

**Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas
Facultad de Ingeniería Mecánica
Centro de Investigaciones de Soldadura (CIS)**



TRABAJO DE DIPLOMA

**Título: Evaluación de la tecnología de recuperación del eje de
mando de la caja de velocidad del camión ZIL 131**

Autor: Yoan García Castillo

Tutor: Dr. Arnaldo Manuel Herrera Artiles.

**Santa Clara
Curso 2012 - 2 013**

Pensamiento

Ser bueno es el único modo de ser dichoso.

José Martí

Dedicatoria

*Esta tesis de diploma se la dedico especialmente a una mujer que
ha dado todo para formarme como el hombre que soy, gracias a
ella estoy cumpliendo el sueño de mi vida, por ello y mucho más le
dedico con todo mi amor a mi mamá.*

Agradecimientos

Agradezco a todas las personas que de una forma u otra ha contribuido a realizar esta tesis de diploma.

A dos mujeres especiales que con cariño y paciencia han sido un pilar importante en mi vida, Caridad que ha sido madre y padre a la vez y a mi otra mitad Lianet.

A mis compañeros que sin ellos hubiese sido imposible la estancia en la universidad, especialmente a los de mi cuarto tales como Luis E Perdomo (el perdo), Javier Echemendia (javi), Yunisbel García (el chino), Roberto Jacomino (robe), Ignacio Ríos (el trixni).

A mi tutor Arnaldo Herrera Artilles el cual fue el motor impulsor de este trabajo de diploma.

RESUMEN

En el presente trabajo se expone una evaluación de la tecnología de recuperación por soldadura aplicada en la EMI de Sancti Spiritus a las superficies desgastadas del aje de mando de la caja de velocidad del camión ZIL 131. En el trabajo se identifican y precisan las fallas típicas del eje de mando y se presenta, como resultado inicial, una caracterización del mismo en cuanto a la composición química, microestructuras y perfil de durezas del material, no conocidas con certeza y que permiten definir las propiedades necesarias a obtener durante la aplicación de una tecnología de recuperación. Se expone la caracterización de las propiedades del material aportado, esencialmente, en cuanto microestructura y perfil de dureza, a partir de muestras extraídas de una superficie recuperada en la empresa con material y tecnología actual. Los resultados demuestran que el método de recuperación no es adecuado y la tecnología y materiales aportados no garantizan las mínimas propiedades ni pueden garantizar la durabilidad deseada en la pieza. A partir de esos resultados, se recomiendan y fundamentan diferentes métodos o procesos tecnológicos de recuperación que pudieran ser aplicados con mejores resultados tecnológicos que la tecnología actual y que están al alcance de la empresa.

ABSTRACT

Presently work is exposed an evaluation of the recovery technology by welding applied in the EMI of Sancti Spiritus to the worn away surfaces of the one ages of control of the box of speed of the truck ZIL 131. In the work they are identified and they specify the typical flaws of the control axis and it is presented, as a result initial, a characterization of the same one as for the chemical composition, microestructuras and profile of hardness of the material, not well-known with certainty and that they allow to define the necessary properties to obtain during the application of a recovery technology. The characterization of the properties of the contributed material is exposed, essentially, as soon as microestructura and profile of hardness, starting from extracted samples of a surface recovered in the company with material and current technology. The results demonstrate that the recovery method is not adapted and the technology and contributed materials don't guarantee the minimum properties neither they can guarantee the durability wanted in the piece. Starting from those results, they are recommended and they base different methods or technological processes of recovery that could be applied with better technological results that the current technology and that they are within reach of the company.

Índice

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I	4
Fundamentos Teóricos	4
1.1. Características generales de la caja de cambio de velocidades del camión ZIL 131....	4
1.1.1 Introducción.....	4
1.1.2. Cajas de cambio de los camiones ZIL 130 y 131	5
1.2. Eje de mando de la caja de velocidad del camión ZIL 130-131.....	7
1.3. Tipos y mecanismos de desgaste típicos en los elementos de las cajas de velocidad.	7
1.4. Fallas típicas del eje de mando de la caja de velocidad del camión ZIL 131	12
1.5. Tecnología de recuperación de partes desgastadas del eje de mando aplicada en la EMI SS.....	13
1.6. Tratamientos térmicos y termoquímicos típicos aplicados en árboles y ejes.	15
1.6.1. Tratamientos térmicos.	15
1.6.2. Tratamientos termoquímicos	16
CAPÍTULO II	18
Materiales y Métodos	18
2.1.1. Determinación de la composición química del material base	18
2.1.2. Determinación de la estructura metalográfica	18
2.1.3. Determinación de la dureza	20
2.2. Evaluación de la tecnología de recuperación aplicada en la EMI SS.....	22
2.2.1. Obtención de la microestructura metalográfica de los depósitos	22
2.2.2. Determinación de la dureza de los depósitos.....	24
CAPÍTULO III	27
Análisis de Resultados	27
3.1. Análisis de los resultados de la caracterización del eje de mando	27
3.2. Evaluación de la tecnología de recuperación aplicada en la EMI SS.....	27
3.3. Propuestas tecnológicas factibles para la empresa con las que se pudieran alcanzar mejores resultados	30
3.3.1. Recuperación de superficies cilíndricas desgastada mediante piezas suplementarias [Efremov, V. V. (1975), Herrera Artilles, A. (1999)]	30
3.3.2. Recuperación de superficies cilíndricas desgastada mediante proyección térmica (Metalizado) [Colectivo de autores (1993), Baranov I. A. (1999), Manikov, Ju. (1998)]	32
3.3.3. Recuperación de superficies cilíndricas desgastada mediante el cromado.....	33
CONCLUSIONES	38
RECOMENDACIONES	39
BIBLIOGRAFIA	40

INTRODUCCIÓN

La recuperación de piezas es una actividad vital en los procesos de mantenimientos correctivos tanto en la industria de producción como en las empresas o actividades de los servicios. Al aplicarla se logran efectos económicos positivos, así como, determinada independencia económica y de mercado si se utilizan tecnologías adecuadas con recursos existentes o al alcance de las empresas, sobre todo en Cuba, donde las limitaciones económicas muchas veces no permite acceder a proveedores para la compra de piezas y partes averiadas como repuesto.

En la actualidad, la Empresa Militar Industrial (EMI) “Coronel Francisco Aguiar Rodríguez”, de Santi Spíritus desarrolla, entre otras actividades y procesos tecnológicos, la reparación y reconstrucción de la línea de camiones ZIL 131 correspondientes a la técnica militar de las FAR y a empresas de la economía nacional. Mediante ese proceso tecnológico se le restablece al vehículo la capacidad de trabajo para un nuevo ciclo de explotación. Herrera Artiles, A. (1999), Daquinta Gradaile, I. A. (2004)

Entre los componentes, partes o piezas de los camiones ZIL 131, que durante el defectado manifiestan fallas o defectos que llevan, con incidencia importante, a la necesidad de recambio por elementos nuevos, se encuentra el eje de mando de la caja de velocidad.

Las fallas fundamentales que actualmente determinan la necesidad de sustitución del eje de mando están identificadas por: desgaste en las superficies de contacto con los rodamientos (alojamientos) y en la parte dentada interior de acoplamiento con el disco dentado del sincrónico, por el desgaste que sufren los dientes.

El costo de importación de este eje es alto y aunque se han realizado intentos para la fabricación en la planta de Camagüey, no se ha logrado la calidad necesaria para poder establecer su producción como una variante de sustitución de importación debido a que no se cuenta con la máquina herramienta especializada para el tallado del dentado interior, razones por la que es conveniente buscar alternativas y soluciones totales o parciales que permitan alargar la vida útil total de estas piezas aprovechando la vida remanente de las mismas.

Es interés de la Empresa Militar Industrial (EMI) “Coronel Francisco Aguiar Rodríguez”, de Santi Spíritus, tener una valoración técnicamente fundamentada de la calidad de la tecnología

de recuperación aplicada actualmente a las superficies desgastadas del eje de mando y los malos resultados que ya se debelan, así como, recomendaciones y propuestas tecnológicas de diferentes métodos y/o procesos de recuperación que les permita elaborar y aplicar tecnologías de recuperación que restablezcan las dimensiones nominales y capacidades de trabajo de la pieza con mejores resultados tecnológicos y de durabilidad que la tecnología actual y que estén al alcance de la empresa.

Problema científico:

Determinar las características y propiedades del material en las superficies que se desgastan en el eje de mando y del material base y el aportado en la recuperación.

Hipótesis:

Conociendo las características y propiedades del material en las superficies que se desgastan en el eje de mando y del material base y aportado en la recuperación, es posible evaluar la calidad de dicha recuperación, así como, elaborar las recomendaciones y propuestas tecnológicas de métodos y/o procesos de recuperación para elaborar tecnologías de recuperación con mejores resultados tecnológicos y de durabilidad.

Objetivos Generales:

1. Evaluar la calidad de la tecnología de recuperación de las superficies desgastadas del eje de mando de la caja de velocidad del camión ZIL 131 aplicada en la Empresa Militar Industrial de Sancti Spiritus.

Objetivos Específicos:

1. Precisar los defectos y/o desgastes y otras fallas típicas en el eje mando de la caja de velocidad del camión ZIL 131, así como, las condiciones de trabajo y los mecanismos de desgaste presentes en las superficies desgastadas.
2. Realizar la caracterización de las propiedades del eje de mando en cuanto a composición química del material de la pieza, así como, microestructuras, perfil de dureza y presencia de tratamientos térmicos o termoquímicos en las superficies desgastadas.
3. Realizar la caracterización de las propiedades de depósitos en superficies recuperadas mediante el relleno superficial con electrodos revestidos E6013 y E7018, según tecnología

aplicada por la Empresa Industrial de Sancti Spiritus, en cuanto a microestructuras, perfiles de dureza, etc.

4. Analizar y precisar, a partir de las caracterizaciones realizadas, si los depósitos obtenidos con la tecnología y los materiales utilizados garantizan la calidad y propiedades para las solicitudes de la pieza en las condiciones de trabajo y mecanismos de desgaste presentes en explotación.
5. Recomendar y fundamentar propuestas tecnológicas de métodos y/o procesos de recuperación al alcance de la empresa que les permita el análisis y decisiones para elaborar tecnologías y seleccionar materiales que garanticen mayor calidad y durabilidad de las superficies recuperadas en el eje de mando y otras piezas con fallas similares.

Tareas:

1. Revisión bibliográfica sobre el tema y recopilación de información sobre la caja de cambios de velocidad del camión ZIL 131y en particular sobre el eje de mando de la caja de velocidad y las condiciones de trabajo y mecanismos de desgaste presentes en las superficies desgastadas.
2. Extracción de muestras de las zonas de las superficies desgastadas del eje de mando para la determinación de la composición química y los análisis metalográficos y mediciones de dureza.
3. Relleno de superficies desgastadas en el eje de mando en la Empresa Militar Industrial de Sancti Spiritus con la tecnología y electrodos E 56013 y E 7018 aplicado en dicha empresa.
4. Extracción de muestras de los depósitos con los electrodos E 6013 y E 7018 para la caracterización de las microestructuras, durezas, etc.
5. Preparación de las muestras y obtención de la composición química, microestructuras y perfiles de dureza.
6. Elaboración de nuevas propuestas tecnológicas de métodos o procesos o de mejora de la calidad de la recuperación en caso necesario.

CAPÍTULO I

Fundamentos Teóricos

1.1. Características generales de la caja de cambio de velocidades del camión ZIL 131

1.1.1 Introducción

El ZIL-131 unificado con la serie "131" es un camión de fabricación rusa, diseñado y desarrollado por la empresa ZIL (Zavod Imeni Likhacheva) en Rusia [Nápoles Torres, A (2009), AUTOEXPORT (1973)], que lo ha producido desde 1967, pertenece a la categoría de los automóviles de dos cadenas. Gracias a los cambios en el motor y la parte de marcha en 1987 el automóvil adquirió el código ZIL-131, (figura 1.1). El cual es utilizado en la actualidad debido a su estructura, capacidad de paso, maniobrabilidad, confort, etc., en las FAR para la transportación de disímiles suministros, transporte y remolques de equipos pesados, transporte de tropas, etc. También estos camiones se utilizan en diversas tareas en caso de desastres naturales, así como, en distintas ramas o sectores civiles de la economía nacional cubana.



Figura 1.1. Camión ZIL 131.

Las cajas de cambio de velocidades son sistemas de transmisión de engranes cerrados en una carcasa y lubricados convenientemente. El uso de ruedas dentadas para transmisión de movimiento data de más de 400 años cuando los egipcios crearon un mecanismo que tenía un par de engranes para la conversión del movimiento traccionado por camellos para el bombeo de agua de los pozos en el desierto [MackAldener, M. (2001)]. Hoy es prácticamente

indispensable su presencia en la inmensa mayoría de las instalaciones industriales, máquinas y equipos de la producción y los servicios y en particular en las máquinas automotrices en sus cajas de cambios de velocidad y otras partes de la transmisión. La variedad constructiva de las transmisiones y en particular las cajas de cambios de velocidad depende de las características de los equipos y funciones.

Los engranajes se encuentran montados sobre los ejes o árboles y estos a su vez giran sobre rodamientos. La falla de estos rodamientos o el desgaste de las superficies de alojamiento de los mismos, provoca la desalineación de los árboles y ejes y la pérdida de la distancia entre centros de los engranajes, aparición de vibraciones anormales, golpeteos, mal trabajo del acoplamiento sincrónico y desacoplamiento de la transmisión. [Herrera Artiles, A. (2004)]

1.1.2. Cajas de cambio de los camiones ZIL 130 y 131

En la figura 1.3 se muestra en sección la caja de cambio de los camiones ZIL 130 y 131 y en la figura 1.4, los componentes de la misma en forma de explosión [AUTOEXPORT (1973)]. Estas cajas poseen en lo fundamental un diseño original que data de varias décadas por lo que es posible que no se corresponda con las nuevas tecnologías de optimización en el diseño, pues a pesar de que estas cajas de cambios de velocidad han sufrido varias modificaciones constructivas a lo largo de los años, aún conservan un diseño y construcción robusto y relativamente simple, lo que se ha traducido en la explotación en alta durabilidad (largo ciclo de vida) y altos índices de fiabilidad en explotación, superiores a otras actuales de diseños optimizados y de similar destinación. [Wolpes Díaz, H. (2011)]

La caja de cambios de velocidades del camión ZIL 131 [AUTOEXPORT (1973)], es una caja mecánica de tres pasos con cinco velocidades para movimiento adelante y una marcha atrás, con la quinta velocidad de transmisión directa. Está dotada de dos sincronizadores “tipo inercia” para embragar las velocidades, uno para segunda y tercera y otro para cuarta y quinta.

Las relaciones de transmisión de las diferentes velocidades son:

Primera velocidad.....	7.44	Cuarta velocidad.....	1.47
Segunda velocidad.....	4.10	Quinta velocidad (directa).....	1.00
Tercera velocidad.....	2.29	Marcha atrás.....	7.09

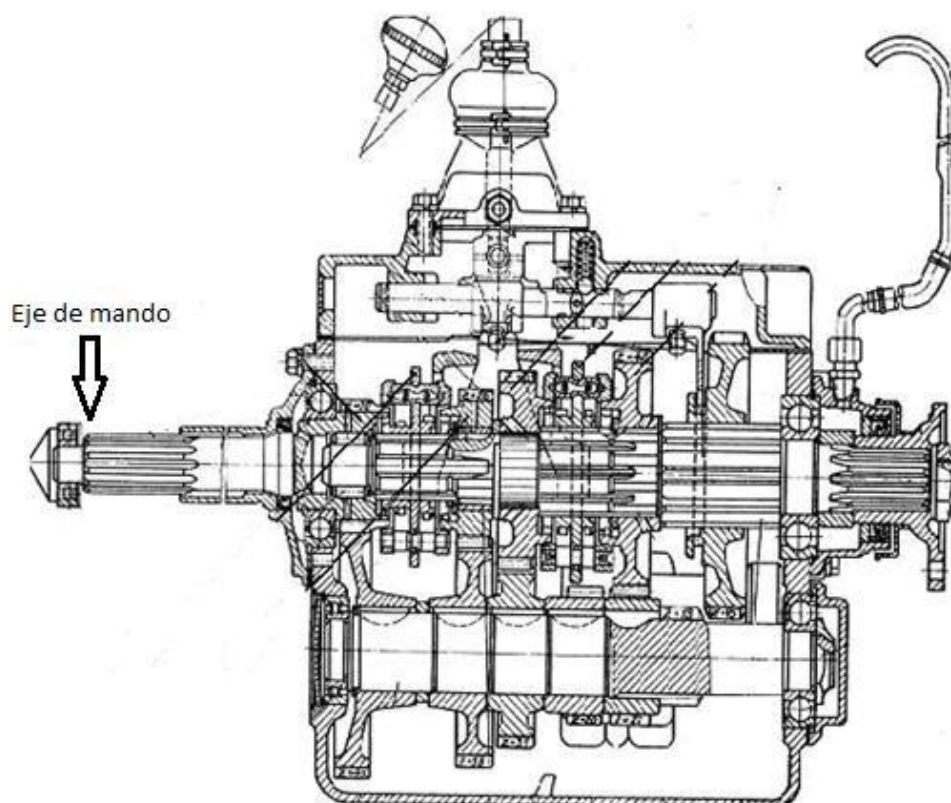


Figura 1.3. Caja de cambios del ZIL 30 y 131.

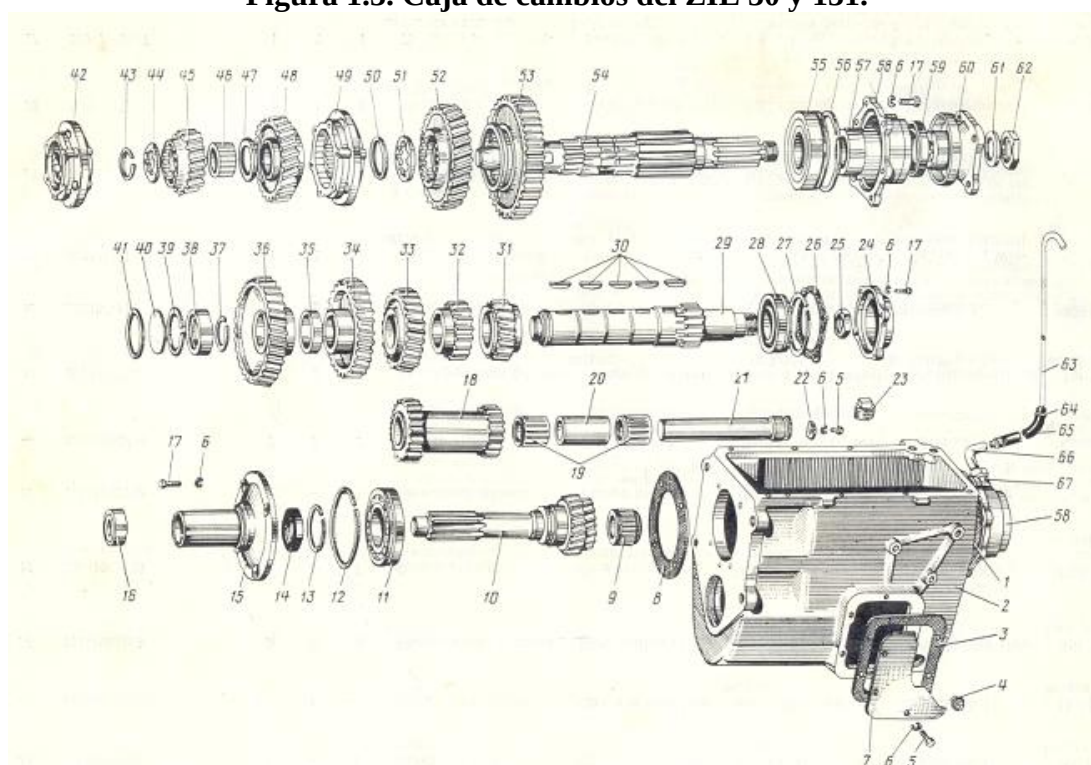


Figura 1.4. Partes y piezas que conforman la caja de cambios del ZIL 30 y 131.

(10- Eje de mando)

1.2. Eje de mando de la caja de velocidad del camión ZIL 130-131.

El eje de mando (ver figuras 1.3 y 1.4), es el encargado de transmitir el movimiento y potencia desde el cigüeñal del motor a los demás elementos constructivos de transmisión de la caja de velocidad (árboles, pares de engranajes, sincrónicos), con el acoplamiento del disco de cloche.

Por documentación técnica original, la composición química del material base del eje de mando, corresponde a un acero 25XΓM según norma GOST o 25CrMnMo según la norma cubana, quedando identificado como un acero de cementación. Sin embargo, las modificaciones y cambios tecnológicos de mejora de que ha sido objeto la caja de velocidad desde su diseño y construcción inicial, hace décadas, hasta la actualidad, induce a la duda de que este eje se haya mantenido sin modificaciones en el material, tratamientos térmicos o termoquímicos, etc., *por lo que cualquier estudio o análisis para el desarrollo de una tecnología de recuperación, o para evaluar la que actualmente se aplica, se hace necesario una caracterización del mismo en cuanto composición química del material, microestructura, dureza, etc.*

Durante el defectado de los ejes en el proceso de reparación general, se manifiestan zonas típicas donde el desgaste es su falla principal. Las zonas o superficies de mayor incidencia son aquellas donde se alojan los rodamientos y la zona dentada interior.

1.3. Tipos y mecanismos de desgaste típicos en los elementos de las cajas de velocidad.

En la literatura aparecen diferentes definiciones del desgaste según sea el autor o investigador, no obstante todas tienen en común el principio que la origina y sus consecuencias. Una definición general y aceptada es la enunciada como: “la pérdida de la forma y dimensiones de la superficie o parte de una pieza, producto de la interacción con otra pieza o cuerpo, o con el medio ambiente” [Herrera Artiles, A. y González, E. (2005), Daquinta Gradaile, I. A. (2004)]. O sea, el resultado de la eliminación de material por separación física debido a diferentes mecanismos en el contacto de los cuerpos, disolución química o por la fusión debido al contacto entre superficies.

El desgaste no es una propiedad del material, sino una respuesta al sistema [Herrera Artiles, A. (2006)], en consecuencia es posible asumir que el desgaste ocurre en una superficie por el rozamiento con otro cuerpo debido a un proceso multifactorial, que siempre ocurre y puede ser controlado en cierta medida, pero nunca evitado totalmente.

El desgaste natural se desarrolla de forma dinámica en los elementos de máquinas según se representa en la curva de la figura 1.5 y según la velocidad a que se manifiesta el mecanismo de desgaste, hay tres etapas, todas con importancia práctica y conducta diferenciada a seguir en cada una durante la explotación [Dobrovolski V. (1970), Axén N. (2001), Herrera Artiles, A. y González, E.(2005)].

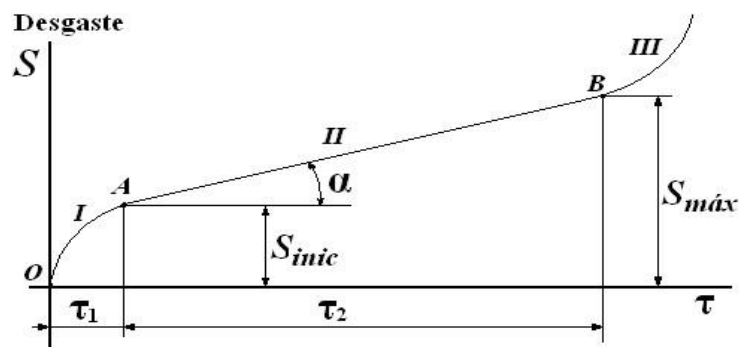


Figura 1.5. Curva típica del comportamiento dinámico del desgaste en condiciones de servicio prolongado

I, Período de asentamiento; II, Período de desgaste (normal); III, Período de desgaste catastrófico

El primer período, asentamiento (I), la velocidad de cambio puede ser alta, por eso se aplican cargas menores para facilitar que se eliminen las asperezas de las superficies en contacto para el ajuste adecuado del par tribológico; en el segundo período, desgaste normal (II), la velocidad de desgaste se mantiene relativamente constante y corresponde a la vida útil de los componentes, siendo mayor este período, mientras mejor se cumplan las condiciones de trabajo preestablecidas por diseño, principalmente la explotación y servicios técnicos; el tercer período, identificado como desgaste catastrófico (III), significa un alto grado de envejecimiento y deriva en un rápido fallo, siendo posible conocer su inicio porque en el mecanismo comienza a mostrarse signos de deterioro como ruido, calentamiento, vibraciones y otras señales perceptibles con la observación o instrumentos de medición.

Clasificación de los tipos de desgaste y mecanismos bajo los cuales ocurre.

Las clasificaciones para identificar los tipos de desgaste pueden ser diferentes y tener carácter específico o general agrupando criterios, etc., dependiendo de los diferentes autores o investigadores.

El desgaste puede ser clasificado atendiendo el principio que lo rige. La clasificación del desgaste basándose en el mecanismo bajo el cual éste se desarrolla, fue planteada por BURWELL, y comprende las siguientes formas: [Herrera Artiles, A. (2005)]

- Desgaste adhesivo.
- Desgaste abrasivo.
- Desgaste por fatiga superficial.
- Desgaste corrosivo (corrosivo-mecánico)

Desgaste adhesivo. [Herrera Artiles, A. y González, E. (2005)]. Adhesión o desgaste adhesivo se denomina en muchas ocasiones como desgaste severo y constituye el punto de partida para desarrollar el proceso de desgaste entre la superficie de los metales al producirse un rozamiento entre ellos.

En el **mecanismo** clásico de desgaste adhesivo el papel principal lo juega la interacción entre los materiales al estar en contacto bajo presión las asperezas de ambas superficies (figura 1.6). Hay una atracción molecular (cohesión) cuando la distancia entre los átomos de las superficies de los dos cuerpos sea menor que $4 \cdot 10^{-8}$ cm., surgiendo fuerzas de interacción mutua entre ellos que son de corta acción. Esto produce una unión adhesiva (micro-soldadura) entre las superficies en contacto como resultado de la destrucción superficial de uno o ambos materiales.

Durante el contacto las asperezas se arrugan y se produce el efecto mecánico de engrane, siendo la primera causa de la adhesión. Este mecanismo se manifiesta en los apoyos de los cojinetes, y en la zona dentada se aprecia en el pie y en la parte superior e inferior a línea del diámetro medio de los dientes del engranaje.

Desgaste abrasivo. [Herrera Artiles, A. y González, E. (2005)]. El mecanismo de desgaste abrasivo está determinado por la presencia de partículas abrasivas en la zona de fricción y la destrucción de la superficie ocurre como resultado de la deformación plástica local, micro-ralladuras, y micro-cortes cuando en el medio en que se encuentra la superficie existen

elementos o partículas de elevada dureza. El desgaste o mecanismo destructivo abrasivo es aquel que sufre una superficie de un elemento de máquina como resultado de la acción cortante de un agente externo. Este desgaste se puede encontrar en cualquier zona de la caja de velocidad si el aceite se encuentra contaminado.

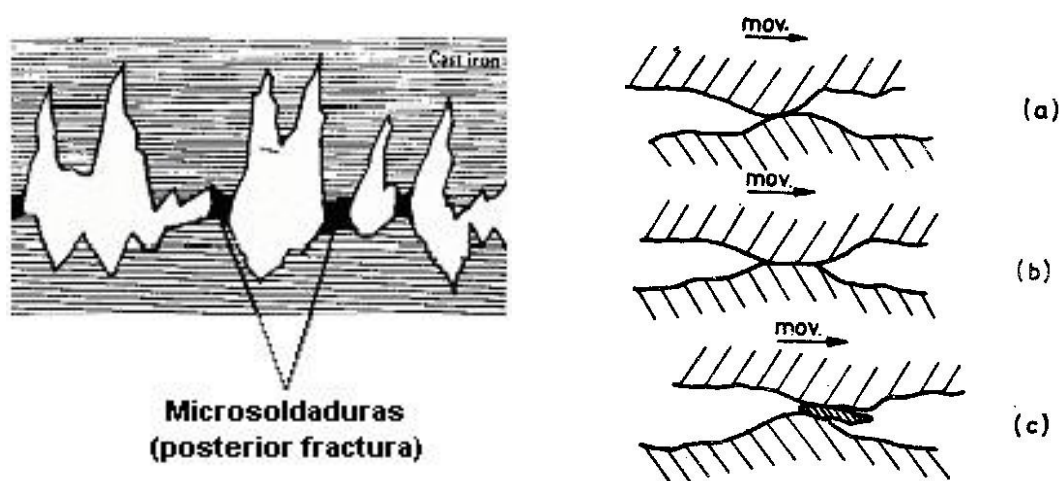


Figura 1.6 Representación gráfica del desgaste adhesivo.

- a)- Contacto de las irregularidades; b)- Alta presión y microsoldadura de las irregularidades;
c)- Destrucción del o los materiales (partículas de desgaste).

Se ha establecido experimentalmente que el mecanismo de desgaste abrasivo queda determinado fundamentalmente por la relación entre los valores de dureza del material (H_m) y la dureza de las partículas abrasivas (H_a). La ley general plantea que existe una dureza óptima para el material más blando.

Se establece que en dependencia de la relación de la dureza del abrasivo (H_a) y la del metal (H_m) pueden aparecer tres regímenes diferentes del mecanismo de desgaste abrasivo:

Régimen de desgaste abrasivo de transición. $H_a \approx H_m$:

Las durezas son aproximadamente iguales, el desgaste es mutuo y cobra importancia la presencia de otros mecanismos de desgaste que puedan surgir en las condiciones específicas.

Régimen de desgaste débil. $H_a < H_m$:

La dureza del abrasivo es menor que la del material, y no penetra en el material, disminuyendo considerablemente el desgaste abrasivo.

Desgaste abrasivo severo. $(H_a / H_m) > 2$:

El abrasivo penetra con más facilidad en el material, produciendo cortes o surcos de mayor profundidad durante el movimiento tangencial.

En la figura 1.7 a) la separación de partículas de las superficies en contacto se origina debido a que las irregularidades del material más duro se introducen en el más blando mediante el deslizamiento plástico. En presencia de un movimiento tangencial, la superficie dura se deslizará formando surcos en la superficie de menor dureza y desprende a la vez material de éste. En la figura 1.7 b) el abrasivo va desprendiendo partículas del material.

Desgaste por fatiga superficial. [Herrera Artiles, A. y González, E. (2005)]. Constituye un tipo específico de desgaste o mecanismo de desgaste superficial, que puede ser advertida por la remoción de metal y la formación de cavidades. Estas pueden ser pequeñas o grandes y pueden crecer o quedarse del mismo tamaño. La fatiga superficial ocurre debido a la acción de las tensiones o esfuerzos superficiales reiterados que van más allá del límite de resistencia del material, sin existir necesariamente otras interacciones físicas entre las superficies de los cuerpos sólidos. Este proceso de desgaste está relacionado con los ciclos de tensiones repetitivas en el contacto por rodadura o deslizamiento. Este mecanismo de desgaste es típico del contacto por rodadura, por lo que se aprecia en las bolas de los cojinetes. Este mecanismo se manifiesta en la zona del diámetro medio de los dientes.

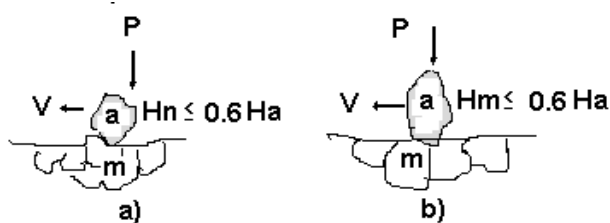


Figura 1.7. Representación del mecanismo de desgaste abrasivo.

Desgaste corrosivo (corrosivo-mecánico). [Herrera Artiles, A. y González E. (2005)]. Se produce como resultado de la interacción dinámica de las influencias de contacto y por las influencias de las condiciones del medio en que se produce. Normalmente se considera como un proceso donde ocurre la destrucción por la acción química o electroquímica del medio exterior. Este desgaste prácticamente no se manifiesta en las cajas de velocidad o es

prácticamente despreciable por el efecto protector del lubricante y ser un sistema tribotécnico cerrado.

1.4. Fallas típicas del eje de mando de la caja de velocidad del camión ZIL 131

Como ya antes se ha señalado, el eje de mando tiene zonas donde la falla típica es el desgaste. La zona más crítica o de mayor incidencia es el extremo externo del eje que sirve de alojamiento, con un ajuste indeterminado, al anillo interior del rodamiento de bolas que a su vez va alojado en el volante con un ajuste prensado, figura 1.8.

El ajuste indeterminado entre el eje y anillo interior del rodamiento se pierde por desgaste durante el desmontaje en los mantenimientos correctivos y el trabajo en explotación, pasando a un ajuste deslizante, generalmente no detectado por el explotador y a partir de ese momento el desgaste se acelera en forma de avería por el deslizamiento relativo y la fricción en condiciones de poca o ninguna lubricación y la acción de los contaminantes del medio entre los que actúan como abrasivo.

En menor grado se presenta también como falla el desgaste en la superficie de alojamiento del rodamiento intermedio que tiene como soporte el cuerpo o carcasa de la caja de velocidad. Este desgaste es provocado generalmente por la fricción bajo presión durante los mantenimientos correctivos y reparaciones complejas. Esta falla es mucho menos frecuente que la anterior y las condiciones del medio son mucho más favorables al encontrarse en el interior del cuerpo de la caja de velocidad sin el efecto significativo del medio externo.

La recuperación de estas superficies desgastadas es posible, seleccionando adecuadamente el método o proceso con la tecnología y materiales adecuados.

Es una falla importante en el eje de mando, el desgaste de los dientes interiores que acoplan con el sincrónico, que aunque ocurre a un intervalo de tiempo mucho más largo que la del extremo del eje árbol. La aparición de esta falla conlleva a desechar la pieza para chatarra y su sustitución por una nueva, ya que no existen en estos momentos al alcance de la empresa, las máquinas o equipos que permitan una tecnología de relleno de los dientes desgastados y su posterior elaboración.

Según el defectado realizado de la pieza en la EMI se observó que el desgaste de esta pieza en la zona 1, figura 1,8, se desarrolla según la gráfica de la figura 1.5 y sobrepasa los valores máximos permisibles y continúa en la zona de desgastes de avería, en que se pueden provocar vibraciones, golpeteos, y hasta la posible falla imprevistas en otros elementos constructivos, alcanzando valores de desgaste hasta de 0.1 mm en diámetro en algunos casos.

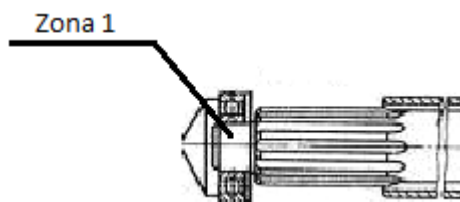


Figura 1.8. Zona de falla más frecuente (alojamiento del rodamiento)

1.5. Tecnología de recuperación de partes desgastadas del eje de mando aplicada en la EMI SS

La Empresa Militar Industrial de Sancti Spiritus, ha aplicado la tecnología de recuperación a las dos superficies de alojamiento de los rodamientos, mediante el relleno o recargue por soldadura manual con electrodo revestido. En la actualidad la tecnología se aplica fundamentalmente al extremo del eje que es la falla de mayor frecuencia. El electrodo de recargue utilizado en esa tecnología es el electrodo AWS E 6013 y como segunda variante actual el electrodo AWS E 7018.

Electrodo AWS E 6013

Es un electrodo rutílico para la soldadura de aceros de baja y mediana aleación en construcciones en general, recomendado para soldar en todas las posiciones. Se aplica generalmente para trabajos como ventanería, balconería, perfiles huecos, tolvas, tanques y recipientes, muebles metálicos. Se puede soldar con un amperaje relativamente bajo, con corriente alterna y corriente directa, garantiza una buena estabilidad del arco, así como, cordones lisos de buen aspecto y relativa poca penetración.

Propiedades:

Resistencia a la Tracción 430 MPa (60 000 psi) Límite Elástico 330 Mpa (48000 psi)

Composición química típica de los depósitos: 0,08 %C, 0.6 % Mn 0,5 % Si

Electrodo AWS E 7018

Es un electrodo de bajo hidrógeno con polvo de hierro en el revestimiento para soldar en todas posiciones con corriente directa y con polaridad normal y polaridad invertida. Garantiza altas propiedades mecánicas a temperaturas bajo cero, es recomendable para depósitos en los cuales se desee minimizar el riesgo de fractura y tener la menor cantidad posible de poros y grietas, debido a las características de su recubrimiento; para soldadura de aceros con alto contenido de azufre.

Es recomendado para trabajos de soldadura en aceros estructurales, de construcción, aceros para calderas y tuberías, aceros de grano fino, así como para aceros con un contenido de carbono hasta 0,6%. BOHLER UTP (2000)

Dentro del sector metal-mecánico, es ampliamente utilizado en la construcción de grúas, contenedores, vagones de ferrocarril, secciones gruesas y pesadas con un amplio factor de seguridad. En la industria de la construcción es usado con éxito en cordones de relleno de secciones pesadas y en la fabricación, montaje de secciones gruesas en placas y estructuras de refuerzo en todas posiciones. En el giro petrolero se usa como relleno de secciones gruesas y tubería de gran espesor y sometidas a altas presiones, en gasoductos y tanques de almacenamiento. En los astilleros se usan para fabricar barcas y buques de gran tamaño y secciones gruesas. En general en aplicaciones que requieran alta resistencia mecánica, alto rendimiento y uniones libres de grietas y poros.

Propiedades:

Resistencia a la Tracción 490 MPa (70 000 psi) Límite Elástico 400 Mpa (58 000 psi)

Composición química del depósito: 0,07 % C, 1,5 % Mn, 0,5 % Si

Las características, campo de aplicación y propiedades de estos dos electrodos (E 6013 y E 7018), permiten inducir que sus depósitos no deben responder a las solicitudes de dureza, estructura y resistencia al desgaste de las superficies recuperadas en los ejes de mando. No obstante, es necesario corroborar estas consideraciones mediante la caracterización de los depósitos sobre las superficies de la pieza original.

1.6. Tratamientos térmicos y termoquímicos típicos aplicados en árboles y ejes.

1.6.1. Tratamientos térmicos.

El tratamiento térmico en los materiales (aceros) es uno de los procesos fundamentales a que pueden ser sometidos para modificar positivamente las propiedades mecánicas, según las necesarias demandadas por la pieza.

Según se describe en la enciclopedia Wikipedia [Anónimo (2013)], el tratamiento térmico típico consiste en el calentamiento y enfriamiento de un metal en su estado sólido para cambiar sus propiedades físicas. Con el tratamiento térmico adecuado se pueden reducir los esfuerzos internos, el tamaño del grano, incrementar la tenacidad o producir una superficie dura con un interior dúctil. La clave de los tratamientos térmicos consiste en las reacciones que se producen en el material, tanto en los aceros como en las aleaciones no férreas, y ocurren durante el proceso de calentamiento y enfriamiento de las piezas, con unas pautas o tiempos establecido.

Los principales tratamientos térmicos son:

- **Temple:** Su finalidad es aumentar la dureza y la resistencia del acero. Para ello, se calienta el acero a una temperatura ligeramente más elevada que la crítica superior A_c (entre 900-950 °C) y se enfría luego más o menos rápidamente (según características de la pieza) en un medio como agua, aceite, etcétera.
- **Revenido:** Sólo se aplica a aceros previamente templados, para disminuir ligeramente los efectos del temple, conservando parte de la dureza y aumentar la tenacidad. El revenido consigue disminuir la dureza y resistencia de los aceros templados, se eliminan las tensiones creadas en el temple y se mejora la tenacidad, dejando al acero con la dureza o resistencia deseada. Se distingue básicamente del temple en cuanto a temperatura máxima y velocidad de enfriamiento.
- **Recocido:** Consiste básicamente en un calentamiento hasta temperatura de austenitización (800-925°C) seguido de un enfriamiento lento. Con este tratamiento se logra aumentar la elasticidad, mientras que disminuye la dureza. También facilita el mecanizado de las piezas al homogeneizar la estructura, afinar el grano y ablandar el material, eliminando la acritud que produce el trabajo en frío y las tensiones internas.

- **Normalizado:** Tiene por objeto dejar un material en estado normal, es decir, ausencia de tensiones internas y con una distribución uniforme del carbono. Se suele emplear como tratamiento previo al temple y al revenido.

Al someter las piezas a procesos de recargue por soldadura los procesos térmicos que se generan producen cambios estructurales, tensiones internas, etc., así como, cambios en las composiciones químicas producto de la dilución del metal aportado con el metal base, por ellos en muchos casos son inadecuados o indeseables los procesos de recargue por soldadura y se hace necesario aplicar otros métodos para obtener soluciones satisfactorias. [Colectivo de autores (1991)]

1.6.2. Tratamientos termoquímicos

En el caso de los tratamientos térmicos no sólo se producen cambios en la estructura del acero sino también en su composición química, añadiendo diferentes productos químicos durante el proceso del tratamiento. Estos tratamientos tienen un efecto sólo superficial en las piezas tratadas y consiguen aumentar la dureza superficial de los componentes, dejando el núcleo más blando y flexible. Estos tratamientos requieren el uso de calentamiento y enfriamiento en atmósferas especiales.

- **Cementación:** Aumenta la dureza superficial de una pieza de acero dulce, aumentando la concentración de carbono en la superficie. Se consigue teniendo en cuenta el medio o atmósfera que envuelve el metal durante el calentamiento y enfriamiento. El tratamiento logra aumentar el contenido de carbono de la zona periférica, obteniéndose después, por medio de temple y revenidos, una gran dureza superficial, resistencia al desgaste y buena tenacidad en el núcleo.

La cementación con temple y revenido posterior, es un tratamiento superficial de amplia aplicación en superficies sometidas a la fricción y desgaste, tales como pasadores de pistón, en los motores de combustión interna, ejes de cajas de velocidad, asientos de las rotulas en los puentes delanteros de vehículos automotrices [Herrera Artiles, A. (2005), Herrera Artiles, A. (1999)], lo que permite considerar la posibilidad de que este sea el tratamiento aplicado al eje objeto de estudio.

- **Nitruración:** Al igual que la cementación, aumenta la dureza superficial, aunque lo hace en mayor medida, incorporando nitrógeno en la composición de la superficie de la pieza. Se logra calentando el acero a temperaturas comprendidas entre 400-525 °C, dentro de una corriente de gas amoníaco, más nitrógeno.
- **Sulfinización:** Aumenta la resistencia al desgaste por acción del azufre. El azufre se incorporó al metal por calentamiento a baja temperatura (565 °C) en un baño de sales.
- **Cianuración:** Endurecimiento superficial de pequeñas piezas de acero. Se utilizan baños con cianuro, carbonato y cianato_sódico. Se aplican temperaturas entre 760 y 950 °C.

Los tratamientos más usados en los árboles y ejes son el temple y cementación, con menor frecuencia la nitruración y prácticamente no son usados la sulfinización y la cianuración.

CAPÍTULO II

Materiales y Métodos

2.1. Caracterización de las propiedades del eje de mando y superficies desgastadas

Para la caracterización del eje de mando es necesario determinar la composición química del material, posibles tratamientos térmicos, microestructuras y durezas de las superficies que se desgastan, etc., como elementos de partida para la evaluación de materiales para el recargue.

2.1.1. Determinación de la composición química del material base

Para el análisis químico se extrajeron muestras cortadas transversalmente de la zona de trabajo que se desgasta en el extremo del eje de mando (figura 1.8) y similarmente se extrajeron muestras también para el análisis metalográfico y mediciones de la dureza.

Para la determinación de la composición química pueden usarse métodos tales como emisión atómica (espectral), absorción atómica, vía húmeda, carbonimetría, rayos-X, entre otros.

El análisis químico se realizó mediante emisión atómica, en los laboratorios de los talleres de fundición de la planta Román Roca perteneciente a la empresa Enrique Villegas de Santa Clara, en un equipo Spectrocas. Los resultados se recogen en la tabla 2.1.

Tabla 2.1. Composición química del núcleo del eje de mando según análisis químicos.

Composición química (%)			
C	Cr	Mn	Mo
0,28	1,11	1.14	0,24

En zona cercana a la superficie el carbono se comportó en valores de 0,56 %. (por condiciones de la probeta y características del equipo no fue posible llegar a puntos más cercanos a la superficie).

2.1.2. Determinación de la estructura metalográfica

Para las observaciones metalográficas se utilizaron las muestras o probetas extraídas por corte transversal del extremo del eje.

La muestra se montó con una resina epóxida como soporte (figura 2.2) y se desbastó y pulió en una máquina pulidora de plato, con la utilización de lijas de diferentes tamaños de grano y pastas abrasivas de alúmina de 0,3 μm de tamaño de grano y posteriormente se atacó la superficie de la misma con Nital al 2% (Alcohol y óxido nítrico)

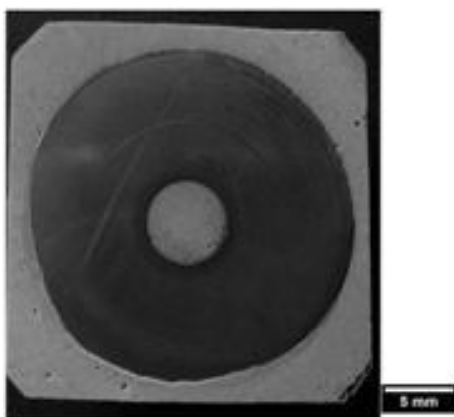


Figura 2.2. Montaje de la muestra para su elaboración y pulido.

Las observaciones metalográficas se realizaron con un microscopio metalográfico marca NOVEL, modelo NJF-120A, figura 2.3, siguiendo el procedimiento establecido en el Centro de Investigaciones de Soldadura para estos análisis. Las imágenes fueron registradas por medio de una cámara digital marca Canon, modelo A630, resolución 8 Mega Píxel.

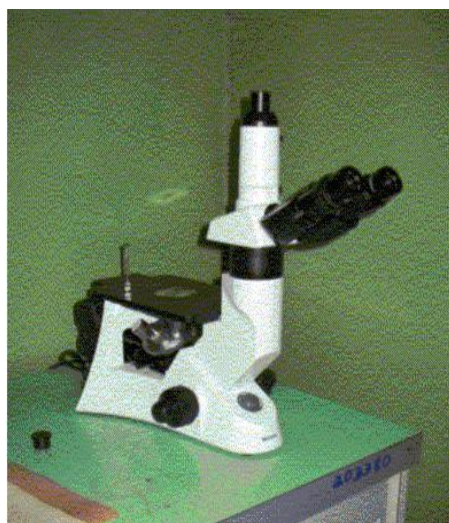


Figura 2.3. Microscopio metalográfico marca NOVEL.

En la figura 2.4 se presenta una macroestructura de la probeta con 63x de aumento y en la figura 2.5, la microestructura del núcleo interior de la pieza.

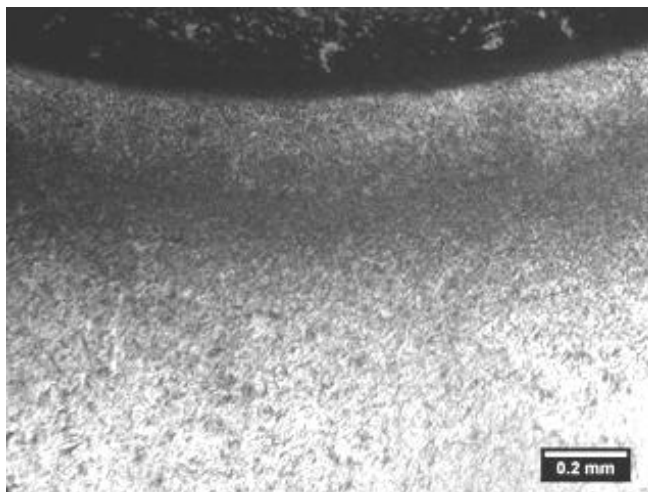


Figura 2.4. Macroestructura del corte transversal la superficie de trabajo (63x)

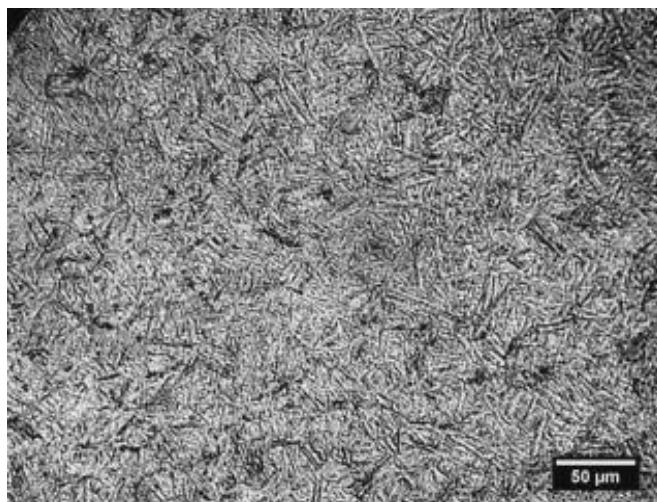


Figura 2.5. Estructura de la matriz (250x)

2.1.3. Determinación de la dureza

Las mediciones de la dureza se realizaron en un Durómetro Vickert marca Hecke (figura 2.6). La carga aplicada fue de 10 kgf/mm^2 , y se realizaron un total de 13 mediciones en la zona de la muestra perteneciente a la superficie de trabajo.

Las mediciones se realizaron desde la superficie exterior de trabajo hacia la zona de la matriz, siguiendo un perfil a partir de los 100 μm de la superficie, para evitar la deformación de la huella.

En la tabla 2.2 se presentan las mediciones de dureza de la muestra del eje, así como, el promedio y la distancia de medición desde el extremo exterior (asiento de los rodamientos) hacia el centro de la pieza y en la figura 2.7 se presentan esos resultados (valores promedios), gráficamente.



Figura 2.6. Durómetro Vickert marca Hecke

Tabla 2.2: Resultados de las mediciones de dureza.

No.	Posición del extremo (μm)	Medicaciones (Hv)			
		1ra	2da	3ra	Promedio
1	100	882	858.2	988	909.4
2	200	906.8	870	1033	936.6
3	300	762	835.3	870	822.43
4	400	771.9	698	724.4	731.43
5	500	715.4	733.5	724.4	724.43
6	600	698	771.9	698	722.63
7	700	673	591.9	681.1	648.667
8	800	591.9	612.5	634.2	612.87
9	900	463.6	641.7	566	557.1
10	1000	634.2	619.6	657	636.93
11	1100	536	591.9	598.7	575.53
12	1200	559.8	559	619.6	579.46
13	1300	524.7	598.7	578.8	567.4

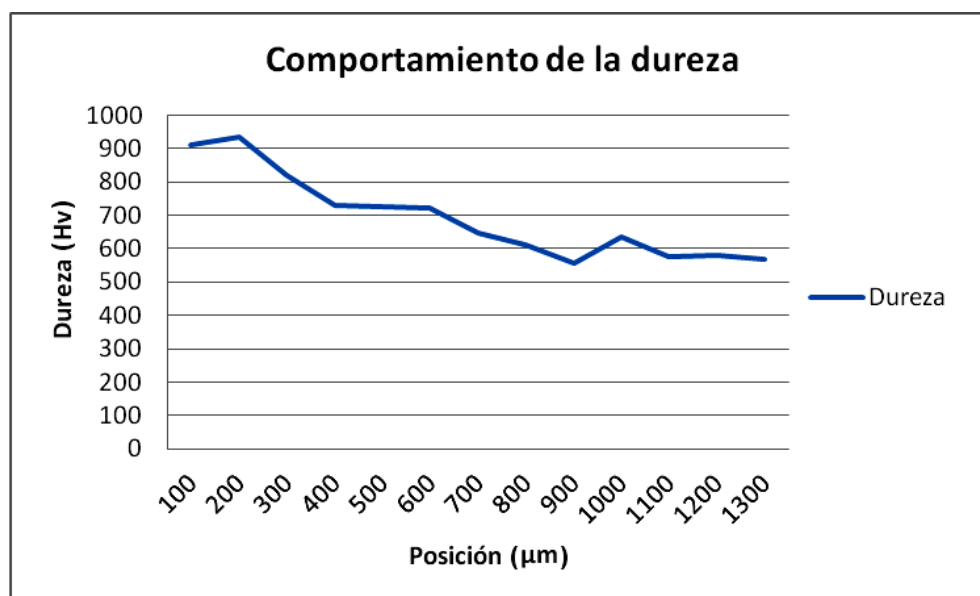


Figura 2.7. Comportamiento de los valores promedios de dureza.

2.2. Evaluación de la tecnología de recuperación aplicada en la EMI SS

En la evaluación de la calidad de las superficies recuperadas con el electrodo AWS E 6013 y al electrodo AWS E 7018, se determinó en qué medida los depósitos de recargue de los mismos, aportan propiedades que se correspondan con las de la pieza nueva o superiores a las de esta, independiente de la composición química de los depósitos.

Para establecer esta correspondencia se hicieron análisis de la microestructura y perfiles de dureza a los depósitos de cada uno de los electrodos, obtenidos sobre las superficies desgastadas con la tecnología de la empresa y en la propia empresa.

2.2.1. Obtención de la microestructura metalográfica de los depósitos

Para las observaciones metalográficas se extrajeron muestras o probetas cortadas transversalmente de las superficies rellenadas, mediante disco abrasivo y bajo la acción de refrigerante para evitar cualquier calentamiento en la zona de corte

Las probetas cortadas se montaron en soporte con resina epóxida y se desbastó la superficie resultado del corte con el disco para eliminar cualquier efecto puntual de calentamiento.

El resto de la preparación y las observaciones metalográficas se realizaron siguiendo los mismos métodos y materiales y equipos que para la caracterización del material del eje de mando (epígrafe 2.1.2)

En la figura 2.8 se presenta la microestructura de la zona de recargue con electrodo E 6013 y en la figura 2.9, la correspondiente a la zona de frontera entre el metal base y la zona con posible tratamiento termoquímico de cementación sobre la que se deposita en la parte superior (superficie desgastada) el depósito de recargue con dicho electrodo. En la figura 2.10 se presenta la microestructura de la zona de recargue con electrodo E 7018 y en la figura 2.11 la correspondiente a la zona de frontera entre el metal base y la zona con el posible tratamiento de cementación con dicho electrodo.

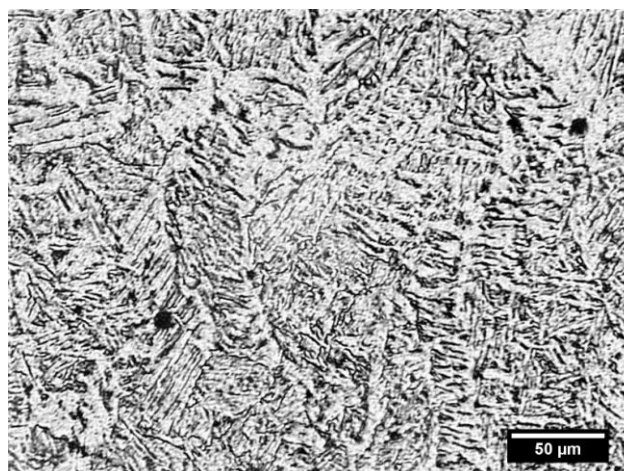


Figura 2.8. Microestructura de la zona de recargue con electrodo E 6013 (250x).

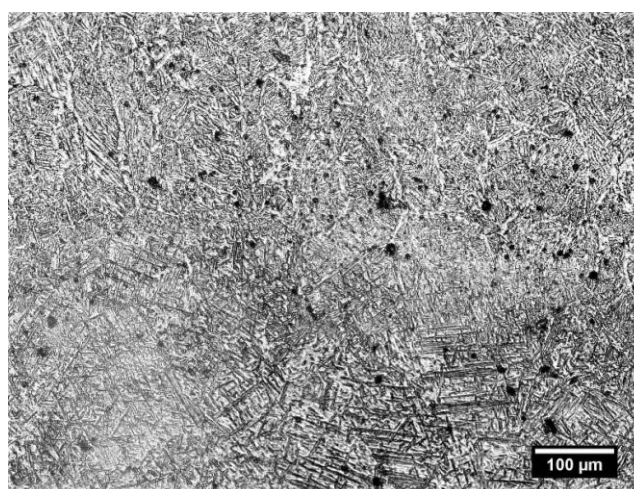


Figura 2.9. Microestructura de la zona de frontera entre el metal del núcleo y la zona con posible tratamiento termoquímico después del recargue con electrodo E 6013 100x

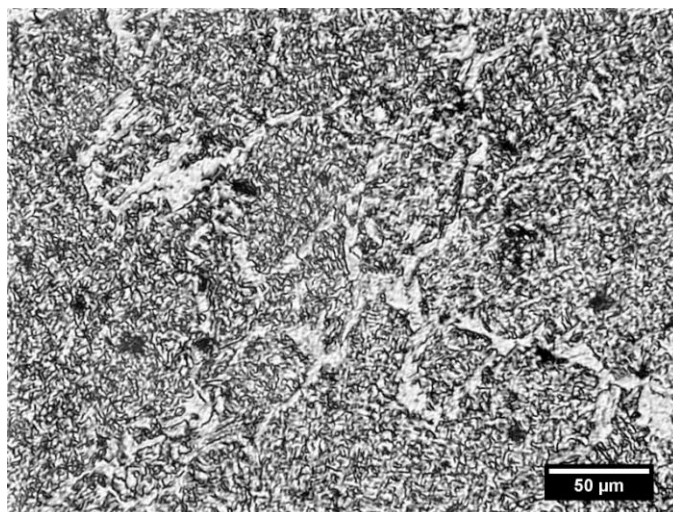


Figura 2.10. Microestructura de la zona de recargue con electrodo E 7018 (250x)

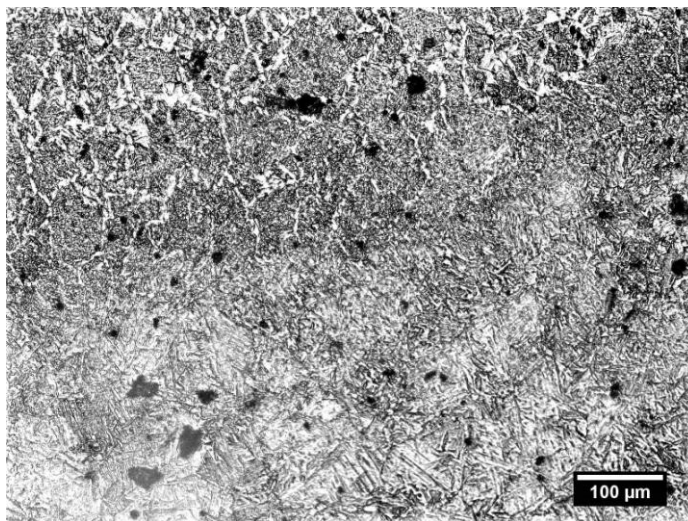


Figura 2.11. Microestructura de la zona de frontera entre el metal del núcleo y la zona con posible tratamiento termoquímico después del recargue con electrodo 7018 (100x)

2.2.2. Determinación de la dureza de los depósitos

Las mediciones de la dureza se realizaron con el mismo procedimiento y equipamiento que se describió para el epígrafe 2.1.3.

Las mediciones se realizaron desde la superficie exterior (depósitos) hacia la zona de la matriz (metal base), siguiendo un perfil a partir de los 440 μm de la superficie. En total se realizaron 10 mediciones en cada muestra perteneciente a cada electrodo de relleno.

En la tabla 2.3 se presentan los resultados de las mediciones de dureza los promedios, de la muestra correspondiente al electrodo AWS E 6013 y en la tabla 2.4 las correspondientes al electrodo AWS E 7018.

Tabla 2.3. Resultado de las mediciones de dureza en los depósitos del electrodo E 6013.

No.	Posición del extremo (μm)	Medicaciones (Hv)			
		1ra	2da	3ra	Promedio
1	440	209	219	215.5	216.9
2	1440	243.6	257.6	219.5	238.55
3	2440	205.9	205.3	235.1	220.2
4	3440	220.5	221.5	229.9	225.7
5	3940	464	453.8	445.9	449.85
6	4440	459.9	474.6	464	469.3
7	5440	466.1	478.9	457.9	468.4
8	6440	409.2	438.2	410.9	424.55
9	7440	444	402.4	404.1	403.25
10	8440	331.3	349.6	266.4	308

Tabla 2.3. Resultado de las mediciones de dureza en depósito del electrodo E 7018.

No.	Posición del extreme (μm)	Medicaciones (Hv)			
		1ra	2da	3ra	Promedio
1	580	283.4	273.7	278.5	278.53
2	1580	247.6	280.4	286.4	283.4
3	2580	268.2	265.5	257.6	261.55
4	3580	311	313.3	311	312.15
5	4080	383	407.5	445.9	426.7
6	4580	410.9	425.1	457.9	441.5
7	5580	392.6	395.8	430.7	413.25
8	6580	392.6	379.9	376.9	378.4
9	7580	353.7	378.4	356.5	367.45
10	8580	278.5	285.4	271.9	278.65

En la figura 2.12 se presenta gráficamente el comportamiento de los valores promedios de la dureza (tabla 2.3) de los depósitos con el electrodo E 6013 y en la figura 2.13 los correspondientes en la tabla 2.4 para los depósitos con el electrodo E 7018.

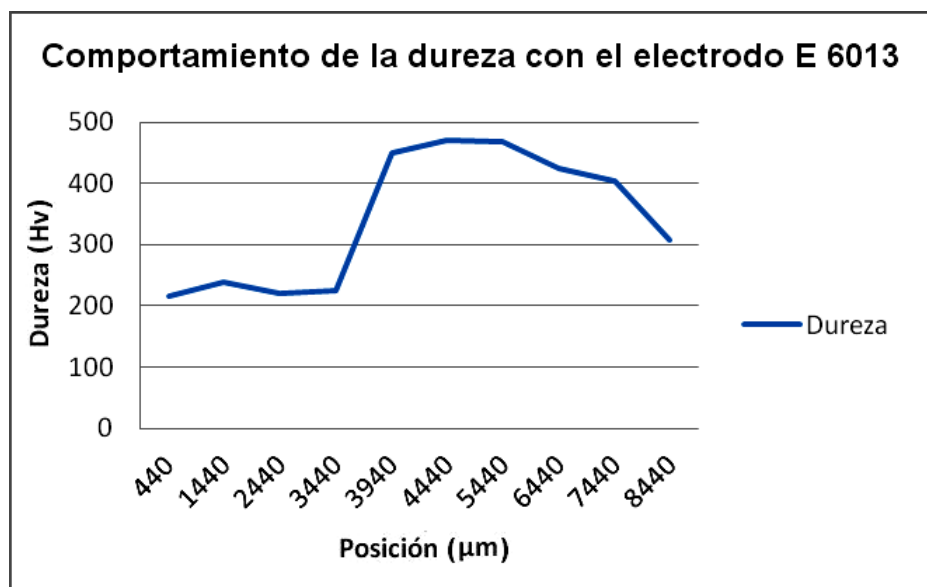


Figura 2.12. Comportamiento de los valores promedios de dureza de los depósitos con el electrodo E 6013.

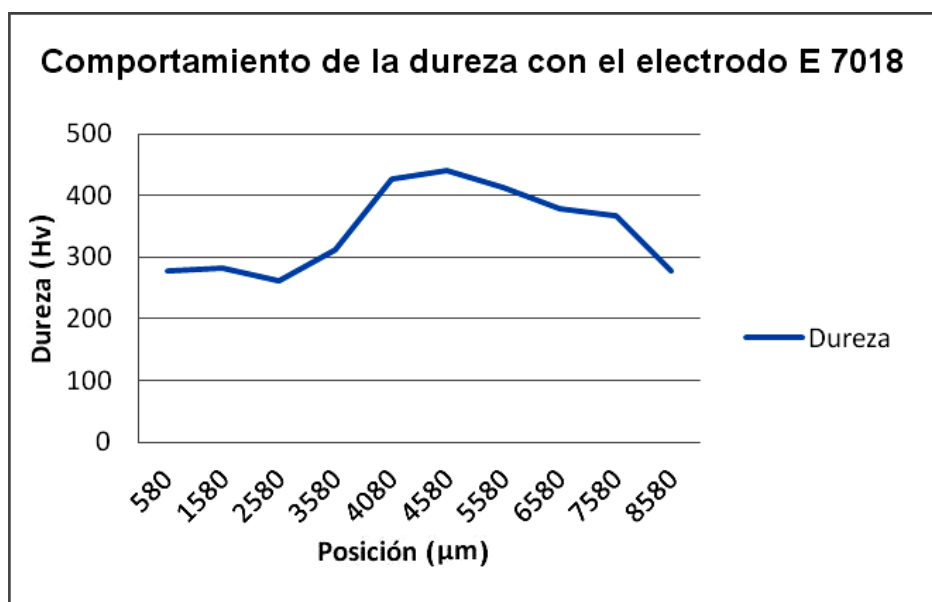


Figura 2.13. Comportamiento de los valores promedios de dureza de los depósitos con el electrodo E 7018.

CAPITULO III

Análisis de Resultados

3.1. Análisis de los resultados de la caracterización del eje de mando

Los resultados de los análisis químicos (tabla 2.1) muestran que el material base se corresponde con un acero 25XFM (norma GOST), típico para la cementación, declarado inicialmente en el Capítulo I, epígrafe 1.2, por referencia según plano, lo que pone de manifiesto que esta pieza no ha sufrido modificaciones en el material en los cambios de que ha sido objeto esta caja de velocidad en el perfeccionamiento de su diseño.

Se obtuvo de manifiesto también, según los análisis, que el porcentaje de C crece en zona que se acerca a la superficie.

Los resultados de las observaciones metalográficas muestran en la macroestructura de la figura 2.4, una zona oscura bien definida en la que se aprecia un grano más fino que hacia el centro o núcleo a pesar del poco aumento y es coincidente con la zona aproximándose a la superficie en que se manifiesta un % de C mayor (0,56) en la pieza. Esta zona se diferencia del resto del material en las características anteriores a medida que se aleja de la parte oscura hacia el centro de la pieza o matriz de la cual se puede apreciar la microestructura en la figura 2.5.

Los resultados anteriores y los resultados de las mediciones de dureza (perfil de dureza) que se muestran en la tabla 2.2 y graficados en la figura 2.7, que delatan valores de dureza junto a la superficie mayores de 900 Hv (aproximadamente 67 HRC) y que van disminuyendo en la medida que se aleja hacia el centro, permite asegurar la existencia de un cementado y por consiguiente debe estar presente en esa zona de alta dureza una estructura martensítica, solución sólida sobresaturada de carbono en $Fe\alpha$. Estas estructuras presentan alta resistencia al desgaste, sobre todo para mecanismos de desgaste abrasivo

3.2. Evaluación de la tecnología de recuperación aplicada en la EMI SS

Recuperación con electrodo E 6013

La microestructura del cordón de recarga con el electrodo E 6013, devela una estructura básicamente ferrítica, figura 2.8, con valores de dureza entre 220 y 225 Hv (220 y 225HB) en

la zona del cordón en que se obtendrá la superficie recuperada a la dimensión nominal después del maquinado como se aprecia en la tabla 2.3 y la figura 2.12, las que muestran un salto de dureza en dirección al núcleo hasta valores muy superiores a los 400 Hv, que corresponde a zona con cementación a la que no llegó la penetración del cordón de soldadura, posteriormente comienza a descender la dureza hacia el núcleo.

La ferrita es una solución sólida de carbono en el Fe α ; es prácticamente hierro puro, pues sólo disuelve 0.025% de carbono a una temperatura de 723 °C, esta solubilidad disminuye más a medida que descende la temperatura. La dureza de la ferrita típica es de aproximadamente 80 HB, aunque puede aumentar con la presencia de otros elementos aleantes, no obstante siempre es caracterizada por su elevada plasticidad. [Guliaev, A. P. (1983)]

Los valores de dureza que se obtienen en el cordón (tabla 2.3 y la figura 2.12), que sobrepasan el doble de los de la ferrita típica, pueden estar dados por los efectos de la dilución del depósito con el metal base en una zona de alto carbono (cementada). Sin embargo, el incremento que se devela en los valores de dureza en la zona cementada a donde no llegó la penetración del depósito de recargue (tabla 2.3 y la figura 2.12), cuya frontera entre esta y el metal del núcleo se aprecia en la microestructura de la figura 2.9, son inferiores a los que poseía la pieza antes del proceso de recargue, tabla 2.2 y figura 2.7, lo que delata que el ciclo térmico de la soldadura provocó una acción de recocido en esa zona inferior a la zona del metal fundido en el recargue.

Recuperación con electrodo E 7018

Los resultados obtenidos en las muestras de los depósitos con el electrodo E 7018, no difieren significativamente de los resultados obtenidos con el electrodo E 6013.

La microestructura del cordón de recargue con el electrodo E 7018, es también básicamente ferrítica, figura 2.10, con valores de dureza (tabla 2.3 y la figura 2.12) en este caso entre 261 y 312 Hv (261 y 312 Hv), algo superiores a los obtenidos con el electrodo E 6013 en la zona del cordón en que se obtendrá la superficie recuperada a la dimensión nominal después del maquinado. Se aprecia también en este caso un salto de dureza en dirección al núcleo a valores cercanos 400 Hv, pero algo inferiores a los del recargue con el electrodo E 6013, en la zona con cementación, que similar a lo obtenido con ese electrodo en este caso es también muy inferior y seguidamente comienza a descender la dureza hacia el núcleo. Similarmente el ciclo

térmico provoca el efecto de recocido en la zona inferior a la del metal fundido en el recargue y hasta la zona de frontera, figura 2.11.

No obstante las ligeras diferencias entre los resultados con el electrodo E 6013 y el electrodo E 7018, se pueden considerar similares, pero muy lejos de las propiedades en las piezas nuevas construidas y no satisfacen las características y propiedades necesarias para las condiciones de trabajo y efectos de desgastes que se producen en las condiciones de explotación.

Ciertamente, la recuperación de superficies desgastadas en las piezas, mediante el recargue, es una técnica de amplia aplicación durante los procesos de mantenimiento correctivos y reparaciones complejas de las máquinas, aspectos que se refleja ampliamente por diferentes autores [Levitski, I. S. (1975), Colectivo de autores (1991), Herrera Artiles, A. (1999)]. Se describe por estos autores que los materiales aportados deben garantizar, como regla general, una durabilidad de las piezas recuperadas, similar o mayor que la de la pieza nueva, y que los materiales de aporte que garantizan depósitos o aleaciones con estructura ferrífica, entre ellos los electrodos E 6013 y E 7018 y otros, sólo son posibles a emplear para el relleno en superficies al restablecer ajustes prensados (preferentemente no sometidas a desarme y arme), así como, en la reconstrucción de superficies de materiales bases con propiedades similares entre este y el material a aportar, como base para rellenos duros posteriores, etc. o en determinadas piezas donde el desgaste predominante es el impacto, pues su baja dureza y plasticidad no garantiza resistencia ante otros tipos de desgaste.

Independientemente de lo anterior, la recuperación mediante recargues con procesos de soldadura son inadecuados para superficies desgastadas como el caso que se estudia o similares, aun cuando se posean consumibles que depositen las propiedades requeridas. Estas superficies donde los desgastes son solo del orden de algunas centésimas de mm, después de rellenadas es necesario el maquinado hasta la media nominal de la pieza desapareciendo todo el espesor de recargue quedando la superficies en la zona de dilución con una capa de metal fundido que no contiene las propiedades del metal depositado y además cuando los diámetros son relativamente pequeños como el caso de estudio (25 mm en un cambio de sección), se producen transformaciones y afectaciones en la pieza que pueden conducir a fallas graves posteriores.

Los métodos de recargue por soldadura tienen entre sus limitaciones las magnitudes del desgaste para ser aplicados con calidad y efectividad. Se aplican para superficies con altos valores de desgaste, generalmente para espesores de desgaste superiores a 0,5 mm y lo más recomendado es para espesores de desgaste igual o superiores a 1 mm, límite recomendado para el proceso por arco sumergido. [Colectivo de autores (1991), Colectivo de autores, (1993)]. Este aspecto y las afectaciones estructurales, deformaciones, afectaciones de la resistencia a la fatiga, etc., califican como no deseable e inadecuado este proceso para la pieza objeto de estudio.

Otro aspecto a considerar es que muchas piezas recuperadas por recargue, exigen la elaboración mecánica posterior por métodos de arranque de virutas, por lo que cuando las durezas del metal aportado sobrepasa los 30 HRC (como es este caso), se hace necesario la elaboración mediante el rectificado con muelas abrasivas o métodos electroerosivos [Acevedo Pérez, M. y Herrera Artiles, A. (2001)], esto implica la necesidad de poseer las máquinas y medios necesarios o el acceso a esos servicios.

3.3. Propuestas tecnológicas factibles para la empresa con las que se pudieran alcanzar mejores resultados

3.3.1. Recuperación de superficies cilíndricas desgastada mediante piezas suplementarias [Efremov, V. V. (1975), Herrera Artiles, A. (1999)]

El método de recuperación mediante piezas suplementarias se emplea ampliamente en la recuperación y reparación de piezas para obtener nuevamente las dimensiones nominales o dimensiones de reparación en las superficies desgastadas o fracturadas.

En las superficies desgastadas, caso a resolver, el método en esencia consiste en colocar una pieza adicional sobre dicha superficie en el elemento constructivo, después de la elaboración mecánica previa de esa superficie desgastada hasta la dimensión calculada.

El suplemento se fabrica de formas diferentes como manguitos o bujes, camisas, anillos, casquillos roscados interior o exteriormente, etc. La mayoría de las veces la sujeción de la pieza adicional se hace a costa de una holgura negativa (interferencia) que garantiza el ajuste elegido. En ocasiones también puede garantizarse la fijación combinando un ajuste con determinado apriete, con puntos de soldadura en forma de botones.

Al colocar el manguito o buje sobre el árbol o eje, el diámetro exterior debe quedar con sobremedida con relación a la dimensión nominal o de reparación final. Esto debe tenerse en cuenta al designar el sobre espesor para la elaboración mecánica definitiva de la superficie activa del manguito o buje.

Independientemente del procedimiento de unión, el ajuste del buje o manguito con holgura negativa (interferencia) se considera útil, si satisface dos condiciones principales: garantizar la resistencia mecánica de la unión contra el giro y el desplazamiento en presencia de un ajuste real mínimo, y asegurar la resistencia mecánica de las piezas para un ajuste real máximo.

Comúnmente la propiedades físico – mecánicas del material de las piezas adicionales, debe coincidir con el material de la pieza base; si se requiere de alta resistencia al desgaste o altas propiedades antifricción, se selecciona un material de propiedades superiores o que responda a las solicitudes de las piezas. Para casquillos de acero, el espesor de las paredes se recomienda no menor de 2.5 mm, para espesores menores la fijación se asegura con la combinación de la interferencia y los puntos de soldadura, para los de hierro fundido el espesor recomendado debe ser dos veces más que el acero.

En el eje de mando objeto de estudio debe elaborarse la superficie para el montaje de un casquillo de 1 mm de espesor después de maquinado a la dimensión nominal. El casquillo debe fabricarse con una sobremedida de 0,5 mm en el espesor, para interferencia entre la superficie del eje y el diámetro interior del casquillo; para garantizar fijación total dado el pequeño espesor, se debe fabricar el casquillo con dos orificios simétricos a 180 grados y de diámetro 5 mm; después del encaje a presión cada orificio se rellena con soldadura uniéndolos al metal base (pieza). El material del casquillo debe seleccionarse para un tratamiento térmico si fuera necesario, preferiblemente temple y revenido.

Este método brinda la ventaja del bajo costo y que el casquillo puede ser eliminado por elaboración mecánica cuando se desgaste y sustituido por nuevo con facilidad.

La empresa cuenta con los medios necesarios para aplicar este método.

3.3.2. Recuperación de superficies cilíndricas desgastada mediante proyección térmica (Metalizado) [Colectivo de autores (1993), Baranov I. A. (1999), Manikov, Ju. (1998)]

La proyección térmica, también conocida como termo rociado o metalizado, es un proceso que consiste en proyectar o atomizar sobre la superficie de la pieza un material que en forma de polvo o alambre ha sido fundido o derretido. El metal derretido es pulverizado y proyectado a altas velocidades formando el recubrimiento.

$$\begin{array}{c} \text{MATERIAL} \\ \text{(Polvo o alambre)} \end{array} + \text{FUENTE DE CALOR} + \begin{array}{c} \text{ACELERACION DE} \\ \text{LAS PARTICULAS} \end{array} + \text{IMPACTO} = \text{RECUBRIMIENTO}$$

El material puede ser fundido o derretido, dentro o fuera del equipo de proyección y durante la operación de recubrimiento no ocurre la fusión de las superficies de las piezas como en los procesos de recargue o rellenado por soldadura.

El proceso de metalizado se puede desarrollar por dos métodos:

- La proyección térmica o metalizado en frío (proyección o atomizado del metal de relleno en forma de polvo o a partir de un material previamente fundido), se realiza a bajas temperaturas en la pieza y en muy breve tiempo, lo que garantiza la no introducción de cambios estructurales en el metal base y muy pocas distorsiones o deformaciones por la acumulación de tensiones provocadas por ciclos térmicos de dilatación-compresión, típicos de los procesos de soldadura.

Además de que se requiere poseer el equipamiento necesario, una dificultad de este método de proyección radica en la necesidad de una preparación previa por maquinado de cierta complejidad de la superficie de la pieza para lograr una buena adherencia (rosca de acabado rugoso o elaboración de colas de milano, etc.), preparación que se hace más compleja en el caso que se estudia por la posible presencia de tratamientos térmicos o termoquímicos y altas durezas de las superficies, así como la posibilidad de afectar significativamente la resistencia a la fatiga de la pieza.

- Proyección a la llama con polvos en caliente. Este método se fundamenta en la proyección de polvos metálicos diseñados y obtenidos con características especiales en cuanto a composición química, puntos de fusión, pureza, densidad aparente y otras elevadas características fisicoquímicas que ofrecen inestimables ventajas respecto a varillas y electrodos convenientes.

En este método ocurre un fenómeno de aleación metálica donde el metal de aportación no sólo fluye por la superficie del metal base, sino que también existe una interunión entre ambos por medio de una difusión molecular en fase sólida, lo que permite depósitos muy finos (0,007 mm) hasta de varias capas y superficies a 3 mm de espesor, en ocasiones.

Las técnicas de aplicación sólo requieren una limpieza previa a la superficie a rellenar, que se puede efectuar mediante métodos de desengrase tradicionales y el esmerilado con muelas abrasivas o preparación por chorro de arena (sand blasting) o el maquinado de una pequeña capa que garantiza a la vez la recuperación de la forma geométrica de la superficie desgastada.

Este proceso de proyección a la llama es factible de aplicar en las superficies desgastadas del eje de mando para los pequeños espesores de desgaste. El polvo se debe seleccionar en correspondencia con las propiedades necesarias en la superficie.

La empresa no cuenta actualmente con los medios para llevar a cabo la recuperación, no obstante puede acceder a la tecnología con terceros en el territorio.

3.3.3. Recuperación de superficies cilíndricas desgastada mediante el cromado

Mediante los métodos electroquímicos se pueden aplicar capas, con propiedades diversas, dentro de un rango óptimo de espesores de (0.001 a 1) mm y durezas factibles de variar en un amplio margen. Los métodos de relleno electroquímico más usados en la recuperación de superficies desgastadas con magnitudes de desgaste relativamente pequeñas son: cromado y acerado. [Colectivo de autores (1993), Acevedo Pérez, M. y Herrera Artilles, A. (2001)]

El acerado ha tenido aplicación, desplazando al cromado en ocasiones, por ser más económico y de menor consumo energético, debido, entre otros aspectos, por la mayor velocidad de deposición y mucho más alto rendimiento de la corriente obteniéndose aportes de mayor espesor en menor tiempo con satisfactorias cualidades de la superficie (adherencia de la capa depositada, dureza, etc.), lo que lo hace también aplicable como capa base para el cromado cuando el espesor de los desgastes son altos. Con el acerado, es posible alcanzar resultados satisfactorios en piezas con desgastes hasta 1 mm de espesor. [Acevedo Pérez, M. y Herrera Artilles, A. (2001), Daquinta Gradaile, I. A. (2004)]

Con el proceso de cromado se obtienen recubrimientos de cromo duro de buena calidad y durabilidad con alta resistencia al desgaste por fricción, los espesores máximos de las capas de Cr deben ser $< 0,5$ mm, para garantizar la resistencia y propiedades necesarias, la mayor calidad y economía se obtiene para espesores $< 0,3$ mm, los espesores $\leq 0,10$ mm (caso que se estudia) resisten muy bien a la fricción. El proceso se puede controlar con gran exactitud, si se cumplen rigurosamente todos los requisitos, las piezas se pueden rellenar hasta obtener las dimensiones necesarias sin maquinado ulterior. [Koshnov, N. (1988), Colectivo de autores (1993), Daquinta Gradaile, I. A. (2004)],

Con el cromado se recuperan piezas tales como: camisas de los cilindros (las superficies de trabajo), aros de pistón, árboles de levas, válvulas, arboles de las bombas de aceite, tacos, ejes del embrague, arboles primarios, secundarios e intermediarios de las cajas de velocidades, copas del diferencial, crucetas del diferencial, brazos de mando de la dirección y otras piezas. [Herrera Artiles, A. (2001)]. Todo el conjunto de piezas identificado anteriormente son objeto de sustitución con frecuencia por piezas nuevas en la EMI por defectos similares a los del eje de mando.

Existen diversas **ventajas** en la aplicación del cromado sobre piezas desgastadas, que hacen que este método de recuperación pueda tener amplia aplicación. [Efremov, N. N. (1975), Colectivo de autores (1993)]

- Es posible recuperar piezas sin afectar su estructura, sin deformaciones y con tensiones internas mínimas. El proceso se realiza con una temperatura inferior a 70°C .
- Precisión en la aplicación de espesores de hasta centésimas y milésimas de mm, por lo que los consumos de materiales son los estrictamente necesarios.
- Fuerte adherencia del recubrimiento al sustrato, a causa de la interrelación entre las redes cristalinas del metal base y el que se electrodeposita.
- Es posible hacer masivo el proceso con pocos recursos.
- La elección del material y el método de calefacción del baño no presenta dificultades.
- El electrolito no requiere filtración frecuente.
- El cromo liso y poroso posee alta dureza.

- El cromo poroso es resistente al rozamiento.

Limitaciones a tener en cuenta al seleccionar el proceso:

- No es recomendable ni económico la aplicación de grandes espesores.
- No es viable la aplicación de recubrimientos sobre superficies desgastadas por abrasión o impacto.
- Si la preparación es mala, el producto del cromado resulta defectuoso.
- Las capas gruesas de cromo son menos resistentes al rozamiento que las finas.
- Los materiales para el electrólito son más caros que para los baños de acero.
- El equivalente electroquímico muy bajo (0.323 gramos/amperios-hora).
- El rendimiento de la corriente es solamente de 12-14%.
- La intensidad de la corriente es relativamente alta.
- Bajo rendimiento del depósito (en una hora se obtiene una capa de 0.015-0.03 mm de espesor).
- Costo relativamente alto del cromado, sobre todo cuando se quiere obtener una capa gruesa.

El proceso de cromado consta de tres etapas importantes: proceso de preparación de la pieza para el cromado, cromado y elaboración de las piezas después del cromado.

Preparación de las piezas para el cromado. Es de vital importancia para obtener la calidad necesaria.

Consta de las siguientes operaciones:

1. rectificado de la pieza desgastada;
2. pulido;
3. lavado en gasolina;
4. aislamiento de los sitios que no se deben cromar;

5. montaje de las piezas sobre la suspensión;
6. desengrase y lavado de las piezas;
7. decapado de las piezas.

Aplicación del cromado

Ese proceso o etapa depende del tipo de cromado a aplicar.

Se distinguen dos clases de cromado: liso y poroso.

El cromado poroso no es recomendable para el caso que se estudia.

El cromado liso tiene tres clases de depósitos: blanco, brillante y opaco.

Los depósitos más duros y más frágiles son los opacos; su dureza alcanza 1000 Hv.

Los depósitos brillantes de cromo, poseen una dureza de 900 Hv.

Los depósitos blancos son plásticos y se engrasan bien en el rozamiento, son los más blandos (500-600 H).

Para elegir el régimen del tipo de cromado a depositar, hay que partir de las condiciones de trabajo de las piezas.

Las piezas que trabajan en ajustes inmóviles (por ejemplo, los árboles y los agujeros para los anillos exteriores de los cojinetes de bolas y de rodillos) se cubren con cromo brillante o mate.

Las piezas que trabajan con rozamiento, con altas presiones y fuerzas dinámicas variables, se recubren con cromo blanco, que se obtiene con una corriente de 20 a 30 amperios/dm² y 65-70°C del electrólito.

Para el cromado liso se recomienda la siguiente composición del electrólito:

$\text{CrO}_3 = 150 \text{ g/litro}$ y $\text{SO}_4\text{H}_2 = 1.5 \text{ g/litro}$;

$\text{CrO}_3 = 250 \text{ g/litro}$ y $\text{SO}_4\text{H}_2 = 2.5 \text{ g/litro}$

El cromo liso y duro es útil para los ajustes fijos pero para los ajustes móviles, no resulta muy bueno, puesto que se lubrica mal.

Proceso después del cromado

Consta de las siguientes operaciones:

1. Lavado en agua destilada.
2. Lavado en agua fría y caliente.
3. Desmontaje de las piezas suspendidas.
4. Calefacción de las piezas en un armario hasta la temperatura de 150-200°C para eliminar el hidrógeno de la capa de cromo y al mismo tiempo, para secar las piezas.

Control técnico

Después de secar las piezas se revisan cuidadosamente.

Durante la revisión, se prestará particular atención a la adherencia de la capa de cromo al metal de la pieza. La comprobación se efectúa golpeando ligeramente sobre la capa de cromo con un martillo de cobre.

Si la superficie no ofrece dudas, se realizan todas las mediciones, para determinar si se necesita la rectificación. Después del control, las piezas se rectifican si fuera necesario y se terminan si fuera necesario.

Después del rectificado y acabado se hace el control técnico definitivo de las piezas.

Revisión cuidadosa exterior, con el fin de determinar el estado de la capa de cromo.

Después se hacen las mediciones. Las dimensiones de la pieza deben corresponder a las exigencias técnicas para las piezas reparadas.

La empresa cuenta con instalaciones para la realización del cromado en la recuperación de piezas aunque no se encuentran activas, por lo que es factible la aplicación de este proceso que proporciona buenos resultados. La activación de las instalaciones permite extender y cubrir una gama de piezas importante.

El coeficiente de durabilidad de las piezas recuperadas por cromado en la mayoría de los casos pueden ser > 1 . [Colectivo de autores (1993), Acevedo Pérez, M. y Herrera Artiles, A. (2001)]

CONCLUSIONES

1. Los ejes de mando son fabricados de un acero 25CrMnMo con cementación en las superficies de alojamiento de los rodamientos y partes dentadas y temple volumétrico con revenido, con dureza en la superficies que alcanzan los 900 Hv a las que corresponden microestructuras martensíticas.
2. Los defectos típicos en el eje de mando de la caja de velocidad del camión ZIL 131 son: el desgaste (espesor $<0,05$ mm) en el extremo del eje que sirve de asiento al anillo interior de rodamiento de bolas, desgaste en el asiento del rodamiento de bolas que sirve apoyo al eje de mando en la carcasa o cuerpo de la caja de velocidad y desgaste en los extremos de los dientes rectos interiores que sirven de acoplamiento al disco dentado del sincrónico (sin posible solución por no existir equipamiento especializado). Las condiciones de trabajo son severas particularmente en cuanto a cargas y operación y en el caso del extremo del eje además por estar expuesto al medio exterior de la caja con difícil diagnóstico del grado de desgaste.
3. La tecnología de recuperación aplicada en la Empresa Militar Industrial de Sancti Spiritus mediante el recargue de las superficies por soldadura manual con electrodos revestidos E 6013 y E 7018 están lejos de satisfacer las solicitudes de la pieza. Los depósitos de ambos electrodos presentan microestructuras ferríticas con durezas promedios en la superficie de (220 – 225) Hv con el electrodo E 6013 y de (261 – 312) Hv con el electrodo E 7018. Independiente de esos resultados, es inadecuado el proceso de soldadura en este caso, toda vez que los espesores de desgaste a recuperar son inferiores a 0,05 mm, mientras que los espesores de desgaste que justifican la aplicación de ese proceso deben ser superiores a 1.0 mm y en casos particulares solo hasta 0,5 mm como mínimo.
4. Los procesos más recomendados para las solicitudes de la pieza y los espesores de desgaste, con posibilidades de acceso y aplicación por la empresa son: pieza suplementaria mediante casquillo anclado a la superficie por prensado y dos puntos opuestos de soldadura de fijación, cromado liso duro opaco y metalizado con polvos en caliente. Estos métodos pueden ser aplicados alternativamente en la empresa para una amplia gama de piezas con fallas similares a las del eje de mando.

RECOMENDACIONES

Valorar por la empresa las propuestas tecnológicas expuestas en el trabajo e introducirlas en el proceso de reparación de los medios de transporte para las diferentes piezas que presentan desgaste de espesores relativamente pequeños.

BIBLIOGRAFIA

1. Acevedo Pérez, M. y Herrera Artiles, A. (2001). Mantenimiento y Reparación de Máquinas y Equipos. Ed. UCLV 2001. 170pp.
2. Anónimo (2013). Tratamiento Térmico. En http://es.wikipedia.org/wiki/Aceros_tratados_t%C3%A9rmicamente. Consultada 20 de marzo de 2013.
3. Axén N. y otros. (2001), Modern Tribology Handbook. 2001.
4. AUTOEXPORT (1973). Camiones ZIL 130, ZIL 157K, ZIL 131. Ed. AUTOEXPORT. Moscú 1973.
5. Baranov I. A. (1999). Recuperación de los elementos de máquinas. 2da. Edición. Construcción de Maquinaria. Moscú. 1999. (En ruso)
6. BOHLER UTP (2000). Catálogo de materiales para soldar. BOHLER UTP, S.A. México. 2000.
7. Colectivo de autores (1991). Recuperación de piezas. Curso Nacional impartido por el Grupo Científico – Técnico Nacional de Recuperación de Piezas. Santa Clara. 1991.
8. Colectivo de autores (1993). Manual de Recuperación de Piezas. Ed. Científico Técnica. C. Habana, 1993.
9. Daquinta Gradaile, I. A. (2004): Mantenimiento y Reparación de Máquinas Agrícolas. Ed. Félix Varela. Ciudad de la Habana. 2004.
10. Dobrovolski V. y otros, (1970). Elementos de Máquina. Ed. “Mir” Moscu. 1970.
11. Guliaev, A. P. (1983). Metalografía. Ed. MIR, Moscú, 1983.
12. Efremov, V. V. (1975). Reparación de automóviles. Ed. MIR. Moscú, 1975.
13. Herrera Artiles, A. (1999): Mantenimiento y reparación de máquinas y equipos. (Apuntes para un libro) Editado en UCLV. 1999
14. Herrera Artiles, A. (2004). Reparación de motores de combustión interna y elementos de transmisión. Monografía. Postgrado. UPONIC. Nicaragua. 2004.

15. Herrera Artiles, A. (2005). Recuperación de piezas por soldadura y otros métodos (2da. Edición). Monografía Digital. Postgrado Maestría en Ingeniería del Mantenimiento. Editado UPONIC. Nicaragua 2005. 205 pp.
16. Herrera Artiles, y A., González, E. (2005). Tribología (Fricción Desgaste y Lubricación). Monografía Digital. Postgrado Maestría en Ingeniería del Mantenimiento. Editado UPONIC. Nicaragua 2005.
17. Herrera Artiles, A. (2006). Sistema Alambre – Fundente para la recuperación de árboles cigüeñales y otras piezas tipo eje mediante soldadura por arco sumergido. Tesis Doctoral. 2006.
18. Koshnov, N. (1988). Reparación de Automóviles. Tomo II. Ed. IPSJAE, La Habana, 1988.
19. Levitski, I. S. (1975). Tecnología de reparación de máquinas y equipos. Ed. “Kolos”. Moscú. 1975
20. MackAldener, M., (2001). Tooth Interior Fatigue Fracture & Robustness of Gears. 2001.
21. Manikov, Ju. (1998). Reparación de Automóviles. Segunda Edición. Ed. Construcción de Maquinaria Moscú. 1998. (En ruso).
22. Nápoles Torres, A (2010). Caracterización del conjunto sincrónico y engranajes de la caja de cambios de velocidades del camión ZIL 130 -131. Trabajo de Diploma. Tutor: Dr. Arnaldo Manuel Herrera Artiles. UCLV, 2010.
23. Wolpes Díaz, H. Material de aporte para el relleno de anillos sincrónicos de las cajas de velocidades del camión ZIL 130 y 131. Tesis en opción al grado de Máster en Ingeniería Mecánica. Tutor: Dr. Arnaldo Manuel Herrera Artiles. UCLV 2011.