RECUPERACION DE UN MOLINO VERTICAL ATOX 32.5 PARA MOLIENDA DE CALIZA POR MEDIO DE SOLDADURA

(Recovery of vertical mill ATOX 32.5 for limestone milling by weld)

ALBERTO ZAPATA MENESES
Ingeniero Mecánico.
Candidato a *M. Sc*. En sistemas automáticos de producción
Profesor Asistente
Universidad Tecnológica de Pereira
azapata@utp.edu.co

JOSE LUDDEY MARULANDA
Ingeniero Metalúrgico, *M. Sc*. En Ingeniería Metalúrgica
Profesor Auxiliar
Universidad Tecnológica de Pereira
jlmarulanda@utp.edu.co

JOSE VIDAL MOLINA ZAPATA
Ingeniero Mecánico
Asesor técnico
ASTECO LTDA
jmolina@asteco.com

RESUMEN

El desgaste es un fenómeno de degradación de los diferentes materiales por efectos de abrasión, impacto, fatiga, erosión y corrosión entre otros. Este fenómeno acarrea grandes perdidas económicas por deterioro de elementos de máquinas y equipo industrial, asimismo una altísima cuota en impacto ambiental. Para contrarrestar los efectos nocivos generados por desgaste, surge la reconstrucción y mantenimiento de materiales por soldadura. Se tiene un molino vertical **ATOX 32.5** para molienda de caliza con un juego de 6 placas borde de mesa, se hicieron aplicaciones de placas con revestimientos de soldadura con carburos de cromo y carburos complejos en las zonas más críticas.

PALABRAS CLAVES:
Abrasión, Carburos, Desgaste, Fricción, Revestimientos, Soldadura, Tribología.

ABSTRACT

The wearing is a phenomenon of degradation of different materials by abrasion effects, impact, fatigue, erosion and corrosion among others. This phenomenon carries great lost economic by deterioration of machines elements and industrial equipment, also a highest quota in environmental impact. In order to resist the injurious effects generated by wearing, it arises the reconstruction and maintenance from materials by weld. A vertical mill ATOX 32,5 for limestone milling is had with a wild game of 6 plates of table, applications were made more of plates with coatings of weld with complex chromium carbides and carbides in the zones critics.

KEYWORDS:

Abrasion, Carbides, Wear, Friction, Coatings, Weld, Tribology.

1. INTRODUCCIÓN

La interrelación entre el desgaste, la fricción, la erosión y la falta de lubricación conlleva al deterioro de partes y piezas de equipos industriales, lo que implica soluciones efectivas para prevenir y controlar estos fenómenos. Son muchos los factores que pueden afectar una pieza o estructura metálica, causando daños o deformaciones en estas, las cuales van en detrimento de las propiedades del material. El desgaste es uno de los principales responsables por la mayor parte de deterioro y salida de servicio de piezas mecánicas, mientras la corrosión es la responsable por el deterioro de estructuras metálicas. Por otro lado, la fatiga sólo causa daño cuando la pieza o elemento mecánico sobrepasa el valor de los esfuerzos cíclicos admisibles. Son varias las formas en que el hombre ha tratado de recuperar piezas deterioradas, y una de ellas es la utilización de recubrimientos duros aplicados por soldadura.

Las grandes pérdidas económicas generadas por deterioro de los materiales y el alto costo para su reposición, demandan de nuestra comunidad científica el desarrollo de tecnologías para la reconstrucción y preservación éstos recursos no renovables. La avanzada tecnología de los recubrimientos, provee a las industrias, uno de los medios más eficaces para combatir el desgaste prematuro, adelantándose a la falla o al momento en que el equipo deja de trabajar en sus condiciones óptimas. De esta forma se optimiza la disponibilidad de la maquinaria, se disminuye costos de mantenimiento y se maximiza la vida útil.

La existencia de diferentes tipos de desgaste en los metales, ha generado varias ideas en cuanto a su clasificación. Varios criterios han sido utilizados para clasificar el desgaste, entre ellos se tiene: el movimiento relativo entre los cuerpos del tribosistema, la interacción entre los cuerpos, su estado físico o con respecto a los mecanismos de remoción de material. El desgaste también puede ser clasificado con base en los parámetros

Fecha de Recepción: Junio 23 del 2007
Fecha de Aceptación: Agosto 23 del 2007

del tribosistema, como las propiedades de los materiales en contacto y las condiciones de operación, entre otros. Conociéndose el mecanismo de formación de residuos de desgaste (debris), se facilita la selección de materiales resistentes al desgaste, así como las técnicas para su control. Pero se tiene como desventaja que en muchas situaciones, el mecanismo de desgaste es desconocido o varios mecanismos operan simultáneamente. Según la norma **[DIN 50320, 1979]** hay cuatro mecanismos esenciales: adhesión, abrasión, fatiga superficial y reacción triboquímica. [9]

Surgen en la actualidad ciencias encargadas de ofrecer alternativas de solución a éstas demandas, la tribología y la Terología, cuya sinergia ha de converger en la optimización y alto desempeño de los materiales. Hoy en día se cuenta con diversos tipos de revestimientos que pueden ser usados para combatir efectivamente todos los tipos de desgaste, incluyendo situaciones donde el desgaste es combinado. El análisis para la elección del revestimiento ideal y del proceso de aplicación debe tener en cuenta factores de costo y eficiencia a mediano y largo plazo, teniendo en cuenta las limitaciones y especificaciones de cada proceso.

Analizaremos un caso específico de terología aplicado al molino ATOX 32.5 para molienda de caliza, de la empresa cementos ARGOS y su planta de Rio claro en Antioquia, con el respectivo procedimiento de recuperación.

2. TRIBOLOGIA

El desgaste, al igual que la corrosión y la fatiga, han sido por siempre las formas más importantes de degradación de elementos mecánicos y equipos industriales. Fue el entendimiento de las grandes pérdidas económicas generadas por los altos consumos energéticos y la gran reposición de piezas dañadas por el desgaste, lo que llevó a países industrializados a enfrentar el problema y motivar el estudio de la tribología. Desde la revolución industrial se ha estudiado la degradación de maquinaria y herramientas con el fin de desarrollar materiales resistentes al desgasta. En la actualidad se tiene mucha información obtenida de la experiencia y la investigación científica, que se utiliza en el diseño y mantenimiento de maquinaria, haciendo que los procesos sean más confiables y económicos. [9]

Cuando dos superficies de ingeniería están en movimiento relativo, es importante conocer, de modo general, el valor del coeficiente de fricción entre ellas y cual es el desgaste sufrido. Esos dos fenómenos dependen fuertemente de las cargas aplicadas, de la geometría de las partes en contacto, de la naturaleza del par de cuerpos, del ambiente de trabajo, de la existencia o no de un tercer cuerpo entre ellos y de muchas otras variables. Todos esos elementos componen lo que convencionalmente se denomina “sistema tribológico”. Siempre que dos superficies se muevan una con respecto a la otra, ocurrirá pérdida progresiva de material y con ello el daño de una o ambas superficies. La pérdida de material ocasionada por el desgaste, así sea en muy pequeñas proporciones, puede generar la falla total de grandes y complejas máquinas

El desgaste en la mayoría de los casos genera debris (partículas de desgaste), los cuales se presentan en una gran variedad de tamaños y formas. Dentro de los residuos observados se encuentran partículas de metal que son brillantes con tamaños del orden de los milímetros, o hasta mayores en el caso de la grava sobre las trituradoras de rocas. Sin embargo, al examinar estas partículas en un microscopio electrónico se encontrarán esferas perfectas de metal del tamaño de micras que pudieron originarse cuando determinados puntos de las mandíbulas se fundieron debido a los altos esfuerzos.

El ángulo, la dureza, y la profundidad de penetración de partículas que provocan abrasión en una superficie, determinan cuando ocurre desgaste por corte y esto tiene que ver con el ángulo de ataque de la partícula, (Ver figura 1). Este hecho fue mostrado por Mulhearn y Samuels **[en MULHEARN Y SAMUELS, 1962],** donde se tiene una distribución de frecuencias de ángulos de ataque, al usar por ejemplo partículas abrasivas de SiC sobre diferentes materiales, como los mostrados en la tabla 1, donde se presenta un buen número de metales junto con sus ángulos críticos de ataque o ángulos arriba del cuales ocurre corte. [5]

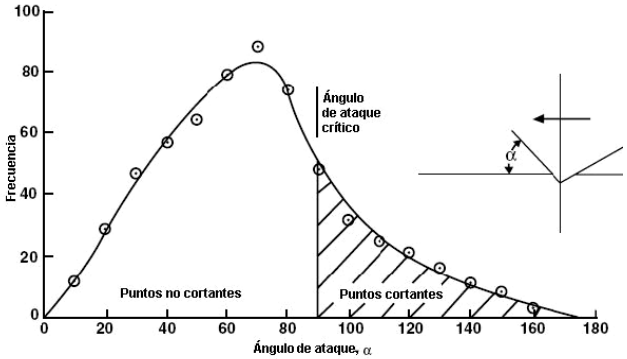

Figura 1. Diagrama mostrando el efecto del ángulo de corte en partículas duras que provocan desgaste por corte. [5]

Al observar la figura 1, se aprecia que cuanto más bajo es el ángulo crítico, mayor es el porcentaje de partículas que cortan. Obsérvese también de la tabla 1, que el acero endurecido es absolutamente susceptible a la abrasión por corte y en general, cuanto más alta es la dureza del metal, este será más susceptible al desgaste por corte (esto se evidencia en los bajos ángulos críticos de las partículas que pueden cortar el metal). Se tiene también que para que la abrasión por corte ocurra, la dureza media del

abrasivo debe estar arriba de 1.2 veces la dureza del material a desgastar.

Material	Dureza HV, Kgf/mm^2	Ángulo de ataque crítico
Plomo	5	50° a 60°
Latón alfa	180	50° a 60
Aluminio	35	80° a 90
Aleación de aluminio	145	~35°
Cobre	120	40° a 50
Níquel	350	60° a 70
Acero AISI 1040, Recocido	180-260	40° a 90
Acero AISI 1082, Bonificado	860	~30°
Acero para herramientas, Bonificado	760	~30°

Tabla 1. Valores de dureza de materiales abrasivos duros y su intervalos de ángulos de ataque crítico. [5]

Medir y entender el desgaste de un material es una tarea compleja y difícil. Se sabe que el desgaste de un material depende de la carga, la velocidad, la temperatura, el tiempo, la geometría del contacto, la rugosidad superficial, la presencia de oxígeno, la utilización de un lubricante, y la composición superficial del material, entre otros parámetros. La dependencia del desgaste con esa cantidad de variables ha sido una barrera al querer hacer una representación comprensiva del desgaste. Por lo tanto, hay una necesidad fuerte de definir una metodología para medir el desgaste de un material en términos definitivos. Por ejemplo, el mecanismo dominante de desgaste bajo ciertas condiciones de funcionamiento puede no ser el mecanismo dominante en otra. Mientras que esta dificultad es reconocida por muchos investigadores, las soluciones propuestas también son pocas. [5]

3. RECUBRIMIENTOS PROTECTORES

El desgaste es la pérdida progresiva de material en la superficie de trabajo de una pieza o cuerpo. Ahora, para hacer una buena selección del tipo de revestimiento protector y la aplicación que se necesita, para recuperar la superficie desgastada, hay que conocer los tipos de desgaste a los que puede estar sometido la pieza que se quiere proteger, ya que un recubrimiento puede tener una alta resistencia a un determinado tipo de desgaste bajo ciertas condiciones, pero al cambiar la forma del desgaste debido al cambio de las condiciones originales, el recubrimiento puede no responder de buena forma y no funciona. La aplicación de recubrimientos duros en superficies deterioradas consiste en depositar alguna clase de aleación especial sobre una parte metálica, por alguno de los diversos métodos, para formar una superficie que resista los fenómenos de desgaste anteriores o alguna combinación de ellos. Para una buena aplicación del revestimiento protector, hay que tener en cuenta la preparación superficial y para esto hay que limpiar la zona de soldadura de suciedad, grasas, aceites, óxidos y contaminantes, remover el material corroído, deformado o fatigado, se deben reparar la grietas con aleaciones compatibles con el metal base y en lo posible tratar de soldar en posición plana. [7, 10]

La selección de una aleación para recubrimiento duro en una superficie metálica, se basa en los ahorros y ventajas que se obtienen por la aplicación de la aleación. Tales ahorros y ventajas provienen del aumento de la producción, el uso de un menor inventario de piezas de repuesto y la reducción de tiempos muertos. Prácticamente, en todas las aplicaciones de recubrimientos duros en superficies, los materiales de recubrimiento representan el elemento menos importante en el costo total, ya que los salarios, la producción perdida durante los tiempos muertos y las tasas de sobre costo administrativo son mucho más importantes. [6,8,3]

La selección del proceso de soldadura más adecuado puede ser tan importante como la selección de la aleación de recubrimiento duro. Al escoger dicho proceso, junto a los requerimientos de servicio, deben considerarse las características físicas de la pieza de trabajo, las propiedades metalúrgicas del metal base, la forma y la composición de la aleación para el recubrimiento, los requisitos, en cuanto a las propiedades y calidad del depósito de soldadura, la habilidad del soldador y el costo de la operación. Se deben coordinar por lo menos tres de los siguientes factores en la aplicación de un recubrimiento; el metal base, la composición y la forma de la pieza, la aleación del recubrimiento y el proceso de soldadura. [8]

En ocasiones el precalentamiento es necesario para disminuir la distorsión, evitar el choque térmico y prevenir la formación de grietas, el precalentamiento se debe realizar a la temperatura recomendada para el espesor, la forma y el metal base de la pieza que se va a soldar. Hay que tener cuidado con los aceros Hadfiel o aceros al manganeso, ya que estos aceros no se deben calentar por encima de 300˚C por periodos prolongados.

En el proceso por arco eléctrico se recomienda realizar dos pases de revestimiento protector de alta dureza (mas de 55 HRC), para obtener la mejor condición de servicio, debido a que en el primer pase se produce cierta dilución o mezcla con el metal base y no se puede garantizar las propiedades del revestimiento, ya en el segundo pase se obtienen todas las propiedades de resistencia al desgaste del revestimiento, por otro lado, un tercer pase podría arrancar los pases de revestimiento o fisurarlo, por tal motivo no se recomienda un tercer pase con revestimiento protector de alta dureza. En la maquinaria

de movimiento de tierra, la selección de la forma del cordón de soldadura está relacionada a las condiciones de servicio, ya que la forma del cordón de soldadura puede influir en el tiempo de servicio del recubrimiento y en el gasto de energía para realizar el mismo trabajo, ya que algunas formas del cordón permiten una mejor adherencia del material a mover que otras. Las formas de los cordones de soldadura más conocidos son el paso corto, cordón largo, puntos, diamante o rombo y espina de pescado. [2, 4,8]

4. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

CEMENTOS ARGOS tiene en su planta de Rio claro, un molino vertical **ATOX 32.5** para molienda de caliza, con un juego de 6 placas borde de mesa, en forma perimetral a la mesa, en la parte baja de la puerta de entrada, se encuentran las placas numeradas en sentido horario, además se observan los rodillos que se utilizan para la molienda, los cuales se habían reconstruido con carburos de cromo. En la figura 2. Se observa el molino vertical.

Figura 2. Fotografía del molino vertical ATOX 32.5 para molienda de caliza.

Se ha intentado aplicaciones con recubrimiento epóxico (compuestos metálico - orgánicos), pero duró menos de 6 días, por tal motivo se descarta su aplicación, ya que las paradas del horno para mantenimiento son cada 5 o 6 meses, según la vida útil de los rodillos y la mesa. Las primeras aplicaciones de soldadura, se hicieron con carburos de cromo, sin recubrir zona de tornillos, solo se recubrieron las placas 1, 3 y 5 que son las más críticas.
Debido al desgaste progresivo y severo, el cual se concentra principalmente en las partes intermedias, se protegió la placa de borde por medio de soldadura con uno de los recubrimientos duros que contienen carburos complejos y placas con revestimiento de soldadura. En la figura 3. Se observa una placa de borde protegida con un recubrimiento duro.

Figura 3. Placa de borde protegida con recubrimiento duro.

Con la aplicación del recubrimiento duro por soldadura se paso de dos meses de trabajo a cinco meses, por tal motivo se decide aplicar en los sitios donde ocurrieron las perforaciones causadas por el desgaste, carburos especiales, los cuales tienen una mayor dureza, debido a que no se descomponen tan fácil durante el proceso de soldadura. En la Figura 4. Se observa el desgaste de las placas de mesa.

Figura 4. Desgaste ocasionado en la placa de mesa por la abrasión de la molienda de caliza.

En la siguiente parada, se observo que el recubrimiento por soldadura con carburos especiales quedo intacto y el desgaste se acentuó en otro lado, esto mismo paso con las otras placas donde se había aplicado el revestimiento. En

la figura 5. Se observa como fue el deterioro de la placa de mesa cuando se utilizo carburos complejos especiales.

Figura 5. Desgaste en la placa de mesa cuando se utilizó carburos especiales en lagunas zonas.

Según los resultados anteriores, se procedió a realizar un ensayo piloto, en la placa de mesa numero 3, ya que es una parte muy critica, debido al gran desgaste abrasivo, para tal fin se selecciono recubrimientos duros con carburos complejos y laminas antidesgaste, las cuales están formadas por laminas A36 recubiertas por soldaduras automatizadas con recubrimientos duros que contienen carburos complejos especiales, las cuales están listas para ser montadas. En la figura 6, se observa la placa de mesa número 3 con los diferentes tipos de protección.

Figura 6. Placa de mesa numero 3 con los diferentes tipos de protección.

La placa de mesa numero 3, después de haber molido 55.000 toneladas, durante un periodo de trabajo de seis meses, no muestra un gran desgaste o un desgaste severo en la zona intermedia que es la mas critica, además el desgaste en la parte inferior en la zona de la lamina A36 es pequeña, por tal motivo la placa sale para reparación y vuelve para ser utilizada nuevamente, algo que ocurre por primera vez. En la figura 7, se observa la placa de mesa número 3, con los diferentes tipos de protección después de seis meses de uso.

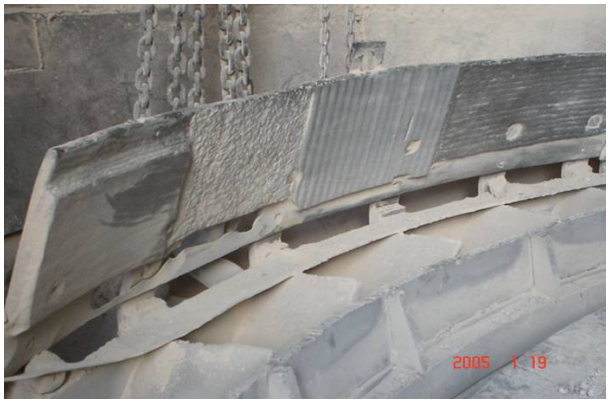

Figura 7, se observa la placa de mesa número 3, con los diferentes tipos de protección después de seis meses de uso.

Después de reparar la placa, esta entra en servicio y se mantiene por un periodo de diez meses, ya que este fue el tiempo que se demoraron en hacer la parada, por tal motivo se hace un nuevo reaprovechamiento de la placa de mesa revestida o protegida y trabaja nuevamente otros seis meses hasta una pequeña parada para realizar cambios de rodillos y mesa.

En la placa de mesa numero 5, también se protegió con combinaciones de soldadura y se utilizo soldaduras especiales la zona inferior de la lamina A36 y se obtuvieron pequeños desgastes. Lo mismo ocurrió en la placa de mesa número 1, donde se utilizaron otra combinación de soldaduras especiales. En la figura 8, se observa la placa de mesa número 1 con diferentes tipos de protección por soldadura.

Figura 8. Placa de mesa numero 1 con diferentes tipos de protección por soldadura.

El desgaste marco la ruta a seguir para poderlo combatir por medio de recubrimientos protectores aplicados por

soldadura, aumentando el tiempo de servicio de las partes protegidas, además se ensayaron diferentes combinaciones de soldadura para tener varias alternativas de protección.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- La aplicación de recubrimientos epóxico (compuestos metálico - orgánicos), no funciono ya que solo duraron 6 días, esto debido a las grandes cargas que debió soportar este revestimiento, por tal razón se descarta su aplicación.

- Los recubrimientos duros por soldadura se comportaron muy bien y aumentaron las horas de servicio de las placas de mesa, convirtiéndose en una excelente alternativa para combatir el desgaste y aumentar la eficiencia del molino.

- Cuando se utilizaron recubrimientos duros con carburos complejos se aumento la vida en servicio de las placas de mesa, esto debido a que se aumento la dureza.

6. BIBLIOGRAFÍA

Referencias de libros:

[1] American Society for Metals. Metals Handbook Volumen 2, Welding process. American Society for Metals. Metals Park, 1978.
[2] P. Houldcroft. Tecnología de los procesos de soldadura. Ediciones CEAC S.A. Barcelona – España. 1990.
[3] O. J. Gómez, Soldadura de Metales. Universidad Industrial de Santander. 1993.
[4] MODENESI, Paulo. Introdução aos processos de soldagem, Belo Horizonte, Noviembre de 2000.
[5] MESA. Dairo H. Principios de tribología con énfasis en desgaste. Universidad Tecnológica de Pereira. En publicación.
[6] H. Horwitz, Soldadura Aplicaciones y práctica. Editorial Alfaomega. Bogota – Colombia. 1997.
[7] J.L. Marulanda, A. Zapata, and D. Meza, Fundamentos de la soldadura de metales. Universidad Tecnológica de Pereira. 2007

Reportes Técnicos:

[8] EUTECTIC – CASTOLIN, Manual de soldadura, Eutectic – Castolin, Bogotá 2002.
[9] MESA D., SINATORA A. El Desgaste de Materiales, Enfrentarlo o Dejarlo de Lado y Asumir los Riesgos, Revista Scientia et Technica, UTP. No 22, pp 87 – 91.

Documentos presentados en conferencias (No publicadas aún):

[10] Notas del Diplomado en soldadura, Universidad Tecnológica de Pereira, Tecnología Mecánica, 2005.