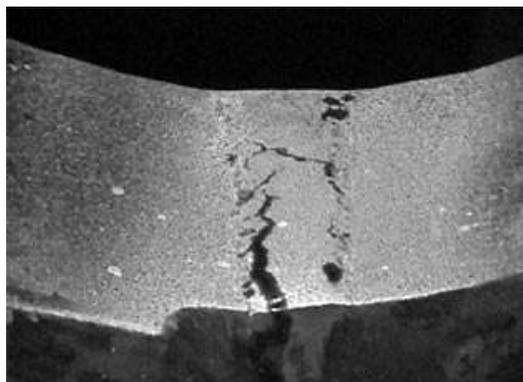
Fase III: toma de muestras para la realización de la caracterización en el laboratorio óptico-metalográfico.

En vista de la presencia de grietas tanto en la ZAT y en la ZF de las reparaciones previas realizadas, se decidió remover el metal agrietado y analizarlo en el laboratorio óptico-metalográfico para una caracterización más profunda.

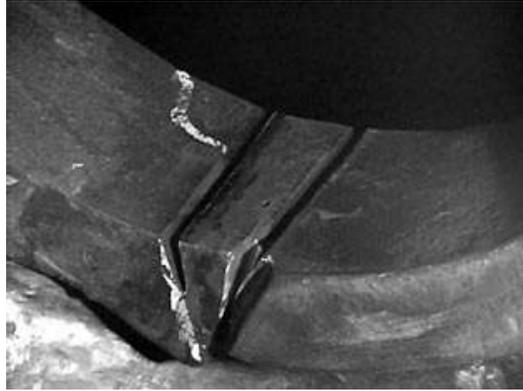
La remoción del metal se realizó en forma de una cuña, abarcando más allá de la ZAT, tal y como se presenta en la figura 4.

La observación se realizó en un microscopio óptico-metalográfico del tipo NEOPHOT 32, se eligió la ZAT por su importancia con vistas a una posible reparación y se pudo observar la existencia de agujas de martensita, tal y como muestra la figura 5.

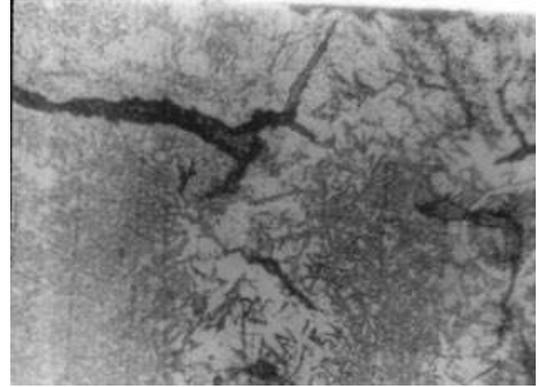
Se realizó un perfil de microdureza cuyo resultado se representa en la figura 6.



**Figura 3** Grietas detectadas durante la inspección de la tapa



**Figura 4** Remoción del metal de la tapa en la reparación previa



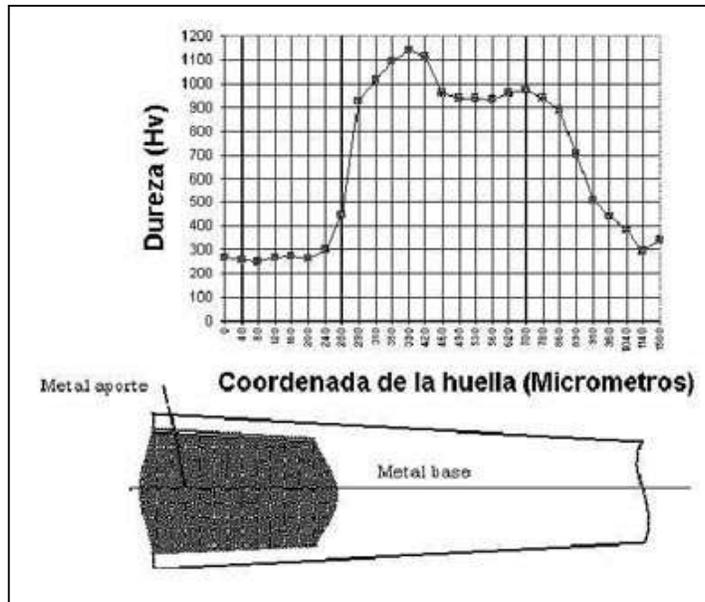
**Figura 5** Estructura de grafito laminar y matriz perlítica donde se aprecia la existencia de agujas de martensita a 450x

### Metodología de reparación de la tapa empleando el proceso de soldadura SMAW

La metodología que se presenta puede ser empleada para la reparación de las grietas en una tapa como la antes analizada e incluso puede adaptarse para otros elementos de hierro fundido con configuración semejante.

### Desmontaje de la tapa

La tapa debe desmontarse del cilindro secador y colocarse sobre el suelo o algún dispositivo construido al efecto. Este es un paso importante cuya ejecución puede encontrar resistencia por parte del personal de la planta, pues implica muchas horas de trabajo. Debe realizarse para evitar que durante las labores de reparación (biselado,



**Figura 6** Perfil de microdureza de la sección de metal removida

soldadura, etc.) la tapa se encuentre tensionada producto del peso del cilindro y estas tensiones se agreguen a las usuales que se van a generar durante la soldadura, lo que puede conducir a agrietamiento de la tapa.

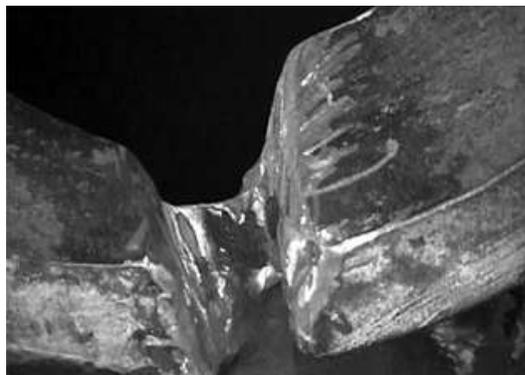
### **Biselado de la grieta**

La grieta se bisela (figura 7) empleando preferiblemente disco abrasivo de corte y desbaste (se evita el empleo de alguno de los métodos que realizan el corte a partir de la acción de una fuente de calor sobre la tapa), de este modo se evita que el calor provoque tensionamiento en la tapa. El bisel no debe tener cantos agudos (todos los cantos deben estar redondeados de modo que no actúen como concentradores de tensiones).

Durante el biselado se debe eliminar todo el metal depositado en la reparación ejecutada anteriormente y también el metal base afectado térmicamente (el perfil de microdureza que se realiza a la reparación previa, si existe, permite determinar las dimensiones de la ZAT y por tanto del metal por remover).

### **Selección del metal de aporte**

Para este tipo de reparaciones se puede seleccionar y utilizar un electrodo de hierro-níquel (E NiFe-CI) UTP 84 FN de diámetro 3,2 mm recomendado según catálogo del fabricante para soldar en frío todos los tipos de hierro fundido.



**Figura 7** Bisel de la tapa en el borde de refuerzo de la abertura de visita

Los electrodos de hierro-níquel son además recomendados por ANSI/AWS D11.2-89 para soldar hierro fundido de gran espesor y alto grado de restricción, lo que concuerda con el caso en cuestión.

### **Determinación de los parámetros del régimen de soldadura**

Se debe soldar con corriente directa, electrodo conectado al borne negativo de la fuente y una  $I_s = 75-80$  A, según recomienda el fabricante del electrodo en su catálogo. Se trabaja con un arco corto. Todo el tiempo se deben ejecutar cordones estrechos de aproximadamente 30 mm de longitud y martillados con herramienta de punta redondeada. La posición de soldadura debe ser plana u horizontal.

La temperatura de metal base se controla con la tradicional “técnica de la palma de la mano” o empleando otro método (ejemplo: lápiz térmico).

### **Secuencia de deposición**

En la secuencia de deposición (figura 8) primeramente se empastan las dos caras del bisel con dos capas; luego se procede a rellenar los biseles de las caras hacia el centro, buscando que los esfuerzos de contracción sobre el metal base sean los mínimos.

### **Inspección durante el proceso de soldadura y posteriormente**

Una vez rellenado el bisel, se debe proceder al esmerilado a ras del metal de soldadura para eliminar el concentrador de tensiones y facilitar el defectado posterior con líquidos penetrantes.

Se realiza el defectado final (debe señalarse que se deben realizar defectados parciales tras la deposición de cada capa) y se comprueba que la última capa está libre de grietas en la ZAT y la ZF.

### **Alternativas a esta metodología**

Existen alternativas dentro de la metodología planteada, que pueden arrojar resultados ade-

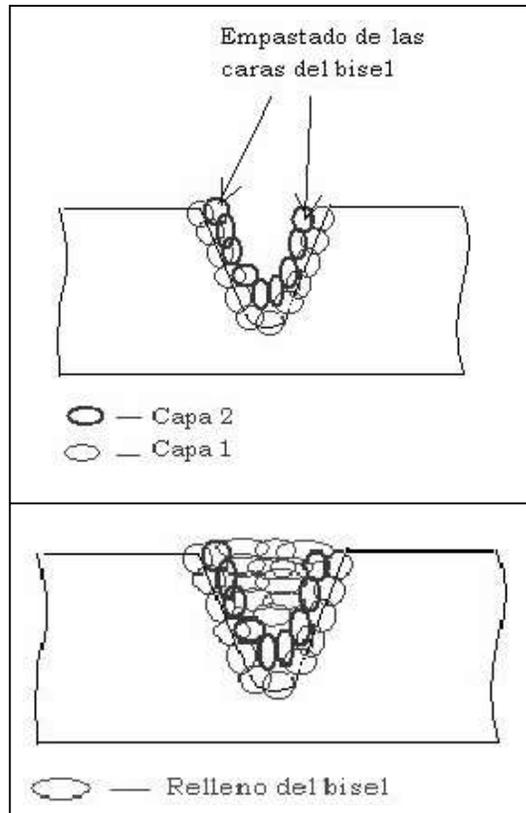


Figura 8 Secuencia de deposición

cuados, pero en las que debe valorarse la disponibilidad de equipamiento y el costo. Entre estas alternativas podemos mencionar:

El empleo, como materiales de aporte, de electrodos de Ni-Fe en combinación con electrodos de Ni puro. El empastado de las caras se puede hacer con los electrodos de Ni puro y después se pueden alternar capas de uno y otro.

El empleo de temperatura de precalentamiento, lo que permite disminuir los gradientes de temperatura y por tanto la posibilidad de agrietamiento.

### **Crítica al trabajo de reparación realizado previamente**

El análisis de las posibles causas del agrietamiento de la primera reparación, realizada por personal de la planta arrojó:

- Malas condiciones para la realización de la reparación, impuestas por el personal de la planta (no se podía desarmar el secador y sacar la tapa) que provocaron que el trabajo sobre la tapa se realizara con esta pretensionada, debido al peso del cilindro (este no se pudo colgar debido a que había que girarlo para acomodar el trabajo a posición plana u horizontal), lo que aumento los esfuerzos durante el proceso de reparación.
- Régimen de soldadura inadecuado, lo que se evidencia por la formación de estructuras muy duras en la ZAT de los cordones depositados durante la reparación, mostrado en el perfil de dureza, donde se aprecia una zona de muy alta dureza (por encima de los 950 Hv) aledaña al cordón de soldadura (ZAT) y de una longitud aproximada de 570  $\mu\text{m}$ .
- El no ponerse en práctica un sistema de inspecciones según condición, provocó que al intentarse la reparación de la grieta el daño acumulado fuera extremadamente grande, lo que hizo más difícil la posible solución.

### **Conclusiones**

Del trabajo realizado se puede llegar a las siguientes conclusiones:

- La metodología presentada reúne, de modo sintetizado, recomendaciones dispersas que se encuentran en la literatura técnica al respecto.
- El intento de reparar elementos que hayan acumulado un gran grado de deterioro (incluido la aparición de transformaciones estructurales) puede ser muy complicado, incluso bajo las mejores condiciones.
- Las plantas deben implementar un sistema de monitoreo de la condición de tapas semejantes con gran período de explotación, de modo que se planifiquen intervenciones antes de que el grado de deterioro acumulado sea demasiado extenso.

### Recomendaciones

Para encarar una reparación en cualquier tapa agrietada, de cilindro secador, o elemento de material y geometría semejante, se recomienda:

- No reparar tapas que hayan sido sometidas a un trabajo previo de reparación, excepto que un estudio metalográfico previo muestre que la reparación anteriormente ejecutada no ha provocado cambios severos en la estructura metalográfica, ni ha propiciado la formación o propagación intensa de grietas; o que sea posible la remoción total del material dañado por la reparación previa o por la degradación debido a las condiciones de funcionamiento.
- Reparar las tapas solo si pueden ser desmontadas del cilindro de modo que la reparación pueda ejecutarse en posición plana, la tapa no esté pretensionada y pueda ser localmente precalentada.
- Precalentar las tapas que se van a reparar, siempre que sea posible, a una temperatura cercana a los 250 °C y mantener durante todo el trabajo de reparación.
- Combinar electrodos de Ni puro con electrodos de Ni Fe para realizar el trabajo de reparación (el empastado de las caras debe hacerse con Ni puro), siempre que sea posible (el material que se va a reparar no esté impregnado de aceites, etc.).
- Emplear la técnica de depositar cordones cortos y martillados.

### Bibliografía

- ANSI/AWS D11.2-89. *Guide for Welding Iron Casting*. Global Engineering Documents. 1989.
- American Welding Society. *Welding Hand Book*. 8.<sup>a</sup> ed. Miami, Florida. 1991. pp. 227-234, 263-280.
- American Welding Society. *Certification Manual for Welding Inspectors*. 3.<sup>a</sup> ed. Miami, Florida. 1993. pp. 132-140.
- H. B. Cary. *Modern welding technology*. 3.<sup>a</sup> ed. Regents / Prentice Hall. New Jersey. 1994. pp. 90-93, 182-191.
- O. Ortiz et al. *Reacondicionamiento de piezas por métodos de soldadura*. CIME. La Habana. 1996. pp. 221-243.
- The Lincon Electric Company. *The procedure handbook of arc welding*. 13.<sup>a</sup> ed. Cleveland, Ohio. 1994. pp. 281-312.