

132
2eg



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

**RECUPERACION DE ELEMENTOS ROTATIVOS DE
TURBINAS DE VAPOR
MEDIANTE EL PROCESO DE METALIZACION**

TESIS PROFESIONAL

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

P R E S E N T A

LETICIA ARAGELI VARGAS SANTAMARIA

Director: ING. ANDREZ RUIZ MIJARES

MEXICO, D. F.

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

1991



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

INDICE

RECUPERACION DE ELEMENTOS ROTATIVOS DE TURBINAS DE VAPOR POR MEDIO DEL PROCESO DE METALIZACION.

| | |
|--|----|
| INTRODUCCION | 1 |
| Metalografía | 3 |
| Propiedades de los materiales | 7 |
| I. INTRODUCCION AL PROCESO DE ROCIADO POR MEDIO DE FLAMA | 13 |
| I.1 Breve historia | 17 |
| I.2 Descripción del proceso de rociado por medio de flama | 18 |
| I.2.A) Metalizado | 19 |
| I.2.B) Termo-rociado | 27 |
| I.2.C) Flama de plasma | 38 |
| I.3 Equipo utilizado | 41 |
| I.3.A) Metalización | 41 |
| I.3.B) Termo-rociado | 43 |
| I.3.C) Rociado por flama de plasma | 46 |
| II. TURBINAS DE VAPOR | 47 |
| II.1.A) Descripción | 47 |
| II.1.B) Generalidades | 47 |
| II.2 Partes principales de una turbina de vapor | 54 |
| II.2.A) Rotor | 54 |
| II.2.B) Estator | 55 |

| | |
|--|-----|
| II.2.C) Bastidor..... | 55 |
| II.2.D) Toberas | 55 |
| II.2.E) Sistemas Auxiliares | 56 |
| II.3 Materiales utilizados en una turbina de vapor.... | 63 |
| II.4 Tipos de turbinas de vapor..... | 64 |
| II.5 Fallas más comunes en una turbina de vapor..... | 66 |
| II.5.A) Escape de vapor | 66 |
| II.5.B) Variaciones en la velocidad | 67 |
| II.5.C) Movimiento axial del rotor | 68 |
| II.5.D) Lubricante contaminado con agua | 69 |
| II.5.E) Calentamiento excesivo de las chumaceras . | 69 |
| II.5.F) Vibración | 70 |
| II.5.G) Pérdidas de potencia | 71 |
| III. RECUPERACION DE ELEMENTOS | 72 |
| III.1 Preparación del elemento | 73 |
| III.1.A) Flujo de arena | 73 |
| III.1.B) Preparación mecánica | 75 |
| III.1.C) Preparación eléctrica | 76 |
| III.1.D) Preparación por premetalización | 78 |
| III.2 Selección del tipo de preparación | 79 |
| III.3 Materiales para rociar | 81 |
| III.4 Aplicación de los recubrimientos | 99 |
| III.4.A) Metalizado | 99 |
| III.4.B) Termo-rociado | 101 |
| III.5 Acabados Superficiales | 108 |
| III.6 Pruebas | 119 |
| IV. ESTUDIO ECONOMICO | 122 |
| IV.1 Costo de un elemento nuevo | 123 |

| | |
|---|-----|
| IV.2 Costo de recuperación por Metalización | 124 |
| CÓNCCLUSIONES | 132 |
| BIBLIOGRAFIA | 135 |

INTRODUCCION

Las características y propiedades de un material, que determinaron su utilización en el diseño de un elemento o de un mecanismo, deben ser conocidas, y consideradas cuando se realiza un trabajo de mantenimiento en el equipo al que pertenece.

Esto es importante, ya que existen propiedades independientes, que deben ser tomadas en cuenta para evitar posibles fallas capaces de provocar consecuencias de cuidado.

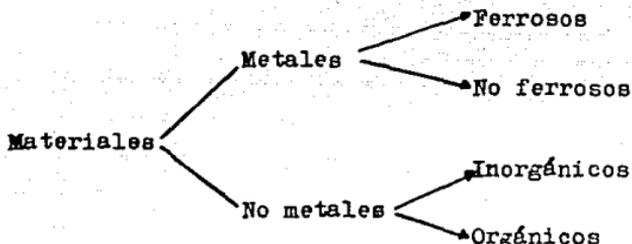
Lo anterior se basa en que frecuentemente en los talleres mecánicos se utilizan determinados materiales para trabajos de mantenimiento, sólo por el hecho de que estos están disponibles, son más baratos, o presentan algunas características similares a las del material original, que si bien, la mayoría de las veces resisten las condiciones de trabajo, otras fallan debido precisamente, a la selección del material.

Por otro lado, al analizar una falla y determinar el origen de la misma, es posible que el ingeniero de mantenimiento logre suprimir la posibilidad de otro percance de la misma naturaleza, reforzando o adecuando el mecanismo y/o

sus materiales originales.

Metalografía

En general, los materiales se pueden clasificar como sigue:



Los materiales más utilizados son quizá, los metales ferrosos; a estos pertenecen los aceros y las fundiciones.

Los metales no ferrosos son, por lo general, inferiores en resistencia a la tracción, pero superiores en resistencia a la corrosión, comparados con los metales ferrosos; son más costosos y sólo se usan cuando propiedades especiales los garantizan.

Los metales, en general, son usados en su forma sólida.

Todos los metales sólidos son de naturaleza cristalina, sus átomos se alinean a si mismos dentro de un modelo geométrico. Este modelo se repite y forma una malla en el espacio del material.

Al modelo geométrico bajo el cual se alinean los átomos, se le llama "celda unitaria", y existen diferentes tipos: cúbica de cuerpo centrado, cúbica de caras centradas y hexagonal compacta.

Algunos materiales sólidos tienen la propiedad de presentar diferentes estructuras cristalinas a diferentes temperaturas; a esta característica se le llama "alotropía", y dicho material podrá presentar propiedades diferentes, acordes a la estructura cristalina que posea, tales como: cambios dimensionales, color, transmisión de calor, distancias interatómicas, etc.

Ciertas características de un metal se pueden predecir hasta cierto grado por su estructura cristalina: la estructura hexagonal compacta, indica generalmente que el material es frágil; los metales con malla cúbica de cara centrada, son comúnmente más dúctiles.

Cualquier elemento añadido a un metal puro, altera la estructura cristalina, y dependiendo de la aleación formada cambiará el tipo de aquella. Los átomos del elemento añadido podrán tomar el lugar de ciertos átomos del metal base o solvente, formando una solución sólida sustitucional; o se acomodarán en los espacios (intersticios) entre los átomos del solvente, esto es, en solución sólida intersticial. Los compuestos intermetálicos se forman cuando ciertos metales se alean y la estructura cristalina se hace muy compleja. Tales compuestos funden a una temperatura fija y tie-

nen menor ductilidad, pero más alta resistencia y dureza que una aleación con cualquiera de las estructuras cristalinas conocidas. Ejemplos: Al-Cu, Cu-Mg, y Sn-Sb.

Cuando un metal solidifica, los átomos se acomodan geométricamente formando mallas. La formación inicial de la malla en un líquido que solidifica, da lugar a un núcleo para los cristales que crecerán en forma ordenada. Muchos de estos núcleos se forman en el líquido a medida que comienza la solidificación, y la dirección en la cual queda orientado cada uno de ellos es al azar. Cuando un cristal se pone en contacto con otro de diferente orientación, cesa el crecimiento de ambos, y la superficie donde concurren, irregular en su naturaleza, forma parte de un límite de grano.

El tamaño de grano de un metal depende del promedio de la velocidad de enfriamiento y de la extensión y naturaleza del calentamiento.

Un material con granos finos (pequeños) presentará mayor dureza y resistencia superior, comparado con el mismo material con granos grandes, así como menor ductilidad, ya que los límites de grano presentan un obstáculo para el deslizamiento. Los materiales de granos grandes se caracterizan por ser fácilmente maquinables, con conductividad térmica y eléctrica superior y con posibilidad de endurecerse más uniformemente durante un tratamiento térmico.

La dureza, así como el tamaño de grano y las caracte--

rísticas que implica en un material, están afectadas por la aplicación de temperatura.

Elevada temperatura y enfriamiento lento producirán - materiales con tamaño de grano grande; y temperaturas menos elevadas o con corto tiempo de aplicación y altas velocidades de enfriamiento, producirán materiales de grano pequeño.

Propiedades de los materiales

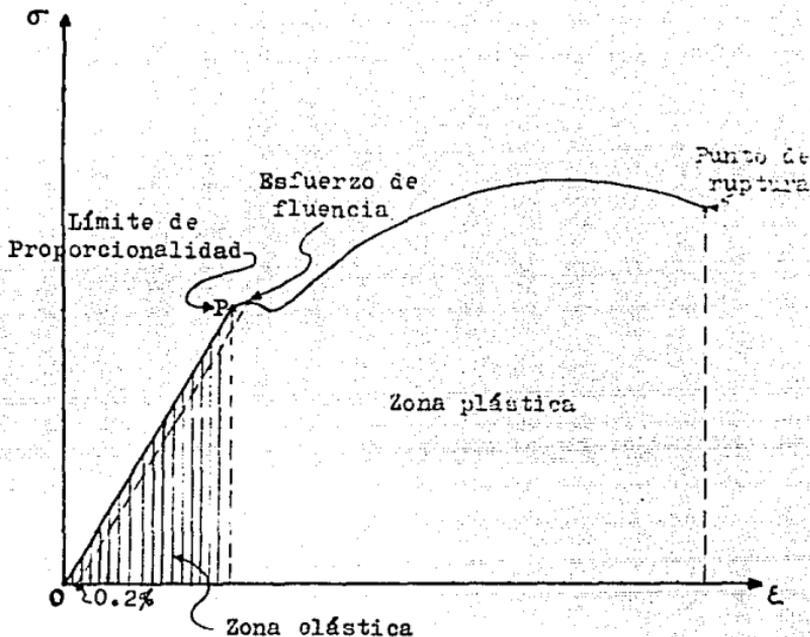
Es el conjunto de características de un metal o de una aleación, que determina su comportamiento durante el trabajo; entre ellas podemos mencionar: la densidad, la expansión térmica, la conductividad eléctrica, propiedades magnéticas, resistencia a la tracción, a la compresión, a la torsión, dureza, etc.

Resistencia a la tracción

La resistencia a la tracción se determina estirando una probeta maquinada en torno, de forma y dimensiones normalizadas; se tiene inicialmente un área seccional "A", en la parte central de la probeta, y dos pequeñas muescas "marcas de prueba" separadas entre sí una longitud "L". La probeta, sujeta firmemente por sus extremos, es estirada suavemente hasta lograr su ruptura; el área seccional de la sección de ruptura (garganta) será apreciablemente menor que al inicio de la prueba: "A₁", y la longitud medida entre las marcas de prueba se incrementa de "L" a "L₁". Durante el ensayo, a una carga determinada corresponderá una deformación; y colocando estos valores en una gráfica podemos obtener diversos parámetros que determinarán el comportamiento del material en circunstancias conocidas.

$$\text{Esfuerzo usado en Ingeniería} = \sigma = \frac{\text{Carga}}{A}$$

$$\text{Deformación usada en Ingeniería} = \epsilon = \frac{L_1 - L}{L}$$



Curva Esfuerzo-Deformación.

Módulo de elasticidad. Es la pendiente de la curva es fuerza-deformación en la zona elástica. Se utiliza para calcular la flexión de una pieza bajo una carga determinada. El módulo de elasticidad es una característica independiente de los materiales, es decir, su valor puede variar en materiales que coinciden en otras propiedades.

Límite de fluencia. Es el esfuerzo en el que se encuentra una deformación plástica convencional de 0.2 por ciento. El límite de fluencia es un valor muy importante en diseño; es conveniente explicar el significado de las palabras "convencional de 0.2 por ciento", cuando se somete a carga la probeta de tracción, se presentan dos tipos de de-

formación: elástica y plástica. La deformación elástica desaparece cuando se retira la carga, permaneciendo la deformación plástica (debida al flujo por movimiento cizallante de las planos de deslizamiento). Años atrás se creía que la barra se comportaba en forma elástica hasta cierto punto, llamado "punto de fluencia", y que de ahí en adelante comenzaba la deformación plástica. Sin embargo, después de cuidadosas mediciones de deformación y observaciones microscópicas, sabemos que la deformación plástica comienza con esfuerzos muy bajos. Una deformación plástica del 0.2 por ciento puede tolerarse en la mayoría de los usos en Ingeniería y se llama límite de fluencia al esfuerzo en el que esto ocurre.

Módulos de elasticidad para varios materiales metálicos.

| Material | Módulo de elasticidad lb/pulg ² X 10 ⁶ |
|--|---|
| Aceros | 30 |
| Aleaciones de Níquel | 26 a 30 |
| Aleaciones de Cobre | 15 a 18 |
| Aleaciones de Aluminio | 10 a 11 |
| Aleaciones de Magnesio | 6.5 |
| Hierro fundido dependiendo de la cantidad y tipo de grafito | 15 a 22 |
| Hierro dúctil, dependiendo de la cantidad de grafito | 22 a 25 |
| Hierro maleable, dependiendo de la cantidad de grafito | 26 a 27 |
| Molibdeno | 47 |
| Multiplique por 7.04 X 10 ² para obtener Kg/mm ² . | |

Esfuerzo de ruptura. Es el valor del esfuerzo (utilizado en Ingeniería) cuando ocurre la fractura.

Resistencia a la tracción. Es el esfuerzo máximo en la curva esfuerzo-deformación. Es un índice de la calidad del material.

Ductilidad. La ductilidad es una propiedad que permite a un material ser doblado, estirado, formado o permanentemente distorsionado sin ruptura. La prueba de tracción puede ser utilizada para obtener un índice de la ductilidad de un material, calculando el porcentaje de elongación de la probeta fracturada:

$$\% \text{ de elongación} = \frac{L_1 - L}{L} \times 100$$

Capacidad al impacto. Un material puede ser muy duro y tener alta resistencia a la tracción, y ser totalmente inaceptable para usos que involucren impactos o cargas súbitas. La prueba más ampliamente utilizada para determinar la resistencia al impacto de un material es la prueba Charpy; en la cual se utiliza una probeta rectangular, ranurada, asentada en un yunque y montada sobre un péndulo. La energía requerida para romper la probeta (mediante un golpe del péndulo) es una indicación de la resistencia al impacto del material.

Resistencia a la fatiga. El punto de fluencia de los materiales puede ser usado en el diseño de partes que estarán sometidas a una carga estática, pero para cargas cíclicas o repetidas, la resistencia a la fatiga es el parámetro

que se utiliza. La prueba de fatiga puede efectuarse cargando el elemento (probeta) y someterlo a esfuerzos repetidos. Generalmente, un determinado número de probetas de un mismo material son sometidas a esfuerzos y el número de ciclos que soportan se registra. En una curva de esfuerzos contra número de ciclos que soporta el material se define el área en la cual el material no presentará problemas por fatiga durante el trabajo.

Dureza. Es la resistencia a la penetración que presenta un material. Las pruebas de dureza se utilizan ampliamente para inspección y control. Cualquier tratamiento térmico efectuado en una pieza metálica, resulta en un cambio de dureza. Estas pruebas, generalmente se realizan imprimiendo en la muestra, que se encuentra en reposo sobre una plataforma rígida un marcador o indentador de geometría determinada, bajo una carga estática conocida que se aplica directamente o por medio de un sistema de palancas. La magnitud de la carga aplicada y la geometría del indentador dan lugar a diversos tipos de pruebas que determinan la dureza de un material; entre los más comunes se encuentran: Brinell, Rockwell y Vickers.

Prueba de dureza Brinell. El probador de dureza Brinell consta de una prensa hidráulica de operación manual con un marcador de bola de acero endurecido, que es forzado en la superficie de la muestra. El diámetro de la bola es de 10 mm y la carga es de 3000 Kg. El diámetro de la impresión es medido por medio de un microscopio y la lectura se toma en una escala de dureza directamente.

Prueba de dureza Rockwell. Se realiza elevando la muestra lentamente contra el indentador, hasta que se ha aplicado una precarga menor; luego se aplica la carga mayor a través de un sistema de palancas de carga. Se retira la carga mayor y se lee en el disco el valor de la dureza Rockwell con la precarga (carga menor) aún en acción. Este es el método más flexible, cuenta con dos probadores; uno superficial y estandar el otro; carga menor de 3 Kg y 10 Kg; indentadores: bolas de acero endurecido cuyos diámetros son de: $1/16$ ", $1/8$ ", $1/4$ " y $1/2$ "; y un marcador cónico de diamante de 120° ; cargas mayores: 60 Kg, 100 Kg y 150 Kg con probador normal, y 15 Kg, 30 Kg y 45 Kg con probador superficial. Cuenta con treina y dos escalas que resultan de la combinación entre indentadores y cargas. Las escalas más comúnmente utilizadas son:

B. Utiliza una bola de acero endurecido de $1/16$ " de diámetro y 100 Kg de carga.

C. Marcador de diamante y 150 Kg de carga.

Prueba de dureza Vickers. Utiliza un indentador piramidal de diamante, de base cuadrada con ángulos de 136° entre sus caras opuestas. Usa cargas de 1 Kg a 120 Kg. La impresión sobre la superficie de la muestra será un cuadrado, cuya diagonal, medida con un micrómetro ocular, dará la lectura correspondiente a la dureza del material.

Una dureza uniforme en diferentes partes del mismo material, usualmente indican que las propiedades mecánicas de las partes son idénticas.

CAPITULO I

INTRODUCCION AL PROCESO DE ROCIADO POR MEDIO DE FLAMA

Los materiales difieren ampliamente en sus propiedades físicas, sus características de maquinabilidad, su grado de conformación plástica en sus posibles índices de vida de servicio, etc. Un material podrá tener, por ejemplo, mayor resistencia a la tracción, otro, mejores propiedades para resistir la corrosión y/o las altas temperaturas de trabajo, y todavía otro podrá ser más económico. En el trabajo de los metales, el hierro es tal vez el elemento natural más importante. El hierro en estado puro tiene poco uso comercial, pero cuando se combina con otros elementos da lugar a diversas aleaciones convirtiéndose en el metal por excelencia de la Ingeniería. Los metales no ferrosos, incluyendo el cobre, estaño, zinc, níquel, magnesio, aluminio, plomo, y otros, -- juegan todos un importante papel, pues cada uno tiene propiedades específicas de trascendencia.

En el campo del mantenimiento es, principalmente, donde se presentan problemas de recuperación de partes desgastadas ya sea durante el trabajo o debido a holguras excedidas en el maquinado; con piezas que necesitan características especiales, tales como superficies capaces de resistir a la co

rosión por altas temperaturas y atmósferas o líquidos corrosivos; o cuando se necesitan recubrimientos para usos eléctricos (conductores o dieléctricos), o que actúen como barreras térmicas, etc.

Entre los métodos que se utilizan para la recuperación de elementos rotativos de máquinas dinámicas, tales como bombas, turbinas, generadores, etc., el recubrimiento de superficies con un metal es uno de los más comúnmente utilizados, ya que además de proporcionar mejoras definitivas en cuanto a lubricación y resistencia al desgaste durante el trabajo, dependiendo de los materiales utilizados y la forma de aplicarlos, mejoran la apariencia y el valor de venta aumenta en algunos artículos, y además proporcionan resistencia permanente a las influencias destructivas por contacto con la intemperie o con atmósferas corrosivas.

En general el proceso de recubrimiento consiste en la aplicación de un espesor finito de algún material sobre la superficie de otro material cualquiera, incluso madera o vidrio; o bien es la transformación de la superficie de un elemento por medios químicos o eléctricos que se aplican con el fin de lograr un óxido del metal original. Algunos procesos importantes se mencionan a continuación:

Galvanoplastia

Proporciona capas decorativas y protectoras. La mayoría de los metales pueden ser recubiertos por este método.

Comúnmente se deposita: níquel, cadmio, cobre, plata, zinc, oro y estaño. El objeto a ser recubierto, cátodo, se coloca en un tanque que contiene un electrolito adecuado; está constituido por una solución de sales del metal para recubrir, y se conoce también como ánodo. Se requiere una corriente eléctrica con voltajes de 6 a 24 Volts. Cuando la corriente fluye, el metal del ánodo (electrolito) pasa ionizado y se deposita en estado sólido sobre la pieza (cátodo).

Recubrimiento de Cromo

Proporcionan a la pieza recubierta resistencia al desgaste y la abrasión. Se manejan espesores desde 0.05 mm. Se utiliza un proceso electrolítico como en la galvanoplastia. El electrolito es ácido crómico saturado. Las piezas deberán permanecer en el tanque del electrolito durante varias horas para un recubrimiento grueso. Alcanza durezas de 500 a 900 en la escala de Brinell.

Galvanizado

Recubrimientos de zinc. Protege del deterioro atmosférico al acero de bajo carbono. Bajo costo, buen aspecto (mejora con pequeñas cantidades de estaño y aluminio), buena resistencia al desgaste. Espesores de 0.10 a 0.20 mm.

Estañado

Se aplica generalmente en láminas de acero usadas en la fabricación de recipientes para envasar alimentos. Se --

puede aplicar por electroestañado o por inmersión de la pieza en estado fundido a una temperatura de 300°C aproximadamente. El espesor de las capas de estaño por inmersión es de alrededor de 0.003 mm, en tanto que las láminas electroestañadas resultan de 0.0008 mm, con mayor porosidad.

Calorizado

Protege al acero contra la oxidación a temperaturas elevadas. Se esparce aluminio sobre la superficie metálica a altas temperaturas, formándose una película protectora de óxido de aluminio.

Rociado por medio de flama

El éxito del rociado o atomizado de metales, que son los procesos que nos ocuparán, se debe en gran parte a las propiedades obtenidas en la superficie, así como la forma rápida en que puede depositarse el metal. No se manifiesta distorsión en las partes recubiertas y tampoco se desarrollan esfuerzos internos. Prácticamente se puede aplicar cualquier metal a la superficie de otro metal cualquiera, incluso a otras superficies como madera o vidrio.

I.1 Breve historia

La técnica de los recubrimientos por medio del rociado de flama (se le da este nombre debido a que el material que constituye el recubrimiento es fundido y rociado a través de una llama), fué inventado en 1910 por un ingeniero suizo de nombre Schoop, quien hizo sus primeros experimentos rociando polvo de metal calentado sobre una superficie. Pocos años más tarde, se inventó la pistola de alambres, que vino a ser el prototipo de las pistolas metalizadoras actuales.

En estas pistolas, el material que va a ser rociado se alimenta mediante un mecanismo de avance automático y pasa a través de una flama formada por la combustión de una mezcla de gas combustible y oxígeno. Una corriente de aire comprimido estrecha la llama y sopla la punta fundida del alambre, produciéndose así un rocío de finas partículas de metal.

En el año de 1920 en los Estados Unidos se introdujo - el proceso de la metalización con la importación de la primera pistola de alambre "Schoop".

La pistola metalizadora es hoy en día, la herramienta principal de la industria moderna de los recubrimientos por medio del rociado de flama.

I.2 Descripción del proceso de rociado por medio de flama

Se conocen tres métodos:

- A) Metalización
- B) Termo-rociado
- C) Rociado por flama de plasma

Metalización

Es la proyección de metales fundidos cuya forma original es un alambre, fundidos en una flama de oxígeno y algún gas combustible (generalmente acetileno), y arrastrado por una corriente de aire comprimido hasta la superficie que se va a recubrir.

Termo-rociado

Los materiales que se atomizan por este método son -- metales, aleaciones o cerámicas en forma de polvo, y se funden mediante una flama de oxígeno y un gas combustible (acetileno o hidrógeno generalmente), que además proyecta el material sobre las superficies de trabajo sin que el aire comprimido sea indispensable.

Rociado por flama de plasma

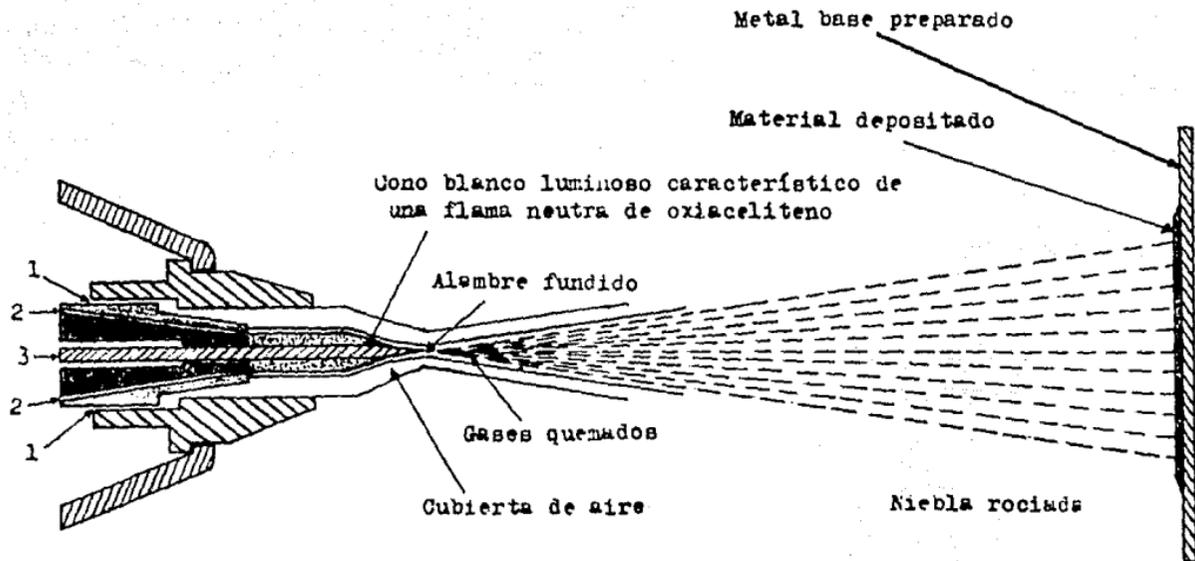
Es la proyección de materiales en forma de polvo (pueden ser metales, aleaciones o cerámicas), usando para la fusión del material una flama de plasma; sin aire comprimido. La flama de plasma es creada por disociación e ionización de gases, tales como nitrógeno, argón o hidrógeno, por medio de un arco eléctrico; se originan temperaturas hasta de 17 000°C.

I.2.A) Metalización

Muchos metales en forma de alambres, son atomizados con una pistola metalizadora de tipo oxiacetilénico, que consta de un soplete, en el que se realiza la mezcla del oxígeno y el acetileno (es el más comunmente utilizado, aunque también es posible usar otro gas combustible como hidrógeno, propano, gas natural, etc., con el consiguiente aumento del oxígeno necesario para lograr una flama neutra). Este soplete es similar en su funcionamiento al que se usa en el proceso de soldadura autógena, y tiene por objeto fundir el metal en forma de alambre que se va a rociar.

Lleva también la pistola una boquilla de aire comprimido, utilizada para pulverizar el metal fundido por la flama en el soplete; un mecanismo de avance del alambre, que generalmente consiste en una pequeña turbina de aire, cuya velocidad es regulable, y válvulas para el control del flujo de aire comprimido, de oxígeno, de acetileno y de la velocidad de avance del alambre. Algunas pistolas llevan además una válvula general de cierre para los tres fluídos utilizados.

En el proceso de rociado de flama con materiales en forma de alambre, el metal proyectado se adhiere a la superficie de la pieza que se metaliza de una forma puramente mecánica, y esta es incrementada por una adecuada preparación de la superficie que se ha de recubrir.



Vista seccional de la boquilla de una pistola para metalizar

Adherencia

Generalmente, la estructura del metal rociado será diferente a aquella que encontramos en los diferentes materiales de que están constituidas las piezas que se pueden metalizar.

Cuando una película de partículas de metal fundido es proyectada con la pistola metalizadora, estas golpean la superficie, se enfrían y se adhieren casi instantáneamente, formando una estructura ligeramente porosa de pequeñas partículas entrelazadas.

Cuando se recubren superficies de revolución exteriores, tales como flechas, mangas, etc., la película rociada se enfría y se contrae, originando así una unión firme entre el recubrimiento y la pieza metalizada. De la misma manera, cuando el recubrimiento es aplicado en diámetros interiores, la contracción del metal rociado debilita el enlace tendiendo a separar el recubrimiento; por tanto, debe tenerse mayor cuidado al preparar y rociar este tipo de superficies, donde es aconsejable precalentar las piezas con el objeto de que se dilaten y se compense la contracción del metal rociado.

Limpieza

Es muy importante que la pieza que se va a metalizar esté perfectamente exenta de grasa, polvo y óxidos,

En algunas ocasiones será necesario utilizar algún solvente para limpiar las piezas, para lo cual se recomien-

da usar: benceno, tolueno, tetracloruro de carbono, thinner, entre otros. No es pertinente usar aire, estopas o similares para secar el solvente, ya que el polvo, la pelusa o los hilos que se pueden quedar sobre la pieza ocasionan una mala adherencia del recubrimiento. Luego de que la superficie ha sido desengrasada, debe ser lijada y no tocarse para evitar ensuciarla nuevamente.

En algunos casos, como es el de piezas de hierro fundido, aún usando el mejor solvente es difícil retirar el aceite que se ha impregnado en el material. En estos casos será necesario quemar el aceite para que este no escurra -- cuando se esté metalizando el elemento, se calienta hasta una temperatura de 400°C aproximadamente, manteniéndose esta hasta que el aceite deje de escurrir y humear totalmente.

Importancia de la preparación

El tiempo que transcurre entre la limpieza, la preparación y el rociado de una superficie, es un parámetro que debe considerarse y tratar de minimizarse, especialmente si esta es metálica.

Cuando el material base es metálico, deberá rociarse antes que los fenómenos de oxidación se efectúen en la superficie, ya que esto impedirá que se logre un buen enlace con el metal depositado. Si el metal base es acero, y se tiene una atmósfera húmeda, la oxidación se dá con mayor facilidad, teniendo que aplicarse el revestimiento de dos a -

tres horas después de la preparación de la pieza. Ahora -- bien, si la atmósfera es muy seca, el metalizado se puede a plicar hasta veinticuatro horas después de la preparación.

Las características exhibidas por los recubrimientos metálicos bajo condiciones de servicio severas, han dirigido a un creciente número de fabricantes de diversos productos a considerar las ventajas y las propiedades especiales que el metalizado representa; y que pueden ser aprovechadas para mejorar la resistencia al desgaste, a la corrosión, a la abrasión, así como para bajar los costos de producción de los productos, dada la factibilidad de aplicar metales comparativamente caros en delgadas capas sobre áreas críticas conocidas; esto proporciona un soporte económico para impartir a los diseños ingenieriles, un vasto rango de propiedades particulares en partes específicas de los mismos, y materialmente incrementan su flexibilidad.

Ha de hacerse notar que para aplicaciones mecánicas, las características del material rociado no coinciden con las del alambre original. En general, el recubrimiento es más duro y más poroso que su equivalente fundido o estirado. Esta combinación de dureza y porosidad microscópica de la superficie que tiende a retener lubricante, resistiendo --- bien el desgaste la hacen ideal para el rodamiento o deslizamiento, por ejemplo.

Espesor de los recubrimientos

Teóricamente no hay un límite definido en cuanto al espesor que debe tener un recubrimiento por metalizado. Pero en la película rociada se llegan a crear esfuerzos internos; que algunas veces inducen elevados índices de contracción en el recubrimiento, haciendo que éste tienda a sufrir desprendimiento por elevación de los bordes en superficies planas, cuando ha sido colocado un metalizado con espesor indebido en un área muy extensa. Esta limitación es -- muy variable, dependiendo de los materiales y la aplicación del recubrimiento; y requiere de especial cuidado cuando se metalizan los bordes de grandes superficies planas, atendiendo a las especificaciones que en cuanto a espesores proporciona el fabricante del material que se va a rociar. Es importante hacer notar que estas consideraciones no se aplican en el metalizado de formas cilíndricas, cuyos espesores sean acordes a las especificaciones del material que se emplea.

Aplicaciones

Un ejemplo típico de la resistencia al desgaste ofrecida por los recubrimientos por metalizado se aprecia en su aplicación en rodamientos de precisión. Tolerancias extremadamente pequeñas dificultan el uso de rodamientos de bolas; consecuentemente se utilizan chumaceras bipartidas con ejes rectificadas, en máquinas dinámicas, tales como turbinas, bombas, turbogeneradores, etc. Las superficies de los rodamientos y de la flecha que tienen contacto presentan se

rios problemas de desgaste en poco tiempo; pruebas realizadas con varios materiales, no lograron prolongar suficientemente el tiempo en el cual las holguras de los rodamientos habían salido de especificación. En la refinería "18 de -- marzo" de Petróleos Mexicanos, este problema se ha resuelto metalizando las flechas de sus equipos en las áreas de los rodamientos y de los anillos de carbón, aplicando una capa a base de níquel y aluminio sobre la superficie debidamente preparada, como material adherente, que proporciona a la -- parte metalizada resistencia a la oxidación y a los cambios bruscos de temperatura; y sobre ella, un recubrimiento de a cero al carbono, maquinable, resistente al desgaste, autolybricado y capaz de mantener las tolerancias correctas entre la flecha y los rodamientos durante un año y medio aproximadamente; después de este tiempo, los equipos reciben mantenimiento general, durante el cual, si es necesario, se metalizan nuevamente para restablecer sus dimensiones especificadas.

Una aplicación basada en la excelente resistencia a -- la corrosión del aluminio, bajo costo y flexibilidad en --- cuanto a espesores de los recubrimientos (consideración importante, ya que la vida de un recubrimiento resistente a -- la corrosión es directamente proporcional al espesor del metal aplicado), se aprecia con la resolución de algunas em-presas fabricantes de equipo para la industria, de usar la metalización en el interior de las cubiertas de máquinas -- que basan su eficiencia en las estrechas tolerancias entre sus partes.

Después del montaje de una turbina, por ejemplo, se hace rotar lentamente hasta que los filos de los álabes han alcanzado su propia tolerancia con el interior de la cubierta, que ha sido metalizado con aluminio, que resulta ser -- muy suave pero con buena resistencia a la corrosión.

I.2.B) Termo-rociado

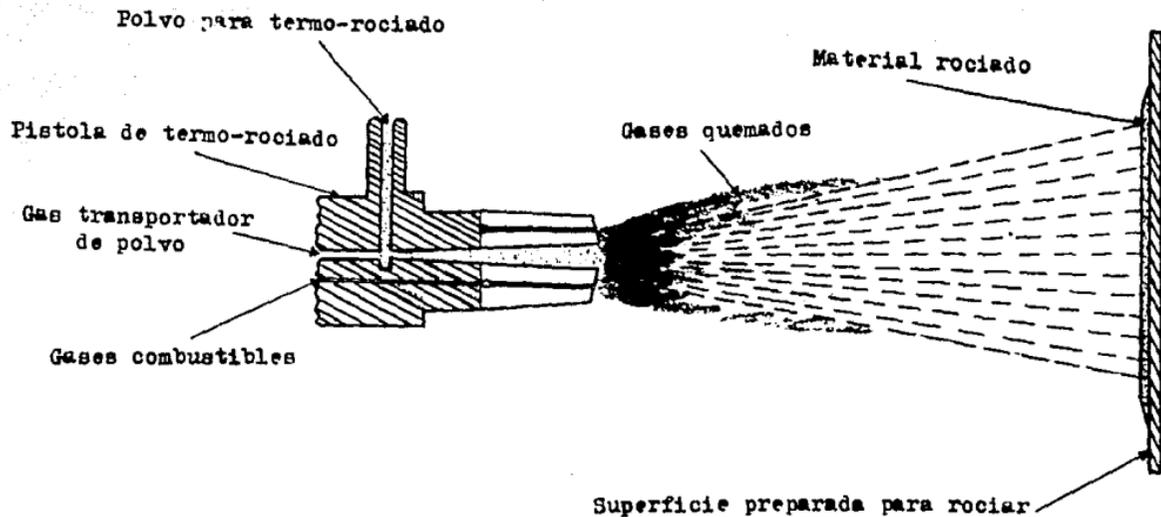
El proceso de rociado por medio de flama con materiales en forma de polvos, termo-rociado, es un método muy eficiente para la aplicación de recubrimientos duros; combina las ventajas del metalizado para pulverizar y aplicar el material con los de la soldadura durante la fusión del recubrimiento depositado, si el método utilizado es "en caliente"; o bien, se coloca una capa inicial de algún material exotérmico como "liga" entre el material de la pieza que se va a rociar y el recubrimiento final, si la aplicación del termo-rociado es "en frío".

El termo-rociado es un proceso rápido y hace posible la aplicación de recubrimientos metálicos, cerámicos y cerámico-metálicos (cermets).

Los recubrimientos se aplican con un ritmo de rociado de hasta 9.06 Kg/hr (20 libras/hora).

Una ventaja del método sobre los recubrimientos por soldadura, es que los materiales aplicados por termo-rociado son susceptibles de ser maquinados y acabados con rapidez; la capa que resulta es relativamente lisa.

Para la aplicación de los recubrimientos por medio de termo-rociado, se utiliza una pistola cuyo principio de funcionamiento es similar al de la pistola para metalizar, --- excepto en el sistema de conducción del alambre, la pisto-



Vista seccional de la boquilla de una pistola para termo-rocío

la de termo-rociado tiene, en la parte superior, un recipiente que contiene el polvo, que es alimentado por gravedad mediante una tolva a la mezcla de oxígeno y acetileno - (o algún otro gas combustible), donde es fundido casi instantáneamente; la flama posee la fuerza suficiente para transportar el material fundido a alta velocidad desde la tobera de la pistola hasta la superficie que se va a recubrir.

El uso del aire comprimido es opcional (la pistola de termo-rociado cuenta con las conexiones y ductos necesarios para utilizar el aire), y se usa generalmente cuando se tienen necesidades de enfriamiento rápido de las capas rociadas o para arrastre extra del polvo.

Recubrimientos fundidos

Este tipo de recubrimientos, dependiendo de los elementos de aleación, tienen temperaturas de fusión de 960 a 1200°C aproximadamente; y se aplican con el método de termo rociado "en caliente", obteniéndose "ligas" metalúrgicas entre las superficies recubiertas y los materiales aplicados.

Este procedimiento se puede emplear sobre aceros al carbono, aceros aleados, aceros inoxidables, hierro colado, aleaciones de níquel y de cobre, siempre y cuando el punto de fusión de estos sea superior al del polvo seleccionado.

En casos de piezas susceptibles de sufrir torsión, es

recomendable usar la técnica del proceso "en frío".

Los recubrimientos rociados y fundidos de aleaciones auto-fundentes (recubrimientos fundidos) no tienen poros.

Otro criterio importante para establecer la posibilidad de recubrir piezas mediante el proceso de termo-rociado "en caliente", es la condición de que éstas no tengan superficies tratadas térmicamente.

La aplicación de los materiales en el proceso de termo-rociado "en caliente" se realiza después de una adecuada preparación de la superficie, misma que ha sido previamente desengrasada, nivelada en torno o con esmeril y precalentada. La aleación se atomiza para lograr un revestimiento pa-rejo y uniforme sobre casi cualquier contorno; la aplicación puede llevarse a cabo manual o mecánicamente.

Al decidir el espesor del recubrimiento, deberá tenerse en cuenta que la capa de material aplicado se contraerá aproximadamente en un veinte por ciento.

Fusion

La segunda etapa de este proceso consiste en calentar la capa depositada cuidadosamente hasta "fundirla".

Para recubrimiento de piezas rotacionalmente simétricas por este procedimiento, tanto la aplicación como la fu-

sión deberán llevarse a cabo en un dispositivo o herramienta giratoria apropiada. Piezas grandes o de geometría complicada también pueden ser fundidas en hornos de gas o eléctricos después de haber aplicado el polvo seleccionado.

Empleando alguna de las técnicas mencionadas, se eleva la temperatura de la pieza hasta un rango en el cual los materiales del recubrimiento adquieren una consistencia pastosa sin llegar a la fase líquida, ya que esto ocasionaría deformación de la capa aplicada.

Los recubrimientos de aleaciones rociadas y fundidas, en general, tienen un bajo coeficiente de fricción. Incluyen aleaciones a base de níquel, de cobalto y los recubrimientos con carburo de tungsteno y cobalto dentro de una matriz fundida de cromo-níquel.

La gama de durezas de estos recubrimientos varía entre 30HRC y 62HRC. La dureza del carburo de tungsteno es de 75HRC.

Características

Estos recubrimientos resisten el desgaste producido por granos abrasivos, superficies duras en contacto, cavitación, erosión y corrosión química. Además presentan la llamada "dureza caliente"; esto es, que un recubrimiento fundido resulta tan duro a 650 °C (1200°F), como a temperatura ambiente.

El desgaste aumenta cuando los productos de la corrosión se desprenden tan rápido como se forman, estos recubri

mientos presentan características que los hacen comparables con los aceros inoxidable y otras aleaciones con alto contenido de níquel.

Recubrimientos exotérmicos

Un grupo de materiales compuestos de níquel y aluminio, cobalto, boro, silicio, carbono, carburo de tungsteno y carburo de cromo ofrecen una combinación de propiedades muy útiles.

Por ejemplo, el compuesto a base de níquel y aluminio produce capas de base para otros recubrimientos termo-rociables debido a sus características de autoadherencia, cuya resistencia a la tracción oscila alrededor de 3 100 libras/pulgada cuadrada (218 Kg/cm^2). La superficie de este tipo de recubrimientos es idealmente áspera; un recubrimiento de otro material aplicado sobre éste, se adhiere fuertemente. La fuerza de cohesión interna de estas aleaciones es también muy alta; una típica resistencia a la tracción es de 808 Kg/cm^2 (11 500 libras/pulgada cuadrada). Estas fuerzas de adherencia y resistencia a la tracción, se pueden obtener con un mínimo de técnica de operación durante el proceso de rociado.

La superficie que se va a rociar deberá ser preparada antes de comenzar la aplicación, limpiando y desengrasando, nivelando y maquinando o soplando un chorro de arena para obtener una superficie áspera.

Después de la preparación, se precalienta la superficie de 100 a 250°C aproximadamente, y se procede a depositar una capa de adherencia, la cual debe alcanzar un espesor de 0.1 a 0.2 mm para lograr un buen depósito durante la aplicación posterior.

Los recubrimientos autofundentes de carburo de tungsteno tienen una excelente resistencia al desgaste; capas de poco espesor y de alta integridad pueden ser producidas con una mezcla de 50 por ciento de carburo de tungsteno y un agregado de 12 por ciento de cobalto con una aleación autofundente de níquel y aluminio. El níquel y el aluminio reaccionan exotérmicamente cuando se rocían, lo que permite semifundir la aleación y aprisionar así las partículas de carburo de tungsteno. Como resultado se obtiene un recubrimiento duro y denso, con gran resistencia al desgaste, alta fuerza de adherencia y alta dureza aún a temperaturas elevadas. Pueden ser rectificadas (piedras de carburo de silicio) para darles un acabado muy liso.

La capa final es iniciada y continuada hasta obtener el espesor deseado.

A diferencia del proceso "en caliente", los recubrimientos rociados con polvos exotérmicos no requieren de un tratamiento térmico posterior. La temperatura máxima de la pieza no debe exceder de 250°C durante el rociado; de ser necesario, la operación de rociado debe ser interrumpida si

la pieza de trabajo ha sobrepasado esta temperatura, para ser enfriada, empleando aire comprimido libre de polvo y de agua o aceite.

No se presentan problemas de distorsión en las piezas rociadas. Con este proceso también es factible recubrir -- piezas de materiales como cerámica o vidrio.

Recubrimientos Cerámicos

Los materiales para la aplicación del proceso de termo-rociado, incluyen óxidos cerámicos micropulverizados. Esos polvos pueden aportarse fácilmente con la pistola metalizadora sin necesidad de accesorios adicionales.

Cuando se rocían por llama los óxidos de cerámica, -- presentan una amplia gama de características que los hace -- muy útiles como materiales de Ingeniería. Como en otros -- procesos, después de una adecuada preparación de la superficie, se ejecuta la "metalización" aplicando el polvo seleccionado.

Los recubrimientos de óxidos cerámicos son resistentes al desgaste producido por granos abrasivos, deslizamiento de superficies duras y por erosión por partículas inmersas en un fluido; además soportan la corrosión química y la oxidación; resisten metales en estado líquido sin sufrir deformación y presentan propiedades dieléctricas.

Generalmente, las piezas mecánicas son expuestas a diferentes factores que causan desgaste, y en algunos casos a condiciones severas de operación. Como resultado, el uso de recubrimientos cerámicos se está difundiendo ampliamente por ingenieros de diseño y de mantenimiento en diversos equipos. Ellos están comprobando que este tipo de recubrimientos pueden proteger esas piezas de cualquier combinación de factores de desgaste, tales como:

Abrasión: Partículas abrasivas atrapadas entre dos superficies en contacto.

Fricción: La falta de lubricación adecuada entre superficies sujetas a deslizamiento.

Erosión: Las partículas sólidas abrasivas que son arrastradas con alta velocidad por líquidos o gases en movimiento.

Corrosión: Las cerámicas no se oxidan por ambientes húmedos o por exposición a altas temperaturas.

Resisten bien a la oxidación térmica y al calor. Las técnicas de rociado pueden mejorar la resistencia al calor de estos recubrimientos; por medio de variaciones en los parámetros de aplicación, se pueden obtener recubrimientos más blandos, que tienen mayor capacidad aislante y son usados como barreras térmicas. La capacidad de absorber o reflejar la energía calorífica influye sobre la temperatura de la superficie; los recubrimientos de este tipo son, en -

general, buenos reflectores.

Las cerámicas se usan actualmente para proteger piezas como canales de colada de hierro fundido, crisoles, moldes para aluminio y cobre, etc.; en estas aplicaciones los recubrimientos no son afectados por el contacto con el metal fundido. Los recubrimientos de alúmina se recomiendan como aislantes eléctricos para bajos voltajes. Una capa de alúmina rociada resiste un voltaje de hasta 80 Volts por cada milésima de pulgada de espesor.

Cuando se depositan capas muy finas, los polvos de óxidos cerámicos se pueden suministrar directamente al material base sin utilizar la capa de adherencia.

Aplicaciones típicas de los recubrimientos aplicados por -- Termo-rociado.

La variedad de materiales que pueden aplicarse con este método, permite obtener recubrimientos con una diversidad de propiedades y un alto número de combinaciones de ellas, por ejemplo:

Recubrimientos que resisten el desgaste producido por empaquetaduras o sellos mecánicos, partículas, gases o líquidos abrasivos, pueden aplicarse en émbolos, sinfines, aletas de ventiladores, impulsores de bombas, etc.

Recubrimientos resistentes al desgaste causado por --

deslizamiento continuo, rodamiento o impactos por cavita---
ción en el flujo de un líquido y que no varíen sus dimensio
nes mientras sirven como guías, pueden aplicarse en: banca
das de tornos, rodetes de turbinas hidráulicas, anillos de
desgaste, ect.

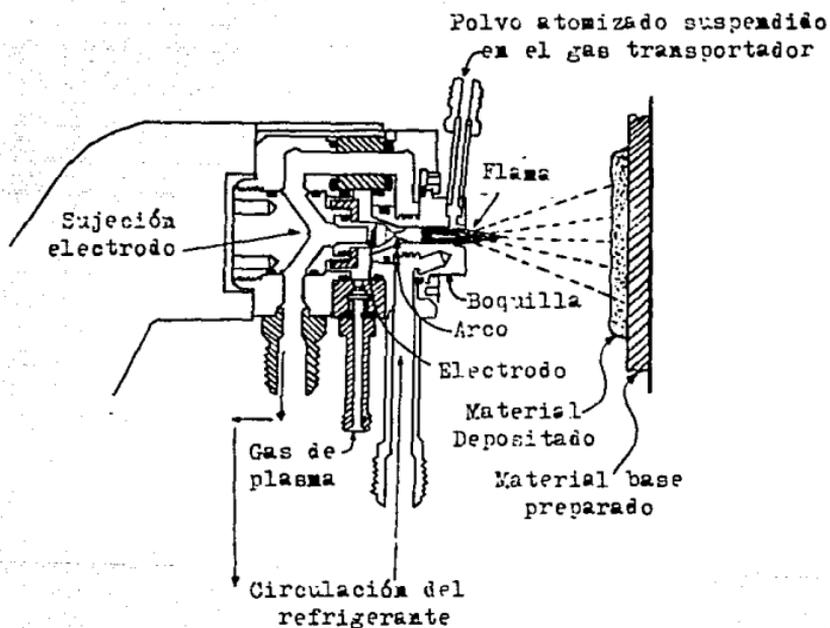
Recubrimientos que resisten el desgaste causado por -
partículas agudas y/o duras que se mueven con alta veloci--
dad inmersas en un fluido, se aplican en extractores, colec
tores de polvo, asientos de válvulas de descarga, etc.

Recubrimientos que forman barreras térmicas, que evi
tan la oxidación a altas temperaturas y resisten la acción
de metales fundidos durante su procesamiento; se aplican --
por ejemplo, en: montajes para tratamientos térmicos, válvu
las de escape automotrices, canales de colada en fundicio--
nes, crisoles, etc.

Recubrimientos para control de sellos y tolerancias;
permiten tener una abrasión controlada cuando la capa rocia
da se pone en contacto con otra superficie. Su función es
proveer de sellos altamente eficientes a máquinas acciona--
das por gas a presión o cuya eficiencia depende de un esca
pe mínimo de fluidos; se desgastan cuando hacen contacto --
con una superficie de unión formando un sello óptimo, sin -
transferir material a ésta, se aplican en cubiertas de equi
pos con componentes rotativos, como en turbinas, entrada y
salida de compresores de motores de reacción, etc.

I.2.C) Rociado por flama de plasma

En la figura se muestra un corte de una pistola atomizadora con flama de plasma.



PISTOLA ATOMIZADORA PARA ROCIADO POR MEDIO DE
FLAMA DE PLASMA.

Se hace pasar a través de un arco eléctrico un gas, - nitrógeno, argón o hidrógeno; ocasionando que se ionice elevando su temperatura hasta 17000°C aproximadamente. El material, en forma de polvo que se va a rociar, se introduce en la corriente de gas, se funde y es rociado sobre el objeto que se va a recubrir. La corriente de gas que abandona la boquilla a alta velocidad, se conoce como "chorro de plasma" o corriente de gas conductor ionizado.

El proceso de rociado con flama de plasma es similar al proceso de termo-rociado. Debido a las temperaturas extremadamente altas que se pueden lograr con este método, el soplete de plasma es particularmente útil en el rociado de metales y aleaciones cuya temperatura de fusión es muy alta como por ejemplo, los refractarios cerámicos.

Entre los materiales que se pueden aplicar usando este método, se incluyen: el tungsteno, el óxido de circonio, cobalto, cromo y óxido de aluminio.

Las propiedades físicas y metalúrgicas de los recubrimientos aplicados con este método, son diferentes de las que se obtienen con otros métodos de rociado de flama: menor porcentaje de porosidad, mejor resistencia a los esfuerzos de tracción, menor contenido de óxidos en el caso de los metales y alta densidad, entre otras. La densidad de este tipo de recubrimientos se aproxima al 98 por ciento de los valores teóricos de los materiales rociados. Por ejemplo, el tungsteno puro y el carburo de tungsteno pueden ser aplica-

dos sobre casi cualquier material con densidades de 95 por ciento aproximadamente.

Aplicaciones

Los usos principales de los recubrimientos aplicados con este método, podemos encontrarlos en los conos de las toberas de los cohetes y partes sujetas a extremas condiciones térmicas, como crisoles para materiales de alto punto de fusión.

I.3 Equipos utilizados en el rociado de flama

La instalación mínima del equipo que proporciona las condiciones necesarias de funcionalidad y seguridad para la aplicación de los recubrimientos por medio del rociado de flama exige lo siguiente:

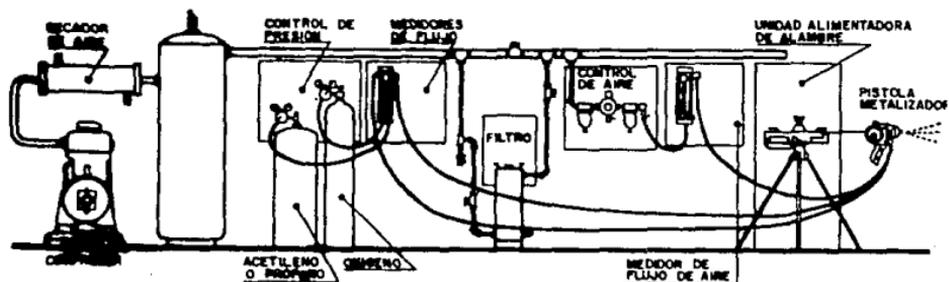
- 1.-Un compresor.
- 2.-Un depósito de aire.
- 3.-Una unidad de control de aire, con filtro y regulador de gasto.
- 4.-Dos cilindros de acero; uno de oxígeno y uno de acetileno (o algún gas combustible).
- 5.-Cabezal de gases; incluye medidores de gasto de oxígeno y de gas combustible.
- 6.-Reguladores de presión del oxígeno y del gas combustible.
- 7.-Pistola de rociado por medio de flama, con sus respectivas mangueras y conexiones.

Existe una gran variedad de accesorios que se emplean en los diferentes métodos de rociado, así como para la aplicación de diversos materiales y los tipos de trabajo que se requiere realizar.

I.3.A) Metalización

Básicamente, los equipos que se utilizan con este método, son los que se han mencionado anteriormente, además -

de una mesa desenrolladora, enderezadora y alimentadora de alambre.



INSTALACION COMPLETA PARA METALIZACION.

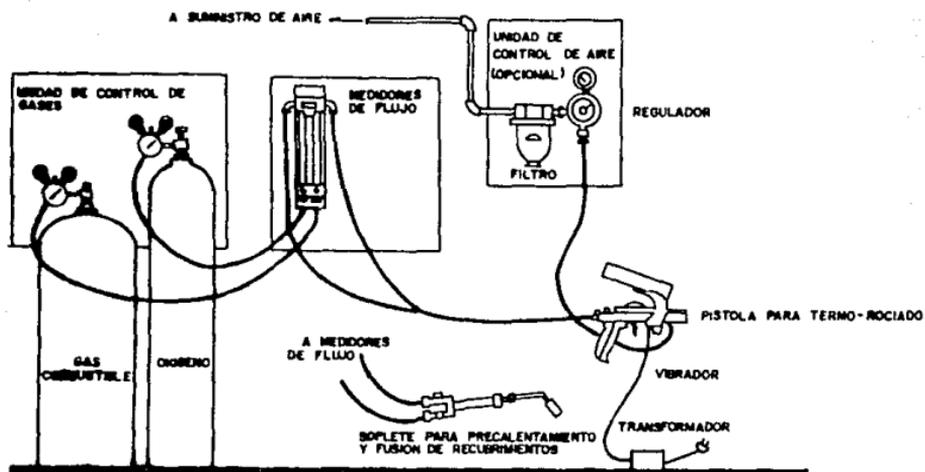
La pistola que se utiliza en este proceso consta de - un soplete, generalmente de tipo oxiacetilénico, en el cual se realiza la mezcla de gases y la combustión de los mismos, una boquilla para el aire a presión que pulveriza el metal fundido en el soplete, un mecanismo para el avance del alambre, constituido por una pequeña turbina de aire de velocidad regulable, con engranes estándares, que permiten obtener velocidades de 0.45 a 6.0 m/min; se dispone además de - un juego de engranes de alta velocidad fácil de instalar, - para proyectar alambres de bajo punto de fusión, con velocidades aproximadas de 13.5 m/min; la pistola estándar es ap-

ta para trabajar con alambres de 3.175 mm (1/8") de diámetro, pero se dispone de boquillas para trabajar cualquier medida de alambre entre 4.762 mm (3/16") y 0.825 mm (1/32") de diámetro; en la caja de engranes va incorporada una bomba para la circulación del aceite lubricante; además, la pistola está equipada con válvulas de regulación del paso de aire, oxígeno y gas combustible, así como con una válvula general capaz de bloquear el paso de los tres fluidos a la vez; guías para el alambre y rodillos conductores, y soportes especiales para adaptarla en dispositivos como el torno, por ejemplo.

Mangueras { Aire; 3/8" de diámetro.
Oxígeno y gas combustible; 3/16" de diámetro.

I.3.B) Termo-rociado

En este tipo de proceso, el uso del aire comprimido es opcional, por tanto, la instalación del compresor, tanque y demás accesorios concernientes al mismo, también lo son, aunque es recomendable tener acceso a este fluido por su gran utilidad durante la limpieza y la preparación de las piezas que han de ser rociadas; además, se utiliza el aire cuando se requiere enfriar piezas durante una aplicación continua, o cuando es necesaria una mayor velocidad de rociado.



INSTALACION PARA PROCESO DE TERMO-ROCIADO

Puede emplearse un equipo de soldadura oxiacetilénica que cuente con lo siguiente: dos cilindros, uno para el oxígeno y uno de acetileno; cada uno con regulador de presión y válvulas o dispositivos de seguridad para prevenir retrocesos de flama. Una línea de aire comprimido (opcional) con regulador de presión, separadores de agua y aceite; mangueras altamente flexibles de conexión rápida, dispositivos de seguridad y reductores de presión modificados para diferentes gases (gases inertes, no combustibles, para transportación de polvos), pueden adquirirse cuando sea requerido, y conectarse en el niple para este fin, localizado en la parte posterior de la pistola para termo-rociado.

La instalación deberá contar además, con un equipo --- destinado para la fusión de los recubrimientos que así lo requieran.

La pistola utilizada para el proceso de termo-rociado es similar en principio a la que se utiliza para la metalización con alambres; cuenta con un soplete, en el cual se mezclan el oxígeno y el gas combustible y se funde el material, que es alimentado por gravedad (en forma de polvo), desde un depósito localizado en la parte superior de la pistola, y es arrastrado por la misma flama y por una corriente de aire o de algún gas utilizado para este propósito. La pistola cuenta además con un dispositivo vibrador que previene y evita la obstrucción del ducto alimentador de polvo.

Accesorios.

Para rociado dentro de huecos profundos y/o sobre diámetros interiores se utiliza una unidad de extensión que usa una boquilla normal. El aire de enfriamiento sale del cuerpo de la pistola, pasa a través de la extensión y sale por el extremo para proveer de una pantalla de aire fresco alrededor de la llama. De esta manera se pueden proyectar recubrimientos continuamente sobre pequeños diámetros y cavidades profundas; no hay necesidad de suspender la operación para dejar que la pieza se enfríe. Las extensiones vienen en largos de 305 a 610 milímetros.

I.3.C) Rociado por flama de plasma

Equipos necesarios para un sistema de plasma:

- 1.-Fuente de potencia: 100 Volts y 500 Amperes C.D.
- 2.-Juego de cables y mangueras para el sistema de enfriamiento con agua.
- 3.-Cerebro electrónico.
- 4.-Equipo alimentador de polvo.
- 5.-Pistola.

Generalmente se usa hidrógeno para el arrastre del - -
polvo.

Temperaturas durante el rociado hasta de 16 600°C

CAPITULO II

TURBINAS DE VAPOR

II.1.A) Descripción

Una turbina de vapor es una máquina fluidodinámica -- (que sirve para intercambiar energía de un medio fluido en movimiento a un sistema mecánico).

El intercambio de energía se realiza en base a fuer-- zas dinámicas que se desarrollan entre el fluido en movi--- miento (vapor de agua) y las partes móviles de la máquina.

II.1.B) Generalidades

Fué a principios de este siglo cuando la turbina de - vapor empezó a tener uso comercial, a estas fechas es evi-- dente que la turbina ha sustituido a la máquina de vapor en innumerables aplicaciones, principalmente en la generación - de energía eléctrica.

Por los años de 1884 a 1889, De Laval construyó peque ñas turbinas que trabajaban a grandes velocidades, de 1000 a 6000 rpm y con potencias de 1 a 100 HP.

El inglés C. A. Pearson y el abogado norteamericano -

C. G. Curtis desarrollaron las turbinas de reacción e impulso respectivamente; el primero patentó todos sus diseños, - mientras que Curtis vendió los suyos a la General Electric Co.

Inicialmente se desarrollaron las turbinas con eje -- vertical, pero posteriormente, las turbinas horizontales do minaron universalmente.

En 1903 se construyó y puso en servicio una máquina - de 5000 KW ; en 1910, una de 12 000 KW (en Estados Unidos). En 1914 se instaló una máquina de 20 000 KW, aún vertical. En 1930, la General Electric Co. y Westinghouse construyeron máquinas de 50 000 KW; para 1948 se tenían turbinas de vapor 208 000 KW y en 1950 de 360 000 KW. Hoy en día se -- construyen máquinas superiores en potencia y eficiencia.

Principio de funcionamiento de las turbinas de vapor.

En las turbinas de vapor existe una doble transformación de energía; primero, la energía interna del vapor de a gua es transformada en energía cinética, debido a la expansión ocurrida durante su paso por las toberas; luego, la energía cinética se transforma en trabajo en los álabes del rotor de la turbina.

La cantidad de energía que el vapor tiene para ser -- convertida en trabajo, depende de su presión y temperatura iniciales y de la manera como se expande para alcanzar las

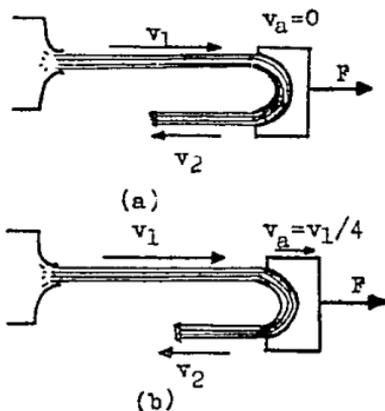
condiciones de presión y temperatura a la salida de la turbina.

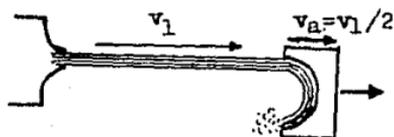
De acuerdo a lo anterior, las turbinas de vapor se -- clasifican en:

- a) Turbinas de impulso $\left\{ \begin{array}{l} \text{-Pasos de velocidad} \\ \text{ (Curtis)} \\ \text{-Pasos de presión} \\ \text{ (Rateau)} \\ \text{-Combinación C-R} \end{array} \right.$
- b) Turbinas de Reacción
- c) Turbinas de Impulso-reacción

II.1.B.a) Turbinas de Impulso

En las turbinas llamadas de "impulso", las toberas hacen que el vapor fluya formando chorros de alta velocidad. Las toberas se encuentran fijas. El chorro de vapor choca contra las aspas, que al moverse, realizan trabajo, de esta manera, la energía cinética del vapor se convierte en trabajo mecánico, que es entregado en la flecha de la turbina.





(c)

De la figura anterior, en el esquema (a), el chorro de vapor ejerce una fuerza máxima sobre el aspa que está fija, pero no se realiza trabajo porque el aspa no tiene movimiento. En el esquema (b), el aspa puede moverse, por lo que el chorro regresa con menor velocidad y la fuerza F se reduce. En el esquema (c), la velocidad del aspa es la mitad de la velocidad del chorro de vapor, y es cuando se obtiene la mayor cantidad de trabajo; la fuerza será la mitad de la máxima F , que es cuando el aspa no se mueve, la velocidad de salida del chorro es cero, ó sea que toda la energía cinética del vapor se transforma en trabajo.

Cuando los álabes (aspas) de una turbina son operados con velocidad periférica igual a la mitad de la velocidad del vapor al salir de la tobera, se presentan dos serios problemas:

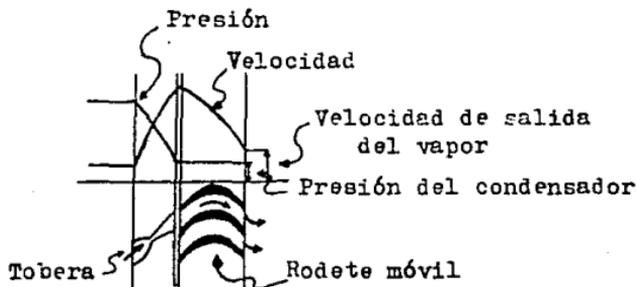
- 1) Los esfuerzos en el rotor pueden llegar a ser muy elevados.
- 2) La velocidad puede llegar a ser excesiva para conectarse directamente a una máquina, haciéndose necesario el uso de reductores de velocidad.

Para reducir la velocidad periférica de la turbina, se pueden emplear varios pesos en la misma:

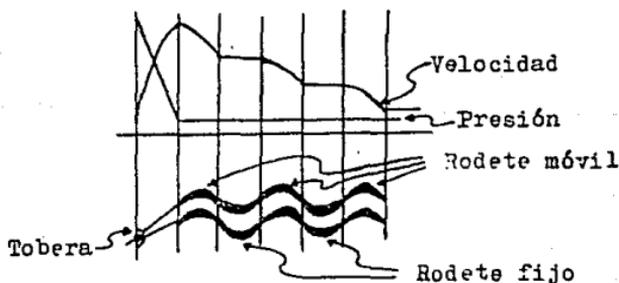
i) Pasos de velocidad (Curtis)

ii) Pasos de presión (Rateau)

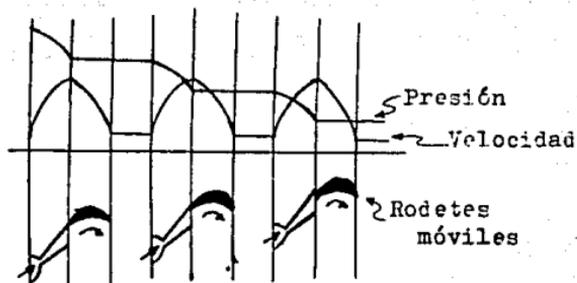
La transformación de energía puede ser mayor en un paso de velocidad que en un paso de presión, obteniéndose menos pasos y construcción más barata, pero menor eficiencia que en el sistema Rateau (pasos de presión).



Turbina de impulso de un sólo paso



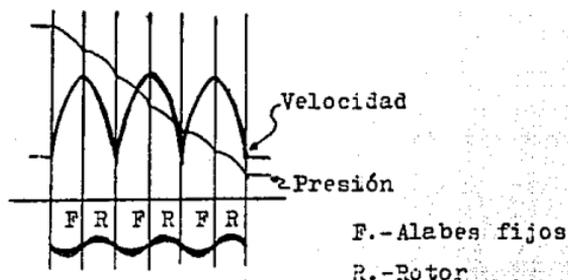
Turbina de impulso. Pasos de velocidad (Curtis)



Toberas
Turbina de impulso. Pasos de presión (Rateau)

II.1.B.b) Turbinas de reacción

En las turbinas de reacción, ocurre una caída de presión, tanto en los álabes móviles como en los álabes fijos, y la expansión del vapor ocurre en las áspas móviles.



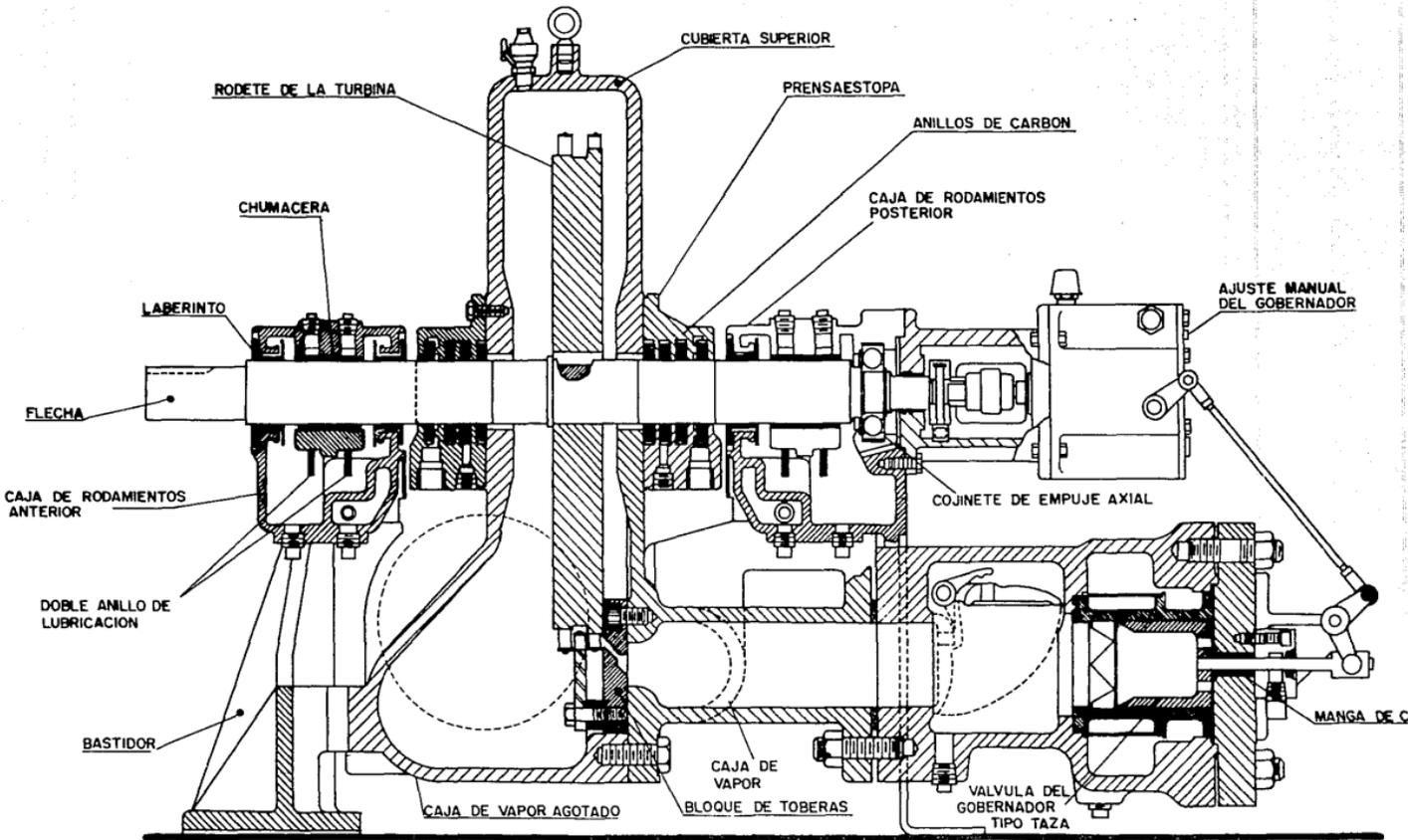
Expansión del vapor en una turbina de reacción.

El vapor entra a la rueda fija, en donde ocurre una caída de presión, al pasar por las áspas móviles, la presión vuelve a decrecer. La velocidad que el vapor gana en

la rueda fija es absorbida en las áspas móviles. El chorro, aún con velocidad residual, es dirigido a la siguiente rueda fija, con otra caída de presión y el consecuente aumento de velocidad. En las áspas móviles se realiza una expansión considerable.

Las turbinas de reacción requieren más ruedas que las turbinas de impulso para una misma capacidad.

Las pérdidas de presión en las turbinas de reacción, son menores que en las de impulso, debido precisamente a -- que la velocidad del vapor es menor; por la misma razón, la erosión es menor, y los álabes son generalmente de construcción más ligera. El inventor de este tipo de turbinas fué Sir Charles A. Parsons.



PARTES DE UNA TURBINA DE VAPOR.

II.2 Partes de una turbina de vapor

Una turbina de vapor, está constituida por cuatro partes fundamentales y varios sistemas auxiliares:

- A) Rotor o elemento giratorio, en el cual van montados los álabes.
- B) Estator (carcaza que aloja al rotor).
- C) Bastidor (soporte de la turbina).
- D) Toberas, usualmente fijas al estator.
- E) Sistemas auxiliares o complementarios:
 - a) Sistema de regulación de velocidad o gobernador
 - b) Sistema de lubricación
 - c) Sistema de sellos
 - d) Rodamientos
 - e) Sistema de protección para sobre-velocidad
 - f) Tablero de medición y control

Los sistemas auxiliares de una turbina son tan importantes como las partes principales, ya que una buena operación de la unidad depende, en gran parte, de que estos sistemas funcionen bien.

II.2.A) Rotor

Puede estar formado por uno o más discos sólidos, montados en una flecha; en la periferia de los cuales, van colocados los álabes o aspas de la turbina. El rotor va sos-

tenido en sus extremos por cojinetes, que generalmente son del tipo de chumaceras bipartidas, recubiertas en su interior con un metal antifriccionante. Los cojinetes van montados rígidamente en el bastidor; lo anterior permite que el rotor gire libremente sobre soportes firmes.

El rotor debe tener un equilibrio dinámico, esto es, la masa de los discos y álabes deberá estar equitativamente distribuida con respecto al eje. Deberá ser balanceado con velocidad.

II.2.B) Estator

Es una cubierta o carcasa de acero fundido cuya función es alojar al rotor; tiene insertadas las toberas o álabes directrices. El estator va seccionado horizontalmente para permitir trabajos de inspección y mantenimiento en el interior de la turbina.

II.2.C) Bastidor

Su función es la de sostener a la turbina; esto es, al estator y al rotor; a este último, por medio de los cojinetes, los cuales van fijos al bastidor.

II.2.D) Toberas

Los bloques de toberas o álabes estacionarios están localizados en el cuerpo de la turbina (estator), a través

de los cuales el vapor se expande y aumenta su velocidad. --
Los álabes son los que reciben la fuerza del chorro de va--
por, transmitiéndola como un par de giro en los rodetes a --
la flecha.

II.2.E) Sistemas auxiliares

a) Sistema de regulación de velocidad o gobernador

El sistema de gobierno de una turbina de vapor, --
tiene la finalidad de mantener una velocidad constante en --
la unidad, al ocurrir variaciones en la carga.

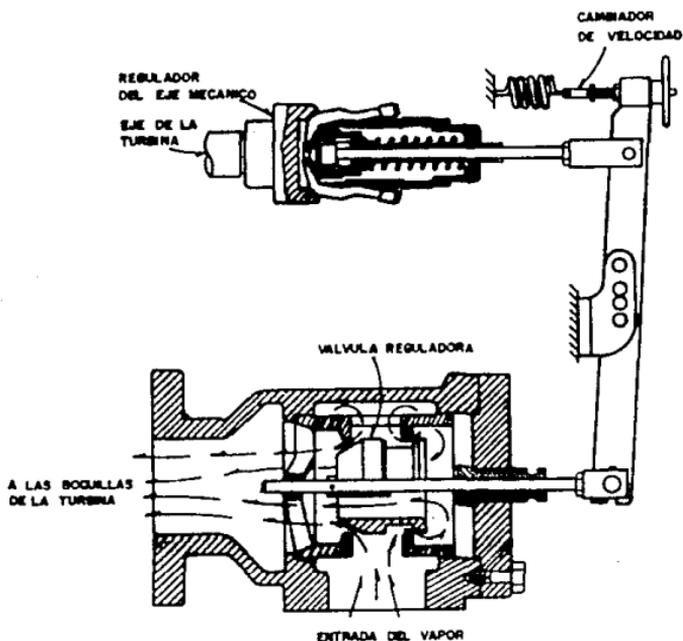
Los tres elementos principales de un sistema de --
control son: el dispositivo sensor, que mide el error como
la desviación registrada en relación con un punto de refe--
rencia; los medios adecuados para transmitir y amplificar --
la señal de error y el dispositivo de control de salida, ge
neralmente es una válvula servooperada.

Existen tres tipos principales de reguladores de --
velocidad:

- i) Regulador centrífugo
- ii) Regulador hidráulico
- iii) Regulador electro-hidráulico

En el caso del regulador centrífugo, la fuerza cen
trífuga de los contrapesos acoplados a la flecha de la tur-
bina, se compara continuamente con un punto de referencia,

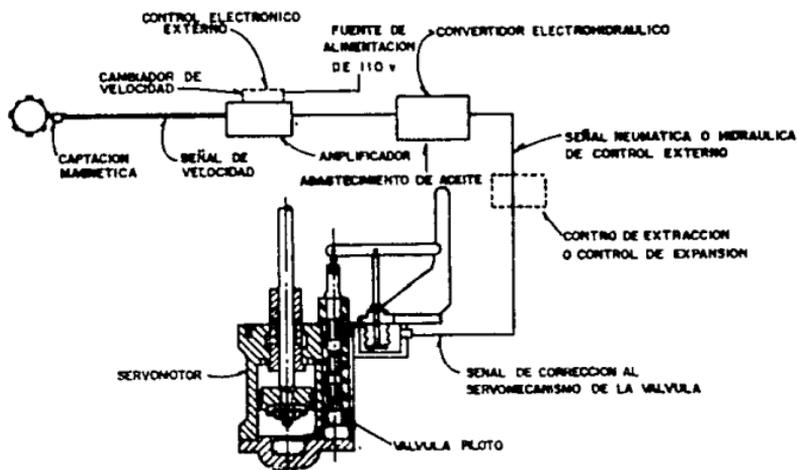
establecido por el resorte del regulador, que se opone a la fuerza proveniente de la acción de los pesos. Para un incremento en la carga de la turbina, la velocidad desciende y la fuerza de los pesos se reduce, lo cual permite que el resorte empuje el huso del regulador; entonces, una palanca pivotea y la válvula se abre para incrementar el flujo de vapor y el par de rotación. La retroalimentación en el control, es el resultado de aumentar la velocidad para igualarla con el punto de referencia del resorte del regulador y eliminar así el error.



REGULADOR CENTRIFUGO DE ACCION DIRECTA
Regulador centrífugo de acción directa

El regulador hidráulico, opera mediante una bomba acoplada a la flecha de la turbina, que aumenta o disminuye su presión de descarga al variar la velocidad de la turbina. - Esta señal de presión, que es directamente proporcional a la variación de la velocidad, es comunicada a un servomotor que opera la válvula de admisión de vapor, cerrando o abriendo, según sea el caso.

El control de velocidad electrohidráulico, está obteniendo cada vez mayor aceptación en turbogeneradores, debido a la precisión que ofrece para el control de la velocidad y a su adaptabilidad al funcionamiento con computadoras y controles remotos durante el arranque y la carga automática. Estas mismas características lo hacen apropiado para usarse en plantas de procesamiento, en las cuales las señales eléctricas ocupan un lugar prominente.



CONTROL DE VELOCIDAD DE TIPO ELECTROHIDRAULICO

b) Sistema de lubricación

Existen dos sistemas de lubricación diferentes:

- i) Lubricación con anillo levantador de aceite
- ii) Lubricación forzada

La lubricación con anillo levantador de aceite, consiste en colocar un anillo en la chumacera, que va sumergido en el contenedor de aceite. Al girar la flecha de la turbina, impulsa al anillo, que levanta el lubricante y lo deposita en el interior de la chumacera.

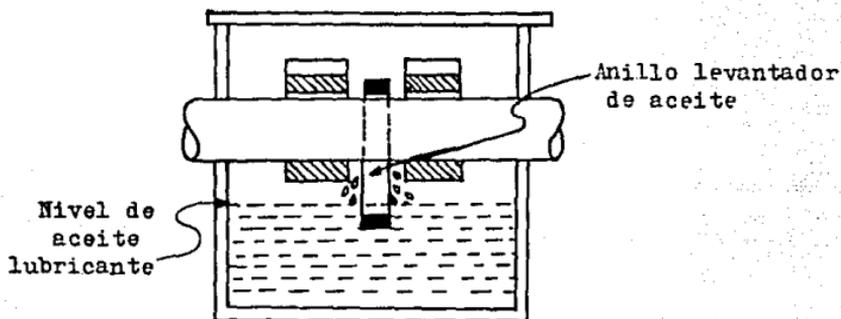
El sistema de lubricación forzada, está constituido fundamentalmente, por una bomba que succiona el aceite lubricante de un recipiente y lo descarga a presión en las chumaceras de la turbina. De aquí, el aceite escurre hacia la parte inferior de las chumaceras por un conjunto de venas, y se deposita nuevamente en el recipiente. El aceite que ha pasado por la chumacera, además de lubricarla, le quita calor, por lo tanto, regresa con una temperatura más elevada. Para controlar la temperatura del aceite entre límites adecuados, se instala un enfriador de lubricante a base de agua en la descarga de la bomba.

La bomba de circulación del aceite puede operarse de dos formas:

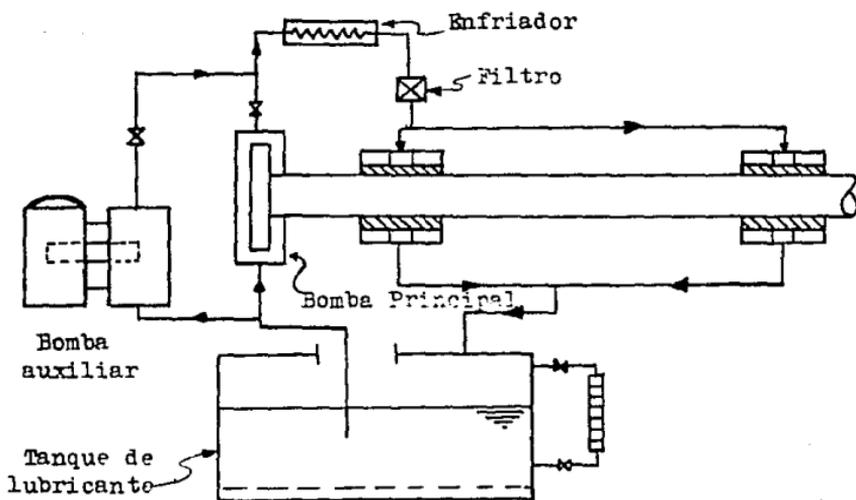
-Acoplada directamente a la flecha de la turbina como es en el caso de unidades medianas y pequeñas.

-Movida por una turbina de vapor auxiliar, para

unidades grandes; estas operan durante el arranque, en operaci3n normal, la bomba trabaja acoplada a la flecha de la turbina.



Lubricaci3n con anillo levantador



Lubricaci3n forzada

Para evitar que las impurezas que acarrea el aceite - de lubricación lleguen a las chumaceras, se colocan filtros intermedios, mismos que son limpiados periódicamente.

c) Sistema de sellos

Por medio de este sistema se trata de evitar que - el vapor que trabaja dentro de la turbina escape entre la - flecha y el estator. El sistema de sellado más usual con-- siste en la colocación de anillos de carbón, dada su resis-- tencia al desgaste por rozamiento. En las turbinas grandes, además de los sellos de carbón, se colocan una serie de la-- minillas llamadas "laberintos", que ayudan a evitar el esca-- pe del vapor.

d) Rodamientos

En las turbinas de vapor se usan dos tipos de chu-- maceras:

- i) Chumaceras de carga axial
- ii) Chumaceras de empuje radial

Las chumaceras de carga axial, tienen la finalidad de evitar que el rotor se desplace en dirección del eje, lo -- que provocaría rozamiento entre éste y el estator; estos -- dispositivos, constituidos por secciones recubiertas en las zonas de contacto con la flecha con metal anti-fricción, se les llama chumaceras tipo "Kinsbury".

Las chumaceras de empuje radial sostienen al rotor, y se fabrican generalmente de una caja de acero con una capa interior de un metal anti-fricción.

e) Sistema de protección para sobre-velocidad

La protección para sobre-velocidad de una turbina de vapor es muy importante, va de por medio la vida misma de la unidad.

Cuando por alguna causa, una turbina pierde súbitamente la carga, tiene lugar un "desbocamiento" ; es decir, una aceleración sin control que es capaz de destruir la unidad. El dispositivo de protección consiste esencialmente, en una especie de martillo, que aprovechando la fuerza centrífuga del rotor (el martillo se localiza en la flecha de la turbina), golpea un mecanismo que opera la válvula de -- control del vapor que entra en la turbina, cerrándola casi instantáneamente.

El sistema puede calibrarse para que opere a una - velocidad de diez a quince por ciento arriba de la veloci-- dad normal de operación de la turbina.

f) Tablero de medición y control

En las turbinas medianas y en las de gran potencia, es conveniente tener centralizados los aparatos que proporcionan un registro de los parámetros que determinan el --- buen funcionamiento de la unidad; como son: las condiciones del vapor (presión, temperatura, gasto), presión del lubricante, etc.

La ventaja de tener en un tablero estas indicaciones es que rápidamente el operador puede detectar la causa de un mal funcionamiento de la turbina, o prevenir alguna - falla.

II.3 Materiales utilizados en una turbina de vapor

| Descripción | Material | Especificación |
|--------------------------------|-------------------|------------------|
| Caja de vapor | Fundición | ASTM A-216 |
| Cubierta superior | Fundición | ASTM A-216 |
| | | ASTM A-278 |
| | Hierro dúctil | ASTM A-395 |
| Cajas de rodamientos | Fundición | ASTM A-278 |
| Rodete | Acero aleado | AISI 4140 |
| Flecha | Acero al C | AISI C1144 |
| Cojinete de bolas | | SKF 6130Z/C3 |
| Prensaestopa | Fundición | ASTM A-278 |
| Anillos de carbón | Carbono | |
| Resortes de unión | Inconel | Inconel X |
| Bastidor | Fundición | ASTM A-278 |
| Bloque de toberas | Acero | ASME SA-285 C |
| | Acero inoxidable | AISI 416 |
| Pernos | Acero al C | AISI 1211 - 1213 |
| Laberinto | Acero | AISI 1018 |
| Válvula de vapor (cuerpo) | Acero al C | AISI C 1144 |
| Válvula de vapor (asiento) | Acero inoxidable | AISI 416 |
| Anillo levantador de aceite | | ASTM B-135 |
| Tuercas de ajuste | Acero inoxidable | AISI 416 |
| Arandelas | Acero inoxidable | AISI 410 |
| Empaquetadura | Asbesto comercial | |
| Juntas | Flexitallic | 304SS/Asbestos |

II.4 Tipos de turbinas de vapor

Las turbinas de vapor se dividen en dos categorías generales: las que se utilizan para generar energía eléctrica y las unidades para fines generales, que se emplean para mover bombas, compresores, etc., las cuales son llamadas frecuentemente, "de propulsión mecánica".

La presión del vapor de alimentación a la turbina, se ubica, habitualmente dentro de la gama de 18 Kg/cm^2 (250 lb/pulg^2) manométrica sin sobrecalentamiento; hasta 60 Kg/cm^2 (850 lb/pulg^2) manométrica a 480°C (900°F). En generadores con turbinas de gran tamaño, es común encontrar presiones - manométricas del orden de 105 , 125 y 165 Kg/cm^2 (1500 , 1800 y 2400 lb/pulg^2).

II.4.A) Turbina de vapor de una etapa y una válvula

Es la turbina del tipo más simple, y es la que ofrece la gama más variada de aplicaciones. En la cámara de vapor tiene una sola válvula reguladora, que se opera directamente con un regulador centrífugo de tipo mecánico. Después de pasar por la válvula, el vapor se expande en las toberas, en donde gana velocidad y el impulso que necesita para mover las ruedas, realizando una operación de empuje sobre los álabes. La flecha se sella mediante anillos de carbón y los cojinetes se lubrican por medio de anillos. La mayoría de sus aplicaciones requieren de potencias inferiores a 1500 HP , y tienen velocidades menores que 5500 rpm ; traba-

jan con presiones manométricas de vapor de 42 Kg/cm^2 (600 lb/pulg^2) o menos.

II.4.B) Turbina de una válvula y etapas múltiples

Se utiliza ampliamente este tipo de turbinas, para mover compresores y bombas en el intervalo de 600 a 1500 HP. El extremo de entrada de estas turbinas, conserva la configuración general, que incluye caja de cojinetes, regulador de vapor, etc., como en las turbinas de una etapa y una válvula. La cubierta se extiende para abarcar las etapas adicionales, y la última hilera de álabes; la abertura de salida, tiene el tamaño adecuado para contener el vapor "exhausto" a una presión baja.

II.4.C) Turbina de etapas y válvulas múltiples

Se emplea a menudo, en el intervalo en que la turbina de una sola válvula podría manejar la carga. La ventaja adicional que presenta, es una mayor eficiencia con carga parcial, y un mejor control de velocidad. Las válvulas múltiples, proveen a la turbina de las características para salida de potencias más altas, y evitan el uso de una válvula reguladora de gran tamaño susceptible de causar problemas en su operación.

II.5 Fallas operativas más comunes de una turbina de vapor

De los posibles problemas que puede presentar una turbina de vapor durante su operación, con base en las experiencias del personal de mantenimiento mecánico de la refinería "18 de marzo" de Petróleos Mexicanos, se enlistan a continuación los más frecuentes:

- A) La turbina deja escapar vapor por los sellos
- B) Existen variaciones en la velocidad de la turbina
- C) Se observa movimiento axial en el rotor de la turbina
- D) Lubricante contaminado con agua
- E) Calentamiento excesivo de las chumaceras
- F) Vibración
- G) Pérdida de potencia

II.5.A) La turbina deja escapar vapor por los sellos

Es muy común que al desgastarse los sellos de carbón, la holgura entre éstos y la flecha de la turbina aumenta, de tal manera que permita el paso de vapor hacia el exterior. En algunas ocasiones, el desgaste de los carbones se presenta acompañado de desgaste en la flecha.

Los sellos de carbón están constituidos por secciones sostenidas por un resorte, lo cual facilita su extracción;

es necesario determinar el desgaste sufrido, e inspeccionar la flecha, ya que si esta presenta desgaste o rayaduras, -- provocará la destrucción de los nuevos carbones. Cuando se instalan anillos de carbón nuevos en una turbina, es recomendable hacer girar el rotor a baja velocidad durante una hora, y aumentar ésta gradualmente hasta alcanzar la velocidad normal de operación. En condiciones normales, los carbones deben ser reemplazados luego de uno ó dos años de trabajo.

II.5.B) Variaciones en la velocidad de la turbina

Existen varias causas capaces de provocar una velocidad inestable en las turbinas:

- a) Desgaste en los mecanismos del gobernador
- b) Vástagos de válvulas pegados
- c) Variaciones provocadas por la máquina impulsada

El desgaste de los mecanismos del gobernador tiene lugar principalmente en los orificios o pernos de las uniones de los eslabones que los constituyen; esto se corrige, re--llenando los primeros o cambiando los segundos, de manera - que no pierdan su libertad de movimiento.

Los vástagos de válvulas pegados o atcrados, es un fe--nómeno que se presenta cuando hay sólidos en el vapor, o al--gún reactivo disuelto, que se depositan en los conductos --

más reducidos, como son los asientos de las válvulas y los conductos de los vástagos de éstas, siendo una de las causas de inestabilidad en la velocidad de una turbina. Una cuidadosa limpieza de los asientos y los vástagos de las válvulas, corrige este problema.

Puede suceder que las condiciones de la máquina impulsada sean variables en cuanto a su velocidad; esta inestabilidad se transmite a la turbina, causando en ella, el mismo efecto. La variación en la velocidad de la turbina se corrige al estabilizar las condiciones de funcionamiento de la máquina acoplada.

II.5.C) Movimiento axial en el rotor de la turbina

Para soportar el empuje axial en las turbinas, existen diferentes elementos: chumaceras tipo Kinsbury, formadas de segmentos de caras recubiertas de metal antifricción, sobre las cuales se apoya un disco sólido, montado en la flecha de la turbina, y que limita el movimiento axial del rotor; se emplean también, baleros de empuje axial, que pueden ser de rodillos o de bolas y que cumplen con la misma finalidad:

Cuando se detecta juego axial en el rotor de una turbina, es necesario pararla de inmediato, para evitar daños irreparables. Las causas de esto pueden ser:

-Que el balero haya perdido su posición por aflojamiento.

-Que el balero se encuentre dañado o que la chumacera esté "barrida".

II.5.D) Lubricante contaminado con agua

La contaminación del aceite lubricante, ya sea con agua o con sedimentos, puede deberse a dos causas:

a) Que los sellos de carbón dejen escapar vapor, y -- que este, al chocar con los cojinetes, penetre y se condense, formando una emulsión con el aceite.

b) Que el enfriador del aceite tenga algún tubo roto y el agua de enfriamiento penetre y se mezcle con el lubricante.

II.5.E) Calentamiento excesivo de las chumaceras

El calentamiento excesivo de las chumaceras de una -- turbina, puede ser provocado principalmente por:

Lubricación insuficiente. Posibles defectos en la -- bomba del aceite, pueden provocar una baja presión de des-- carga del lubricante y un flujo insuficiente en las chumace-- ras. También suele ocurrir la obstrucción de los conductos de lubricación, ya sea por basuras o desgaste de las pro--- pias chumaceras.

Si el eje transmite gran cantidad de calor de las pie-- zas en contacto con el vapor, hasta el muñón y hacia el flu-- jo de aceite, y este llega en cantidades insuficientes, en--

tonces el calor se transmite al recubrimiento de las chumaceras, este se suaviza o revienta (se agrieta), presentando a la flecha una superficie áspera; en estos casos, se dice que la chumacera se "barre" y puede inclusive, rayar la superficie de la flecha. Otro motivo posible para el resquebrajamiento de la superficie del cojinete, son los golpes del mufón (vibración).

II.5.F) Vibración

Es una clara manifestación de mal funcionamiento de la turbina; cuando se alcanzan valores muy altos de vibración, puede ocurrir la destrucción de la unidad. Son varias las causas por las cuales se presenta vibración en una turbina:

a) Desalineamiento entre la turbina y la máquina acoplada; esto se resuelve corrigiendo la alineación del acoplamiento.

b) Holgura excesiva en las chumaceras.

c) Desbalanceo dinámico del rotor. Es esta la causa más común, y se presenta por:

-Desequilibrio de la masa del rotor

-Deflexión de la flecha

En el caso de desequilibrio de la masa del rotor, la

vibración puede presentarse cuando la unidad esté en operación, y se haya desprendido uno o varios álabes; la vibración se presenta en forma violenta.

En el segundo caso, la vibración aumenta gradualmente a medida que se aumenta la carga de la turbina.

En cualquiera de los casos, siempre que se detecte una vibración anormal, es aconsejable parar la unidad lo antes posible para detectar y corregir la causa; de lo contrario, se corre el riesgo de que ocurran daños mayores.

II.5.G) Pérdida de potencia

La pérdida de potencia, es un concepto que se asocia al tratamiento del agua utilizada en la producción del vapor. En el caso de las sales disueltas en el agua, quedan en solución cuando el vapor es sometido a un sobrecalentamiento. Después que el vapor se ha expandido y se ha saturado, las sales se separan con la humedad. Los depósitos de sílice y otras sales se desarrollan en los álabes y en las toberas. La carga de empuje se incrementa y la eficiencia de la turbina disminuye, tendiendo a reducir la potencia de la misma.

CAPITULO III

RECUPERACION DE ELEMENTOS

Para que un recubrimiento provea a los elementos rociados por medio de flama, de todas las ventajas propias del proceso y del material usado, es necesario establecer una secuencia de operaciones que resultarán en la aplicación segura y funcional del mismo.

Con respecto a lo anterior, podemos hablar de operaciones previas al rociado, como limpieza, preparación del elemento, selección del material, entre otras; y que permitirán al recubrimiento adherirse a la superficie adecuadamente y facilitarán su aplicación.

Es importante controlar ciertos parámetros durante el rociado, que influirán fuertemente en las propiedades que se obtendrán en la pieza rociada, tales como temperatura, velocidad de rociado, presiones en los flúidos empleados, distancia de aplicación, etc.

Es conveniente saber, cuando se ha rociado una superficie determinada, las condiciones en las cuales trabaja y las opciones de maquinado (acabados superficiales) que pueden aplicarse en este tipo de elementos (rociados por flama).

III.1 Preparación del elemento

En todo proceso de recubrimiento por medio de flama, la superficie del elemento que se va a rociar debe ser sometida a una preparación previa al rociado para lograr una buena adherencia del material proyectado con la superficie. El tipo de preparación depende de:

- a) El espesor de recargue que se desea
- b) La naturaleza del material proyectado
- c) La forma de la pieza
- d) El tipo de adhesión
- e) El costo que se ha fijado como límite

Los tipos de preparación que más se utilizan, son los siguientes:

- A) Preparación por flujo de arena
- B) Preparación mecánica
- C) Preparación eléctrica
- D) Preparación por premetalización

III.1.A) Preparación por flujo de arena

El flujo de arena (arenado o granallado), proyectado por medio de una corriente de aire comprimido, se emplea con dos fines:

- a) para limpiar la superficie de la pieza,

b) y para la creación de rugosidades que favorecen la adherencia del material rociado.

El flujo de arena elimina todo tipo de óxidos de la superficie, además produce una rugosidad que está en función del abrasivo empleado y de la presión del aire comprimido; generalmente, el abrasivo empleado es arena silicosa, de aristas vivas, completamente seca y sin polvo; el diámetro del grano debe ser inferior a 0.40 mm; el consumo de arena depende del tipo de pistola que se utilice, suele ser de 30 a 50 Kg/m² de superficie decapada. Se emplea también como abrasivo el corindón, que contiene alúmina en una proporción de 87 a 95%; también se utiliza granalla de acero de aristas vivas, pero las dimensiones de las partículas deben ser inferiores a las de la arena.

Respecto al aire comprimido, es necesario contar con una instalación que suministre flujos de 40 a 50 m³/hr a una presión de 5 Kg/cm².

Presiones utilizadas:

- 5 Kg/cm² para metales ferrosos no mecanizados
- 3 a 4 Kg/cm² para piezas de cobre o aleaciones del mismo
- 1 a 1.5 Kg/cm² para piezas mecanizadas o metales ligeros.

III.1.B) Preparación mecánica

- a) Ranurado con herramienta rotatoria
- b) Soplo de material abrasivo
- c) Rosca áspera

Ranurado con herramienta rotatoria.-Este tipo de preparación se realiza generalmente en un torno, si se trata de piezas cilíndricas; y en cepillo o fresadora, cuando son superficies planas. Consiste en hacer una serie de 16 ranuras (en forma de rosca, si la pieza es cilíndrica) por cada pulgada de longitud del elemento que se va a recubrir. Una vez que se tienen las ranuras, se pasa una herramienta rotatoria llamada moleteador, sobre las crestas de las ranuras para recalcar sus aristas de manera que se formen colas de milano en cada ranura, cuya profundidad será de 0.6 a 0.75 mm (25 a 30 milésimas de pulgada), aproximadamente.

Es importante la dirección de rociado en este tipo de preparación, se realizará ésta, perpendicular a las ranuras y con un ángulo de 45° en un sentido, y 45° en el otro; y finalmente en dirección normal a la superficie rociada, esto garantiza un anclado correcto del recubrimiento aplicado.

Soplo de material abrasivo.-Consiste en proyectar un material abrasivo sobre la superficie que se desea preparar por medio de una corriente de aire a presión; los materiales usados en este proceso son:

i) Granalla de acero; grado de malla, de 30 a 45, de aristas vivas, puede utilizarse hasta 60 veces, debiendo -- ser almacenada en lugares secos para evitar su oxidación.

ii) Oxidos de aluminio; es uno de los materiales más duros, tiene una dureza de 9 en la escala de Mohs, el grano no se redondea, y aunque se reduce en tamaño al chocar, no pierde su forma angular. Se recomienda grano de malla 16 a 25 para superficies pequeñas y medianas, debido a su alto - costo.

Rosca áspera.-Esta es una forma muy antigua de preparar superficies cuando se requiere ahorrar tiempo y mate--- rial en piezas con poco desgaste. Consiste en hacer una -- cuerda en "V", de 60 a 80°, con el fondo de la misma ligera--- mente redondeado; es recomendable hacerla en un solo paso y con la herramienta abajo del centro de la pieza, para que - la cuerda resulte rugosa, ya que mientras más áspera resul- te la superficie, mayor adherencia se tendrá entre el mate- rial rociado y el elemento.

Esta forma de preparación, presenta el inconveniente de que sólo se puede aplicar sobre superficies de revolu--- ción.

III.1.C) Preparación eléctrica

Existen casos, en los que el material del elemento -- que se va a rociar es muy duro y difícil de maquinarse, o que la superficie tiene forma irregular y no puede ser utiliza-

do alguno de los métodos anteriores, entonces es recomendable usar el de preparación eléctrica, el cual consiste en soldar sobre la superficie pequeñas aportaciones de naturaleza esponjosa, de un metal poco oxidable, como níquel o acero al molibdeno. La máquina utilizada es similar a una soldadora eléctrica, donde el portaelectrodo consta de una boquilla para salida de aire, que pulveriza la porción de electrodo que se funde al saltar el arco eléctrico entre éste y la superficie. De esta manera se consigue que el material soldado resulte esponjoso, lo cual favorece en gran medida la adherencia del material aportado durante la aplicación del recubrimiento.

Este tipo de preparación se puede aplicar a todo tipo de superficie metálica de cualquier forma, siempre que el espesor requerido del recubrimiento sea superior a 1 mm, ya que para espesores más pequeños, las aristas de los puntos de la preparación, que generalmente tienen una altura de 0.5 a 1.0 mm, resultarían notorias.

Cuando se usa esta forma de preparación en piezas de acero, se emplea un voltaje de 10 V, con una intensidad de corriente de 400 A, y una presión del aire de aproximadamente 4 Kg/cm². El electrodo debe inclinarse, formando un ángulo de unos 30° con la superficie de la pieza. Para preparar elementos que pueden ser trabajados en el torno, el movimiento de éste, favorece la ruptura del arco, lo que permite reducir el voltaje y la intensidad de la corriente.

Se pueden emplear 7 V y 350 Amp, una presión del aire de --
3.75 Kg/cm² y el electrodo se deberá sostener con la mano,
puesto que de ser fijado en la torreta del torno, difícil-
mente se mantendría la presión precisa.

Para piezas de metales no ferrosos, puede emplearse -
otro tipo de electrodo, además del níquel o el acero al mo-
libdeno. En cualquier caso, para obtener una adherencia de
garantía, es necesario que la preparación eléctrica cubra -
por lo menos el 85 % de la superficie que se va a rociar.

III.1.D) Preparación por premetalización

Esta forma de preparación se utiliza cuando los espe-
sores de los recubrimientos requeridos son inferiores a 1 -
milímetro, o cuando se trata de piezas que no ha sido posi-
ble preparar de otra manera, ya sea por su forma o el tipo
de material. Consiste en la aplicación de una capa de mo-
libdeno, misma que se proyecta con la pistola para metali-
zar, como cualquier otro material. Las capas empleadas, --
normalmente son de 0.05 a 0.1 mm de espesor, y se pueden co-
locar capas sucesivas que producirán depósitos estratifica-
dos homogéneamente, que se adhieren perfectamente a superfi-
cies lisas y limpias. Es importante hacer notar que el mo-
libdeno no se adhiere sobre metales cuprosos o aleaciones -
que contengan más de 20 % de cromo.

III.2 Selección del tipo de preparación.

Los campos de aplicación de los cuatro procedimientos de preparación descritos anteriormente, no están totalmente delimitados; sin embargo, las siguientes observaciones servirán para la selección del más apropiado en cada caso:

Cuando se trata de un revestimiento inferior a 0.5 mm la premetalización con molibdeno será el tipo de preparación más adecuado.

Cuando se trata de una pieza que es necesario montar en el torno para rebajar su diámetro ó igualar el nivel del área deteriorada, se recomienda emplear la preparación mecánica, aprovechando el montaje de la pieza en el torno.

La preparación eléctrica se recomienda cuando la preparación mecánica es insuficiente. Se emplea generalmente para piezas de fundición, también para la preparación de piezas que se han de recargar con espesores superiores a 1 mm; para recubrir metales duros, que por estar templados ó por su composición, no han podido ser preparados por otro método, etc.

En una diversidad de casos, los cuatro procedimientos de operación descritos pueden ser combinados entre sí para obtener los mejores resultados en cuanto a la adherencia de los recubrimientos.

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

Características de adherencia (%)

| Metal depositado | Naturaleza de la preparación | | | |
|----------------------|------------------------------|-------------------|---------------------|--------------------------|
| | Base: Acero semi-duro | Flujo de arena | Fileteado rugoso | Preparación eléctrica |
| Fe | 60 | 82 | 44 | 55 |
| 0.2% C | 53 | 95 | 46 | 67 |
| 0.6% C | 59 | 99 | 33 | 52 |
| 0.8% C | 58 | 84 | 31 | 47 |
| 1.2% C | 64 | 100 | 32 | 50 |
| 13%Cr - 0.3%C | 61 | 82 | 37 | 62 |
| 13%Cr - 1%C | 60 | 85 | 35 | 46 |
| 18%Cr - 8%Ni - 0.1%C | 49 | 70 | 38 | -- |
| Latón 67/33 | 36 | 45 | -- | -- |
| Bronce 93/7 | 40 | 49 | -- | -- |
| Ni-Cr 80/20 | 49 | 73 | -- | 50 |

Acero al C

Aceros Inoxidables

III.3 Materiales

En la selección del material que se utilizará en el proceso de rociado por flama, es necesario considerar lo siguiente:

- El tipo de trabajo que realiza la pieza; desgaste.
- Condiciones del medio; corrosión.

Como resultado de lo anterior, será fácil enumerar los requerimientos que deberá satisfacer el recubrimiento, tales como: resistencia al desgaste, a la corrosión, a la erosión, al impacto, a altas temperaturas, densidad, dureza, capacidad de maquinado, propiedades eléctricas, etc.

El tipo de material del elemento que se va a rociar, no es de vital importancia en los casos en los que el material rociado se adhiere mecánicamente.

Es muy importante tener en mente que la contracción que pueda presentar el material rociado, es capaz de agrietar la capa aplicada, si su espesor sobrepasa el límite apropiado, despegarse en las orillas, si se trata de una superficie plana, o deformar la pieza rociada, si esta es muy delgada. La selección de materiales de poca contracción, previene los problemas mencionados, pero estos son casi siempre tan duros, que sólo pueden ser maquinados con esmeril.

La dureza de un recubrimiento, es susceptible de ser

modificada, por efectos de la proporción entre los caudales de oxígeno y acetileno, así como la velocidad de alimentación del alambre o del polvo.

Existe en el mercado una gama muy variada de materiales capaces de proporcionar un sinnúmero de combinaciones diferentes de propiedades; a continuación se mencionan algunos de ellos:

Recubrimientos con base de hierro, níquel y cobalto.

Aceros al carbono

1.-Acero al bajo carbono. Produce recubrimientos de acero blando que tienen buena resistencia al desgaste si están bien lubricados. Dureza: 27 RC. Polvo.

2.-Acero al carbono (0.10% C). Produce recubrimientos mecanizables de alta contracción y con resistencia al desgaste. Dureza: 91 RC. Alambre y polvo.

3.-Acero al carbono (0.23% C). Produce recubrimientos con resistencia al desgaste y alta contracción; son mecanizables, pero más duros que los del no. 2. Dureza: 94RB.

4.-Acero al carbono (0.80% C). Produce los recubrimientos de acero al carbono más duros. Son rectificables, muy resistentes al desgaste y tienen muy bajo encogimiento. Dureza: 38RC. Alambre.

Aceros Inoxidables

5.-Acero inoxidable con bajo contenido de carbono. -- Produce recubrimientos que tienen alta resistencia a la corrosión y buena resistencia al desgaste. Dureza: 64RB.

6.-Acero inoxidable con alto contenido de cromo. Produce recubrimientos de gran fortaleza que tienen resistencia excelente contra el desgaste, resistencia satisfactoria contra la corrosión, alta elongación y bajo encogimiento. -- Esto resulta en una baja tendencia a agrietarse cuando ha sido aplicado sobre ejes. Es el acero más recomendable para uso general en elementos de maquinaria. Dureza: 33-36RC. Alambre.

7.-Aleación de acero inoxidable de primera calidad. -- Produce recubrimientos densos que se endurecen con el trabajo. Son muy útiles para reconstruir y reparar superficies que necesiten tener buena resistencia a la corrosión y en las que el acabado haya que hacerlo por mecanizado. Dureza: 88-92RB. Polvo.

8.-Acero austenítico inoxidable de bajo carbono con resistencia al desgaste. Produce recubrimientos con un coeficiente de contracción más bajo y más duros que el no.5, pero conservan la misma resistencia a la corrosión. Se recomienda para diámetros internos y para recubrimientos muy gruesos, en los que el alto coeficiente de contracción del material del no.5 puede causar problemas. Dureza: 85-99RB. Alambre.

9.-Aleación inoxidable de cromo con base níquel. Produce recubrimientos brillantes, limpios y mecanizables que

se endurecen con el trabajo y que tienen buena resistencia contra el desgaste y la corrosión. Dureza: 80RB. Polvo.

Materiales exotérmicos de níquel-aluminio

10.-Compuesto de aluminio y níquel que forma una reacción exotérmica durante el rociado. Produce recubrimientos que se adhieren con mucha fuerza y que son resistentes a la oxidación, a las temperaturas altas y a los cambios de temperatura. Son ligeros y de bajo costo. Se alcanza una adherencia 33% mayor que con los métodos mecánicos como el granallado o el roscado. Generalmente se usa como capas de adherencia entre un sustrato y un recubrimiento final, pero también puede utilizarse solo. Dureza: 22RC. Alambre.

11.-Compuesto de aluminio y níquel que reacciona exotérmicamente durante el rociado. Produce recubrimientos -- densos, resistentes a temperaturas moderadamente altas, al choque térmico y a la abrasión. Se adhiere a superficies -- metálicas limpias y lisas. Dureza: 75RB. Alambre.

12.-Compuesto de aluminio y cromo-níquel que reacciona exotérmicamente durante el rociado para producir recubrimientos altamente resistentes a la oxidación y a los efectos de gases altamente corrosivos a temperaturas altas. Se recomienda como material de adherencia para recubrimientos cerámicos. Dureza: 85-90RB. Polvo.

13.-Compuesto de níquel y aluminio que reacciona exotérmicamente durante el rociado. Produce recubrimientos -- densos, auto-adherentes, resistentes a la oxidación y con --

gran integridad estructural. El sustrato que se rocía necesita poca preparación para dar buena adherencia. Resiste temperaturas más altas que el material no. 11. Se usa como material de adherencia ó como recubrimiento solo. Dureza: 70-75 RB. Polvo.

Recubrimientos autoadherentes de un solo paso.

Un solo recubrimiento sirve a la vez como base y como recubrimiento de aporte. Todos los recubrimientos de un solo paso tienen las siguientes propiedades comunes:

-Se adhieren metalúrgicamente con fuerzas hasta de 421.0 Kg/cm² (6000 lb/pulg²).

-La ventaja de "un solo paso", es que no se necesita un recubrimiento separado como base.

14.-Compuesto de níquel, cromo, molibdeno y aluminio, equivalente a una aleación inoxidable; se recomienda cuando se necesitan recubrimientos que sean rectificables y que -- tengan una resistencia al desgaste igual a la de los aceros inoxidables de alto contenido de cromo. Dureza: 30RC. Polvo.

15.-Compuesto de níquel, cromo, molibdeno y aluminio, se recomienda cuando se necesitan recubrimientos inoxidables, mecanizables y con buena resistencia al desgaste. Tienen buena resistencia a la corrosión. Dureza: 80RB. Polvo.

16.-Bronce aluminico auto-adherente; es un compuesto de cobre y aluminio. Se recomienda para aplicaciones que requieren de buena resistencia al desgaste por abrasión. Dureza: 55RB. Polvo.

17.-Compuesto de molibdeno, níquel y aluminio. Produce recubrimientos auto-adherentes muy tenaces, de gran fortaleza interna y que tienen buena resistencia al desgaste, aún en aplicaciones en las que sufra cierto grado de impacto. Dureza: 75-80RB. Polvo.

18.-Acero auto-adherente con bajo contenido de carbono, con molibdeno y aluminio. Se recomienda para aplicaciones que requieran un recubrimiento de acero mecanizable con muy buena resistencia al desgaste. Dureza: 85RB. Polvo.

19.-Acero con alto contenido de carbono, con molibdeno y aluminio. Se recomienda para aplicaciones que requieran un recubrimiento de acero rectificable, con una excelente resistencia al desgaste. Dureza: 30RC. Polvo.

Otros recubrimientos con base de hierro, de níquel y de cobalto.

20.-Aceros de primera calidad; producen recubrimientos que se endurecen con el trabajo; como su coeficiente de contracción es muy bajo, no tienen limitación en el espesor de sus recubrimientos; mecanizable. Dureza: 22RC. Alambre.

21.-Aleación de cromo y níquel. Produce recubrimientos que se usan solos o como base para proteger superficies de acero contra la corrosión causada por gases calientes. - Dureza: 60RE. Alambre.

22.-Aleación especial de cromo y níquel. Produce recubrimientos densos, limpios y brillantes, que son resistentes a las atmósferas oxidantes y a los gases corrosivos. Du

reza: 90RB. Polvo.

23.-Aleación de cromo, níquel y tungsteno con base de cobalto. Produce recubrimientos densos, que son resistentes a la corrosión y a la erosión hasta temperaturas de 815 grados Centígrados (1500°F). Polvo.

24.-Monel; aleación de níquel y cobre. Produce recubrimientos densos que son fácilmente mecanizables. Dureza: 50RB. Alambre.

25.-Níquel. Básicamente níquel puro; produce recubrimientos resistentes a la corrosión. Dureza: 58RB. Alambre.

26.-Polvo de níquel de alta pureza; produce recubrimientos duros, densos y fácilmente mecanizables. Dureza: 45-55RB. Polvo.

27.-Aleación con alto contenido de níquel y un componente que reacciona exotérmicamente durante el rociado. Produce recubrimientos muy duros y densos que ofrecen una superficie dura de deslizamiento, resistente al desgaste por granos abrasivos, por deslizamiento contra superficies duras y por erosión. Una fuerte adherencia y un bajo coeficiente de contracción, permiten aplicar recubrimientos gruesos, sin que se agrieten. Dureza: 25-30RC. Polvo.

28.-Aleación de cobre y níquel. Produce recubrimientos muy densos con un bajo contenido de óxidos. Resiste a la corrosión. Dureza: 65-70RB. Polvo.

29.-Acero al alto carbono. Produce recubrimientos de bajo costo, duros, densos y resistentes al desgaste. Estos

recubrimientos ofrecen una buena superficie para deslizamiento de superficies duras. Tienen una excelente resistencia al desgaste por fricción y por desgarramiento de partículas. Dureza: 45RC. Polvo.

30.-Compuesto de una aleación cromo-níquel con un constituyente de aluminio. Produce recubrimientos mecanizables con alta adherencia y sin límite aparente de espesor. Son altamente resistentes contra la oxidación y el efecto de los gases corrosivos a altas temperaturas. Dureza: 85-90RB. Polvo.

Recubrimientos de aleaciones autofundentes de cromo-níquel.

31.-Aleación para recubrimientos duros a base de níquel, cromo y boro. Produce recubrimientos mecanizables y básicamente sin poros que tienen buena resistencia al desgaste y a la corrosión; sin tendencia a agrietarse al ser aplicados sobre cualquier superficie. Dureza: 30-35RC. Polvo.

32.-Aleación de níquel, cromo y boro. Produce recubrimientos duros y muy densos; resistentes al desgaste por corrosión, por granos abrasivos, por deslizamiento sobre superficies duras, por erosión y por cavitación, tanto a temperaturas altas como bajas. Dureza: 50-60RC. Polvo.

33.-Una aleación de níquel, cromo y boro. Produce recubrimientos duros y muy densos, que resisten la corrosión y el desgaste por granos abrasivos, por deslizamiento sobre

superficies duras, por erosión y por cavitación. Además, - permite la aplicación de recubrimientos de más de 1/8", que se pueden fundir sin dificultad. Dureza: 60RC. Polvo.

34.-Aleación para recubrimientos duros con alto contenido de cobalto. Produce recubrimientos densos que son resistentes al desgaste producido por granos abrasivos, por deslizamiento entre superficies duras, por cavitación y por erosión. Se recomienda su uso sobre materiales que tengan bajo coeficiente de contracción. Dureza: 50RC. Polvo.

Agregados de carburo de tungsteno y cobalto en una matriz fundida de cromo-níquel.

35.-Una mezcla especial de un 35% de carburo de tungsteno y cobalto, con una aleación autofundente de cromo-níquel. Produce recubrimientos densos y sin poros que resisten el desgaste producido por granos abrasivos, por superficies duras, y por erosión. Dureza: carburo 75RC, matriz 62RC. Polvo.

36.-Una mezcla de una aleación autofundente de cromo-níquel de granulometría fina y un 50% de un agregado de carburo de tungsteno con cobalto. Produce recubrimientos delgados, duros, densos y lisos que resisten el desgaste producido por granos abrasivos, por superficies duras, por erosión y por fatiga superficial. Requieren poco rectificado y se pueden usar sin fundir. Dureza: carburo 75RC, matriz 54-60RC. Polvo.

37.-Una mezcla de una aleación autofundente de cromo-

níquel con un 35% de un compuesto formado por granos grandes de carburo de tungsteno que contienen un 8% de níquel. Los recubrimientos de este material, son de fácil y rápida aplicación, fáciles de fundir y muy resistentes al desgaste.

Recubrimientos de metales no ferrosos

38.-Aleación de bronce aluminico. Produce recubrimientos densos, resistentes al desgaste, con bajo encogimiento y alta resistencia a la tracción, mecanizables y con una dureza similar a la de otros broncees. Dureza: 82RB. Alambre.

39.-Bronce aluminico. Produce recubrimientos mecanizables, con bajo encogimiento y bajo contenido de óxidos. Son resistentes al desgaste por cavitación y por deslizamiento con superficies duras. Forman una superficie blanda excelente para soportar deslizamiento. Dureza: 50-80RB. Polvo.

40.-Aleación de bronce fosforado. Produce recubrimientos para aplicaciones especiales. Dureza: 29RB. Alambre.

41.-Mezcla de aluminio con silicio (y poliester). Produce recubrimientos para control de tolerancias, tienen un alto grado de desgastabilidad, una resistencia a la oxidación excelente hasta 345°C (650°F), y una buena resistencia al choque térmico. Polvo.

42.-Grado especial de babbitt con base de estaño (libre de plomo). Produce recubrimientos densos, particularmente recomendados para superficies de descanso para alta -

velocidad y trabajos pesados. Alambre.

43.-Aluminio puro. Produce recubrimientos resistentes a la corrosión química y atmosférica. También tienen una conductividad térmica y eléctrica excelentes; y tienen la habilidad de proteger contra interferencias por radiofrecuencias. Alambre.

44.-Aleación de aluminio con 12% de silicio. Es un material para uso general en la reconstrucción y en la reparación de piezas de aluminio, de magnesio y sus aleaciones. Produce recubrimientos más duros y densos que el aluminio puro. Polvo.

45.-Zinc, básicamente puro. Produce recubrimientos resistentes a la corrosión atmosférica y por inmersión en agua dulce o salada. Alambre.

46.-Aleación de cobre y zinc. Produce recubrimientos de latón, sólidos y densos. Dureza: 39RB. Alambre.

47.-Cadmio puro. Produce recubrimientos de excelente mecanizado. Alambre.

48.-Cobre puro. Produce recubrimientos que se recomiendan donde se requiera alta conductividad eléctrica, protección contra la interferencia por radiofrecuencias y para aumentar dimensiones de piezas. Dureza: 37RB. Polvo.

49.-Plomo puro; produce recubrimientos resistentes a los vapores y a las soluciones de ácidos.

50.-Estaño. Produce recubrimientos finos y densos --

que se recomiendan para la protección de recipientes para comestibles. Alambre.

Oxidos de cerámica.

51.-Oxido de aluminio gris, que contiene dióxido de titanio y residuos de otros óxidos. Produce recubrimientos resistentes al calor de metales fundidos y al desgaste producido por granos abrasivos. Dureza: 55RC. Polvo.

52.-Oxido de aluminio de partículas gruesas, idéntico en su composición al anterior, así como en las características de los recubrimientos que producen. Ha sido diseñado para aplicar recubrimientos más gruesos, sin que ocurra desprendimiento. Dureza: 50RC. Polvo.

53.-Dióxido de titanio. Produce capas duras y extremadamente densas, resistentes a desgaste por granos abrasivos y superficies duras a temperaturas inferiores a 538°C (1000°F). Dureza: 53RC. Polvo.

54.-Oxido de aluminio blanco, que contiene residuos de otros óxidos. Produce recubrimientos que resisten al desgaste por superficies duras a bajas temperaturas y tienen propiedades dieléctricas. Dureza: 50RC. Polvo.

55.-Polvo de alúmina blanco de granos superfinos. Es químicamente idéntico al anterior, pero produce recubrimientos más duros y densos, con mayor resistencia al desgaste a bajas temperaturas y mejores propiedades dieléctricas. Estos recubrimientos ofrecen la mayor resistencia al desgaste de todos los óxidos cerámicos. Se les puede dar fácilmente

un acabado fino o de cualquier textura. Dureza: 65-66RC. - Polvo.

56.-Oxido de cromo. Produce recubrimientos duros y densos, con resistencia al desgaste a baja temperatura, por granos abrasivos, por superficies duras, a la erosión por partículas y por cavitación. Dureza: 65RC. Polvo.

57.-Mezcla de óxido de aluminio y dióxido de titanio. Produce recubrimientos densos y duros, que tienen una resistencia excelente a la abrasión a bajas temperaturas, al desgaste, al calor y a la corrosión. Dureza: 50RC. Polvo.

58.-Mezcla de óxido de cromo y dióxido de titanio. -- Produce recubrimientos densos y duros, que tienen excelente resistencia a la abrasión a bajas temperaturas, al desgaste, al calor y a la corrosión. Su resistencia al desgaste es mejor que en los recubrimientos del material anterior. Dureza: 53RC. Polvo.

59.-Compuesto formado por óxido de cromo y silica. -- Produce recubrimientos densos y duros que dan la mayor resistencia al desgaste de todos los recubrimientos de óxido de cromo conocidos. Dureza: 70RC. Polvo rociado por flama de plasma.

60.-Oxido de zirconio estabilizado con cal. Produce recubrimientos que actúan como aislantes térmicos a altas temperaturas. Tienen buena resistencia contra el choque térmico y contra la abrasión. Dureza: 25RC. Polvo.

61.-Compuesto de óxido de zirconio y óxido de itrio.

Produce recubrimientos duros y densos que tienen buena estabilidad química y térmica hasta 1650°C (3000°F). Resisten choques térmicos y erosión. Se recomiendan como barreras - térmicas en reactores de cohetes y turbinas aéreas. Dureza: 35-45RC. Polvo. Flama de plasma.

62.-Zirconato de magnesio. Produce recubrimientos -- que tienen resistencia al desgaste producido por la erosión por el choque térmico y por el calor de materiales fundidos a altas temperaturas. Dureza: 95RB. Polvo.

63.-Zirconato de calcio. Produce recubrimientos re-- sistentes al desgaste por erosión a altas temperaturas. Dureza: 30-31RC. Polvo.

Recubrimientos de carburo de tungsteno.

64.-Un compuesto formado por un grado fino de carburo de tungsteno y cobalto, produce recubrimientos delgados, duros y muy densos, que son resistentes al desgaste por deslizamiento de superficies duras y por erosión. Ofrece la mejor resistencia al desgaste de todos los recubrimientos de carburo de tungsteno. Dureza: 55RC. Polvo.

65.-Una mezcla de 75% del conjunto: carburo de tungsteno con 12% de cobalto; con una aleación autofundente y aluminuro de níquel. Produce recubrimientos delgados, duros y densos, que son auto-adherentes a muchos tipos de materiales. Son resistentes al calor, al choque térmico y al desgaste a temperaturas bajas. Mantiene su dureza a altas temperaturas (dureza caliente). Dureza: 52RC. Polvo.

66.-Mezcla especial de un 50% de un agregado de carburo de tungsteno y cobalto, con una aleación autofundente y con un compuesto de níquel y aluminio. Produce recubrimientos delgados, duros y densos, que tienen resistencia contra el desgaste a bajas temperaturas, alta fuerza de adherencia, dureza caliente y la capacidad especial de aceptar un acabado muy fino con piedras de carburo de silicio. Dureza: 40-50RC. Polvo.

67.-Una mezcla especial de 50% de agregados de carburo de tungsteno con 12% de cobalto, con una aleación autofundente y con aluminuro de níquel, produce recubrimientos delgados y densos que son resistentes al desgaste, al calor y al choque térmico. Demuestran muy buena adherencia, una alta resistencia a la tracción y dureza caliente. Dureza: 36 a 50RC. Polvo.

Carburos de cromo y otros recubrimientos de carburo.

68.-Una mezcla de 85% de carburo de cromo cristalino y 15% de cromo-níquel, produce recubrimientos lisos y densos que tienen resistencia contra el calor, la oxidación y el desgaste a altas temperaturas. Dureza: 32-40RC. Polvo.

69.-Una mezcla de 75% de carburo de cromo cristalino y 25% de cromo-níquel. Produce recubrimientos lisos, duros y fuertes, con buena resistencia al desgaste y a la oxidación a altas temperaturas. Dureza: 32-35RC. Polvo.

70.-Una mezcla de 60% de carburo de cromo con aluminuro de níquel y una aleación autofundente, produce recubri-

mientos delgados, densos y lisos que tienen resistencia al desgaste y a la oxidación a altas temperaturas. Dureza: -- 45RC. Polvo.

Recubrimientos de materiales refractarios.

71.-Molibdeno. Produce recubrimientos para largo uso que se adhieren fuertemente a las superficies lisas y limpias de la mayoría de los metales o aleaciones. Excelentes para reconstruir ejes que se usen en cojinetes de bronce, - que sufran abrasión severa a bajas temperaturas. Dureza: - 40RC. Alambre.

72.-Básicamente molibdeno puro; produce recubrimientos equivalentes a los del material mencionado antes en --- cuanto a sus características de adherencia y resistencia al desgaste; sin embargo, estos son ligeramente más blandos. Polvo.

73.-Una mezcla de un material de un alto contenido de molibdeno con una aleación autofundente, produce recubri--- mientos semi-fundidos, duros y densos que no requieren ser fundidos después de ser rociados. Se recomiendan si se requiere una superficie dura de deslizamiento, con una resistencia excelente contra el desgaste y contra rayaduras. -- Cuestan menos que los recubrimientos de molibdeno puro apli cados con alambre. Se adhiere con gran fuerza a muchos metales y aleaciones. Dureza: 40RC. Polvo.

74.-Básicamente tungsteno puro, produce recubrimien--- tos muy densos con gran resistencia al calor, que se adhie-

ren fácilmente a metales y no metales. Resisten el calor y la oxidación del cobre o del zinc fundidos. Polvo.

75.-Tántalo de alta pureza. Produce recubrimientos densos que se adhieren al acero y resisten altas temperaturas.

Recubrimientos de cermetas.

75.-Una mezcla de nitruro de boro, aluminio y una aleación de cromo-níquel, produce recubrimientos para control de tolerancias para uso a temperaturas entre 540°C y 815°C (1000 a 1500°F). Polvo.

76.-Una mezcla de zirconato de magnesio y cromo-níquel, produce recubrimientos que actúan como barreras térmicas.

77.-Una mezcla: 85% de níquel y 25% de grafito, produce recubrimientos para sellos de elementos de maquinaria y para control de tolerancias en rotores de turbinas de gas. Polvo.

78.-Un compuesto formado por grafito y una aleación de aluminio, produce un recubrimiento desgastable que se puede usar en la gama de temperaturas de 315°C - 460°C (600 - 900°F). Estos recubrimientos ofrecen una alternativa a los recubrimientos de níquel-grafito, pero a más bajo costo. Se recomienda cuando los álabes de turbina hacen contacto continuo con la cubierta. Polvo.

79.-Una mezcla de un 70% de óxido de aluminio y un 30% de aluminuro de níquel, produce recubrimientos lisos, -

muy duros y con resistencia contra la oxidación y el choque térmico. Tienen una adherencia excelente. Son más densos y fuertes, y tienen mayor resistencia contra la abrasión y el choque térmico que los recubrimientos de cerámica pura. Son muy útiles como capa intermedia en un sistema de recubrimientos de varios elementos. Polvo.

80.-Una mezcla de 65% de óxido de zirconio y 35% de aluminuro de níquel. Produce recubrimientos lisos y muy duros que tienen resistencia contra la oxidación y el choque térmico. Tienen una adherencia excelente y una expansión térmica media, lo que los hace muy útiles en sistemas de recubrimientos de varios elementos.

81.-Una mezcla de zirconato de magnesio y un compuesto de aluminio, cromo y níquel, se usa como capa intermedia en sistemas de tres capas gradientes (la capa de adherencia es de metal, la capa final es de cerámica). Este sistema distribuye las tensiones térmicas en aplicaciones a altas temperaturas y también resiste el choque térmico mientras actúa como barrera térmica. Polvo.

III.4 Aplicación de los recubrimientos.

Las ventajas que ofrecen los recubrimientos, pueden ampliarse, si todos los factores que afectan el rociado, -- son colocados bajo un control preciso, de acuerdo con las especificaciones de cada material y del método que se utiliza para su aplicación.

III.4.A) Metalizado

El suministro y la presión del oxígeno, del gas combustible y del aire, son correctamente controlados por reguladores de flujo y de presión.

Los valores de presión y suministro de los tres --- fluidos utilizados durante el metalizado varían según el material que se aplica, en los siguientes rangos:

| Gas | Presiones Kg/cm ² | Suministros m ³ /hr |
|-----------|---------------------------------|-----------------------------------|
| Acetileno | 0.5 - 1.5 | 0.5 - 1.5 |
| Oxígeno | 1 - 2.5 | 0.5 - 3 |
| Aire | 3.5 - 5 | 1.5 - 4 |

La alimentación del alambre es ajustada con gran precisión, y puede ser mantenida en un pequeño rango de velocidad predeterminada. La velocidad de suministro de alambre dará como resultado una dureza determinada del recubrimiento, aumentando o disminuyendo esta, en proporción directa -- con la velocidad.

La velocidad del alambre que se alimenta a la pistola metalizadora, se mide visualmente por la punta de alambre - que sobresale de la boquilla; esta debe oscilar entre 3 y 6 milímetros ($1/8''$ y $1/4''$); y se regula en la pistola con el dispositivo manual que opera la turbina de aire.

En la dureza de los recubrimientos de acero, influye también la distancia de la boquilla de la pistola a la superficie que se metaliza; a mayor distancia, se obtiene mayor dureza debido a la oxidación del material rociado; esta va de 15 a 20 centímetros aproximadamente.

El margen de velocidad controlada en la pistola con engranes estándar es de 0.45 a 6.0 m/min. Se dispone de un juego de engranes de alta velocidad, fácilmente instalables para proyectar de continuo, alambres de bajo punto de fusión. tales como aluminio y zinc, para 13.5 m/min aproximadamente.

El ángulo de inclinación de la pistola con respecto a la superficie rociada que resulta en un mayor rendimiento - del material y un recubrimiento más compacto, es de 90° , -- aunque puede variar hasta 45° en función del tipo de preparación de la pieza que se va a metalizar.

Para lograr el espesor deseado en el recubrimiento aplicado en forma continua, es necesario cuidar la temperatura de rociado, procurando mantenerla en un rango inferior a

200°C (392°F), misma que puede ser controlada usando un lápiz térmico o un termómetro digital.

III.4.B) Termo-rociado

La limpieza de las piezas que han de ser recubiertas por este método es una parte muy importante del mismo, ya que esta propicia una buena adherencia del material rociado y evita la contaminación del grano abrasivo cuando la superficie es preparada por granallado. Si es necesario, las piezas deben ser completamente desengrasadas, esto se hace, calentando el elemento hasta que no escurra aceite ni se desprenda humo del mismo.

La preparación más recomendable para superficies que han de metalizarse por termo-rociado es, como se ha mencionado, por medio de sopleteado con aire comprimido y grano abrasivo angular, endurecido, SAE No.18, para obtener una superficie áspera .

Si hay agujeros, chaveteros o ranuras en la pieza de trabajo que deban permanecer como estan, se tapan con madera durante el sopleteado. Para evitar atomizarlos, deberán ser tapados otra vez con carbón. La superficie superior del tapón de carbón quedará a nivel con la altura deseada del recubrimiento.

La superficie que va a ser recubierta se despojará -

de cualquier tratamiento superficial que haya recibido, y se precalentará a una temperatura de 100°C (212°F) aproximadamente.

La dureza en la escala de Rockwell C, indicará si la pieza de trabajo deberá ser recocida antes de la aplicación del recubrimiento, esto será, si es superior a 30HRC; si es menor o igual, la pieza puede ser rociada.

Recubrimientos autofundentes.

Los polvos de aleaciones autofundentes se aplican sobre la superficie debidamente preparada, manual o mecánicamente, la pistola se sostiene de manera que la distancia de la boquilla a la superficie sea de 10 a 20 cm.

Presiones:

| | | |
|------------|------------------------|-----------------------|
| Oxígeno | 2.5 Kg/cm ² | |
| Acetileno | 1.5 Kg/cm ² | |
| Aire | 2.5 Kg/cm ² | (opcional) |
| Gas inerte | 2.5 Kg/cm ² | (Ar, N, ... opcional) |

Caudales:

| | |
|-------------------|------------------------|
| Acetileno | 1 m ³ /hr |
| Oxígeno | 1.7 m ³ /hr |
| Aire o gas inerte | 0.5 m ³ /hr |

Polvo:

4.5 a 9.0 Kg/hr dependiendo de las especificaciones del material.

Si se está atomizando una pieza de revolución simétrica, lo más conveniente es colocarla en un torno ó en un dispositivo giratorio. La velocidad recomendada es de 15 a 50 m/min en la superficie de la pieza, dependiendo del tipo de polvo empleado y del espesor de la capa por pase.

La pistola se mueve a modo de ir depositando una capa uniforme de aproximadamente 0.2 a 0.3 mm (0.008" a 0.012") de espesor en cada pase. El avance: de 4 a 8 mm/rev.

Durante el cálculo del espesor del recubrimiento, deberá tenerse en cuenta que la capa aplicada, "encojerá" aproximadamente un 20% en el subsecuente proceso de fusión. Además, se considerará una tolerancia para maquinado mínima de 1 mm (0.04") de espesor aproximadamente. Es muy importante que la capa rociada sea lo más uniforme posible, ya que esto disminuirá el tiempo y la tolerancia necesarios -- para el maquinado.

Cuando se atomicen diámetros internos, las piezas deberán ser precalentadas de 205 a 260°C (400 a 500°F): esto dilatará el metal base antes de la aplicación del recubrimiento y evitará que se rompa ó distorsione la unión mecánica formada durante el rociado. Es conveniente realizar la fusión del recubrimiento inmediatamente después de aplicarlo.

Fusión.

La fusión de un recubrimiento puede ser efectuada de varias maneras; el objetivo es llevar la capa rociada hasta un rango de temperatura de 1010°C a 1300°C (1850°F a 2400°F) en el cual, el material adquiere una consistencia pastosa y se fusiona al metal base sin perder o modificar su forma.

El equipo que más se utiliza en este tipo de proceso es el soplete oxiacetilénico. Se usa una boquilla multifl~~u~~ma (que produce una flama suave y dispersa).

Con el soplete a una distancia de aproximadamente 100 mm (4") de la pieza, se dirige al metal adyacente al depósi~~to~~to atomizado hasta que alcance una temperatura de 600°C a 700°C (1100°F a 1300°F), después de esto, se dirige la flama al recubrimiento de manera que la distancia entre la flama y la superficie de la capa aplicada sea de 10 a 15 mm (4" a 6"). Posteriormente, el soplete es sostenido en esa posición hasta que el material rociado se funde, lo cual es revelado por su apariencia brillante. Una vez que esto sucede, el soplete se mueve hasta fundir totalmente el recubrimiento. El movimiento del soplete, dirigido precisamente delante de la capa vidriosa deberá ser constante, suficientemente lento para calentar el depósito a su temperatura de unión, pero también suficientemente aprisa para evitar que se aplique demasiado calor en un lugar, lo que propiciaría que el depósito se deforme.

Recubrimientos Cerámicos.

Es importante recalcar que para obtener una mejor adherencia en la aplicación de las cerámicas, es aconsejable aplicar un recubrimiento primario, el cual proporciona ventajas, tales como: protección contra la corrosión del material base, ya que los recubrimientos cerámicos son porosos y no la garantizan; además, permite una mejor adherencia de la cerámica.

Cuando se depositan capas muy finas, los materiales cerámicos se pueden suministrar directamente al material base, sin utilizar la capa de adherencia. Las capas superiores a 0.3 mm si requieren de una capa de adherencia cuyo espesor deberá ser de 0.1 a 0.2 mm de espesor.

Los polvos que se utilizan como capas de adherencia, son materiales que se caracterizan por su reacción exotérmica cuando son fundidos y rociados; luego de una buena limpieza, desengrasado, preparado y precalentado a 100°C aproximadamente, los materiales exotérmicos rociados proporcionarán una superficie muy áspera, ideal para la aplicación del recubrimiento final y una buena adherencia con el material base.

Para la aplicación de las capas de adherencia, las presiones y caudales son similares a las que se utilizan para los materiales autofundentes. La distancia de la boquilla a la pieza de trabajo, normalmente es de 100 a 200 mm (6" a 8"), mientras que la velocidad periférica para piezas

Es importante recalcar que para obtener una mejor adherencia en la aplicación de las cerámicas, es aconsejable aplicar un recubrimiento primario, el cual proporciona ventajas, tales como: protección contra la corrosión del material base, ya que los recubrimientos cerámicos son porosos y no la garantizan; además, permite una mejor adherencia de la cerámica.

Cuando se depositan capas muy finas, los materiales cerámicos se pueden suministrar directamente al material base, sin utilizar la capa de adherencia. Las capas superiores a 0.3 mm si requieren de una capa de adherencia cuyo espesor deberá ser de 0.1 a 0.2 mm de espesor.

Los polvos que se utilizan como capas de adherencia, son materiales que se caracterizan por su reacción exotérmica cuando son fundidos y rociados; luego de una buena limpieza, desengrasado, preparado y precalentado a 100°C aproximadamente, los materiales exotérmicos rociados proporcionarán una superficie muy áspera, ideal para la aplicación del recubrimiento final y una buena adherencia con el material base.

Para la aplicación de las capas de adherencia, las presiones y caudales son similares a las que se utilizan para los materiales autofundentes. La distancia de la boquilla a la pieza de trabajo, normalmente es de 100 a 200 mm (6" a 8"), mientras que la velocidad periférica para piezas

de revolución es de 15 a 20 m/min.

El espesor de la capa aplicada por pase de este tipo de polvos es de 0.1 a 0.15 mm.

Durante la aplicación de los materiales de adherencia se debe cuidar que la temperatura no exceda de 300°C, la cual puede controlarse con un lápiz termocolor o un termómetro digital; para evitar problemas de distorsión en las piezas durante el rociado.

En la aplicación de los recubrimientos cerámicos, deben cuidarse detalles característicos para obtener recubrimientos eficientes; tal es la distancia entre la boquilla de la pistola y la pieza, que será de 50 a 150 mm, para evitar enfriamiento prematuro del material fundido. La alimentación del polvo será de 1 a 1.5 Kg/hr. La velocidad de la pieza, durante el rociado de este tipo de materiales, será de 12 a 24 m/min, dependiendo del polvo utilizado.

Considerando que las piezas pequeñas tienden a sobrecalentarse rápidamente, debe utilizarse una mayor velocidad de las mismas; e instalar en la pistola de rociado un dispositivo o conexión que inyecte aire a alta velocidad al caudal de rociado, aumentando así la velocidad de las partículas y ayudando a enfriar el material base.

La velocidad de avance de la pistola será de 1.5 a 6

mm por revolución, cuando se trata de piezas de revolución.

Las necesidades de aire son de aproximadamente 0.1 -- m³/min a una presión de 1 Kg/cm² a 3 Kg/cm².

Todas las piezas a recubrir deben precalentarse a una temperatura entre 90°C y 150°C antes de la aplicación del recubrimiento de cerámica.

La aplicación de recubrimientos por termo-rociado con materiales diferentes, tales como: aceros inoxidable y al carbono, metales no ferrosos, etc., cuya aplicación no requiere de un tratamiento térmico posterior (fusión), se realiza con parámetros similares a los de los recubrimientos cerámicos, con pequeñas variaciones especificadas por el material que se utiliza y en las "tablas de rociado".

Las tablas de rociado son proporcionadas por los proveedores de los materiales para metalizar y especifican cada uno de los parámetros de aplicación de cada material; como presiones y caudales de los diferentes fluidos, tipos de boquillas, velocidad de alimentación del material rociado, distancia de la boquilla de la pistola a la pieza, etc.

Cuando los polvos son muy finos y ya que estos son alimentados por gravedad a la corriente de gases, se elimina la posibilidad de obstrucción del ducto de polvo mediante un vibrador, cuyo uso es indicado en las mismas tablas.

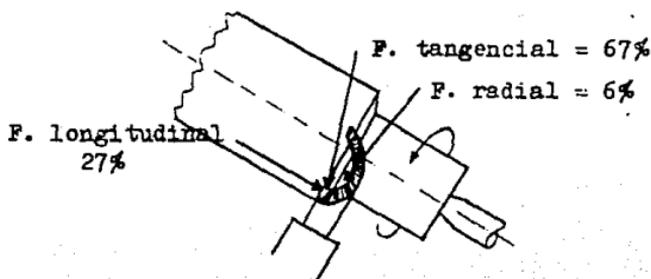
III.5 Acabados superficiales

Generalmente, las piezas y superficies recubiertas -- por metalizado (termo-rociado o flama de plasma), reciben un acabado posterior, ya sea por maquinado o rectificado, -- dependiendo del material rociado y de las condiciones de -- trabajo del elemento.

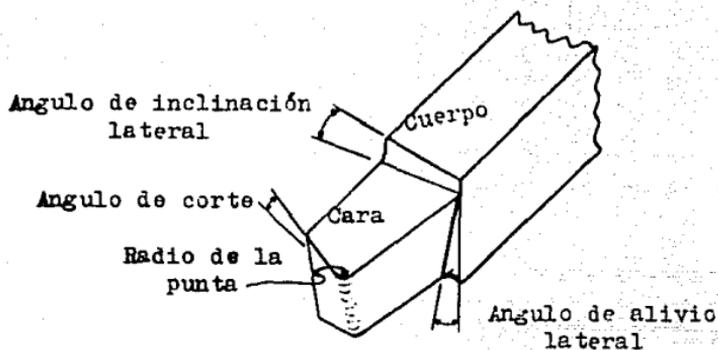
Maquinado

La forma más simple de herramienta cortante para ma-- quinado, es la de una sola punta, como la que se usa en tra-- bajos de torno y cepillo de codo.

La fuerza de rozamiento, muy importante en el maquina-- do de partes que han sido metalizadas, depende de factores tales como el afilado de la herramienta, la forma de la mis-- ma, la velocidad de corte, los materiales de la herramienta y de la pieza de trabajo, etc.



Distribución aproximada de las fuerzas que actúan en una herramienta de corte.



Herramienta de corte.

En la herramienta afilada en forma de cuña, el ángulo de alivio lateral es para evitar frotamiento de la herramienta con la pieza; es pequeño, usualmente de 6° a 8° ; el ángulo de inclinación lateral varía con el ángulo del filo, el cual por su parte, depende del material maquinado. El ángulo de corte debe ser suficientemente agudo para cortar bien y con un mínimo consumo de potencia, sin embargo debe ser lo suficientemente resistente para soportar las fuerzas involucradas y para disipar el calor generado. Los materiales duros requieren de un filo cortante de gran resistencia y capacidad para disipar calor. Los materiales blandos permiten el uso de ángulos de corte menores, de cerca de 22° . Los metales blandos y dúctiles, tales como el cobre y el aluminio, requieren de ángulos mayores, con un rango por encima de 47° , mientras que los materiales quebradizos requieren de ángulos aún mayores.

Materiales para herramientas de corte.

Las propiedades deseadas en cualquier material para herramientas incluyen: capacidad para resistir el ablandamiento a altas temperaturas, bajo coeficiente de fricción, buenas cualidades de resistencia a la abrasión y tenacidad suficiente para resistir la ruptura.

Los materiales empleados en las herramientas de corte son los siguientes:

Aceros al alto carbono.-Contenido de carbono de 0.8% a 1.2%; estos aceros tienen buena templabilidad y con un tratamiento apropiado alcanzan durezas tan grandes como las de las aleaciones de alta velocidad. Debido a que estos aceros pierden dureza alrededor de 300°C, no son convenientes para altas velocidades y trabajos pesados, restringiéndose su utilidad a trabajos en materiales blandos.

Aceros de alta velocidad.-Tienen excelente templabilidad y mantienen un buen filo cortante a temperaturas de 650°C aproximadamente. Las numerosas composiciones de aceros de alta velocidad se pueden agrupar en tres clases:

i) Acero de alta velocidad. Contienen 18% de tungsteno, 4% de cromo y 1% de vanadio; se le considera uno de los mejores aceros para herramientas de propósitos múltiples.

ii) Aceros de alta velocidad al molibdeno. Con 6% de tungsteno, 6% de molibdeno, 4% de cromo y 2% de vanadio aproximadamente; tienen una tenacidad y capacidad cortante excelentes.

iii) Aceros rápidos superiores. Contienen cobalto añadido de 2% a 15%, este elemento aumenta la eficiencia de corte, especialmente a altas temperaturas. Contienen aproximadamente: 20% de tungsteno, 4% de cromo, 2% de vanadio y 12% de cobalto. Debido al costo mayor de estos materiales, se usan para operaciones de corte pesadas que imponen presiones y temperaturas elevadas a la herramienta.

Aleaciones fundidas no ferrosas. Contienen de 12% a 25% de tungsteno, 40% a 50% de cobalto y 15% a 35% de cromo. Son excelentes materiales para herramientas de corte, tienen alta dureza al rojo y son capaces de mantener buenos filos cortantes a temperaturas por encima de los 925°C. Comparados con los aceros de alta velocidad, se pueden usar al doble de la velocidad de corte y aún mantener el mismo avance. Sin embargo, son más quebradizos, no responden al tratamiento térmico y se pueden maquinarse solo con esmeril. En cuanto a eficiencias de corte, están en un rango medio entre los aceros de alta velocidad y los carburos.

Carburos. Los insertos de carburo para herramienta de corte se hacen solo mediante la técnica de metalurgia de polvos. Las herramientas que contienen aproximadamente 94% de carburo de tungsteno y 6% de cobalto, son adecuadas para el maquinado de hierro fundido y la mayoría de los otros materiales, excepto el acero, ya que las virutas se sueldan a la superficie del carburo y destruyen pronto la herramienta. Un cambio en la composición elimina esta dificultad; un car

buro apropiado para el maquinado del acero es: 82% de carburo de tungsteno, 10% de carburo de titanio y 8% de carburo de cobalto. Esta composición tiene un bajo coeficiente de fricción, y por consecuencia tiene poca tendencia al desgaste. Su dureza al rojo es superior a la de los demás materiales, mantiene un filo cortante a temperaturas mayores a 1200°C. Es el material manufacturado más duro, sin embargo es muy quebradizo, tiene baja resistencia al choque y se debe sujetar muy rígidamente para prevenir una ruptura. Las herramientas de carburo permiten velocidades dos o tres veces mayores que las herramientas de aleaciones fundidas, pero con un avance más pequeño.

Carburo microgranular. Es un carburo de tungsteno de alta resistencia, alta dureza y tamaño de grano fino. Se usan cuando las velocidades de corte son muy bajas para los carburos normales, pero que las herramientas convencionales no soportarían por desgaste. Las herramientas de carburo se pueden recubrir con un depósito muy delgado de carburo de titanio, óxido de aluminio o nitruro de titanio (0.05 a 0.08 mm) en una base de carburo de tungsteno. Estos recubrimientos reducen el calor causado por el flujo de viruta sobre la herramienta y sus efectos de fusión y adhesión.

Herramientas de cerámica. El polvo de óxido de aluminio, junto con aditivos de titanio, magnesio u óxidos de cromo, se mezclan con algún aglutinante y se transforman con técnicas de metalurgia de polvos en una herramienta de

corte de inserción. El inserto se sujeta en el portaherramienta o se le adhiere por medio de una resina epóxica. El punto de ablandamiento de una herramienta de cerámica es mayor de 1100°C, y aunado a su baja conductividad térmica, posibilita la operación de la herramienta con altas velocidades y cortes profundos. El uso de las herramientas de cerámica está limitado solamente por su fragilidad, la rigidez, capacidad y velocidad de las máquinas convencionales y la dificultad para asegurar el inserto en su soporte.

Un buen acabado superficial por maquinado, está afectado por muchas variables. Los factores que mejoran el acabado superficial son los cortes ligeros, avances pequeños, velocidades de corte altas, puntas redondeadas en las herramientas y adecuados ángulos de inclinación en herramientas bien afiladas.

Velocidades de corte y avances.

La velocidad de corte se expresa en metros por minuto y en un torno es la velocidad superficial o la velocidad -- con la cual la pieza pasa por el filo del cortador y se puede expresar por la fórmula siguiente:

$$V_c = \frac{\pi \cdot D \cdot N}{1000}$$

Donde: Vc. Velocidad de corte

$$\pi = 3.1416$$

D. Diámetro en mm.

N. Velocidad de rotación en r.p.m.

En esta expresión, la velocidad de corte es un dato - que se obtiene de tablas para maquinado de diversos materiales, que se encuentran en textos y manuales. En los trabajos de torno, el factor desconocido es el término N , que va ría conforme disminuye el diámetro de la pieza para manter la velocidad de corte constante.

El término "avance" se refiere a la velocidad a la -- que una herramienta cortante se desplaza a lo largo o en la superficie de la pieza de trabajo. Para las máquinas en -- las que gira la pieza, el avance se expresa en milímetros - por revolución; para las máquinas en las que la herramienta o la pieza son alternativas, se expresa en milímetros por - golpe, y para piezas fijas y herramientas giratorias se expresa en milímetros por revolución de la herramienta.

Para lograr buenos acabados superficiales con preci-- sión, se deben tener en cuenta los tipos de corte que se -- realizan; se conocen tres cortes clásicos:

- i) Desbaste
- ii) Aproximación
- iii) Afinado

El corte de desbaste tiene el propósito de arrancar - la mayor cantidad posible de material.

El corte de aproximación debe controlarse para que el corte subsecuente (de afinado), alcance una profundidad mínima obteniéndose así un buen acabado superficial.

Para el corte de afinado se debe aumentar la velocidad de corte y "refrescar" el filo de la herramienta.

Maquinado con abrasivos

Es un proceso primario de arranque de material. No es una operación de acabado como el rectificado convencional. Se utilizan abrasivos revestidos consistentes del grano abrasivo, el respaldo y el aglutinante. Se considera al grano abrasivo como la herramienta, el respaldo como el portaherramienta y el aglutinante, como el medio para sujetar la herramienta al soporte.

Debido a que se usan máquinas pesadas, provistas con potencias elevadas (hasta 200 KW) y con las mejoras agregadas a las ruedas abrasivas, el maquinado con abrasivos ha probado ser un método económico para desprendimiento de material. El proceso proporciona arranque rápido del material, buen acabado superficial y control estricto de la dimensión.

Rectificado

Rectificar, significa desgastar por fricción o afilar. En manufactura se refiere al arranque de material por medio de una rueda abrasiva rotatoria. Hace muchos años, las rectificadoras se empleaban solamente para afilar y conservar las herramientas de corte. Actualmente ha llegado a ser u-

na máquina de producción de toda clase de partes metálicas.

Las ruedas rectificadoras se hacen de miles de granos abrasivos; cada uno de ellos es en realidad una pequeña herramienta de corte, que al ponerse en contacto con la pieza corta pequeñísimos trozos de material (viruta). La viruta demuestra que la rueda rectificadora corta metal en una forma parecida a la de una fresa. Al embotarse cada grano, se desprenderá de la rueda, apareciendo en su lugar otro nuevo y afilado. Las mejores ruedas rectificadoras tienen el --- grueso correcto de los granos abrasivos, los granos abrasivos separados lo suficiente para quitar la viruta y evitar que la rueda se tape y el tipo apropiado de aglutinante para producir la tersura correcta.

El rectificado produce calor igual que las demás operaciones de corte. En consecuencia, el rectificado precisa del abastecimiento de un líquido refrigerante. En el rectificado sencillo de superficies y el rectificado en el torno no se utiliza fluido de corte. Por esta razón, es muy importante hacer cortes ligeros.

Abrasivos. Un abrasivo es un material duro que puede usarse para cortar o desgastar otros materiales. En seguida se da una breve clasificación de los materiales abrasivos comunes usados en las ruedas de esmeril.

Abrasivos naturales:

1. Piedra arenisca ó cuarzo sólido.
2. Esmeril; 50% a 60% Al_2O_3 mas óxido de hierro.
3. Corindón; 75% a 90% Al_2O_3 mas óxido de hierro.
4. Diamantes.
5. Zafiro.

Abrasivos artificiales.

1. Carburo de silicio.
2. Oxido de aluminio.
3. Carburo de boro.

Selección de una rueda de esmeril.

Los factores que deben considerarse al elegir una rueda son:

a) Tamaño y forma de la rueda. Las formas principales de las ruedas de esmeril han sido normalizadas, y estas normas pueden obtenerse de cualquier fabricante de ruedas abrasivas.

b) Clase de abrasivo. Las ruedas de carburo de silicio se recomiendan para materiales de baja resistencia a la tracción, las ruedas de óxido de aluminio se usan de preferencia en materiales de alta resistencia a la tracción.

c) Tamaño del grano abrasivo. Las ruedas de grano basto se utilizan para materiales suaves, en tanto que las de grano fino se usan generalmente para materiales duros y frágiles.

d) Grado y resistencia del aglutinante. El grado ---

depende de la clase y dureza del material aglutinante usado.

e) Estructura o espaciamiento de los granos. Se refiere al número de aristas por unidad de área en la cara de la rueda, así como el número y el tamaño de los huecos entre los granos. Los materiales suaves requieren un espaciamiento mayor; un acabado fino requiere una rueda con espaciamientos más compactos entre las partículas abrasivas.

f) Función de la rueda. Los siguientes son factores que deben ser considerados para el caso que nos ocupa:

- i) Los materiales que han de rectificarse.
- ii) La cantidad de material que se requiere retirar
- iii) La velocidad del trabajo

Con el rectificado se alcanza una exactitud en las dimensiones hasta de 0.0254 mm (una milésima de pulgada).

III.6 Pruebas

III.6.A) Prueba de maquinado

Considerando que la adherencia entre los recubrimientos y el material base puede ser puramente mecánica, es muy importante evitar esfuerzos excesivos durante el maquinado de la capa rociada. Los materiales especificados "de fácil mecanizado", pueden ser acabados sin dificultad con herramientas de corte rápido y cortes de poca profundidad; aunque utilizando herramientas de carburo, es posible obtener acabados más satisfactorios.

III.6.B) Prueba de dureza

Se utiliza generalmente el método de medición de dureza Rockwell "B" y "C", y Brinnell.

Para obtener un dato confiable, se realizan tres o cuatro mediciones en diferentes partes del recubrimiento.

III.6.C) Ensayo químico

La aplicación de este tipo de prueba proporciona un conocimiento cualitativo de la presencia de aleantes específicos en un material. Para esto se utiliza un equipo constituido por diversos reactivos, agitadores, placas de porcelana, vasos de precipitado, iman, etc. La prueba no es destructiva y puede llevarse a cabo sobre la superficie del re

cubrimiento, o bien, en una probeta preparada para este fin. El método utilizado es muy simple, consiste en trasladar una o más gotas de muestras obtenidas por disolución del material en ácidos reactivos, a una placa de porcelana, y luego adicionar los indicadores que producirán los colores de identificación de un aleante.

Las características y la composición de un material para rociar son proporcionadas por el fabricante en boletines especiales; con este método puede comprobarse la presencia de los aleantes.

III.6.D) Prueba de porosidad

Los ensayos de porosidad de un depósito tienen gran importancia por la relación directa que esta tiene con la corrosión.

La existencia de poros en un recubrimiento, no siempre es apreciable a simple vista, ya que además de los poros visibles, existen también los llamados "poros enmascarados", totalmente invisibles por estar cubiertos con una fina película fácilmente atacable por la corrosión.

Entre los procedimientos empleados para la determinación de la porosidad, uno de los más usados, tanto en laboratorios como en factorías, es el método llamado del "ferroxilo".

Método del ferroxilo

Es un método muy sencillo y muy empleado, que si bien, no da un dato cuantitativo, y que solamente informa

del número de poros, pero no de su tamaño. Se basa en la aparición de pequeñas manchas sobre un papel humedecido con un reactivo adecuado, cuando se coloca este sobre una superficie porosa, produciéndose diferentes coloraciones por la reacción con el material del depósito.

CAPITULO IV

ESTUDIO ECONOMICO

Hablar de un estudio económico de un proceso ó técnica no implica su completa aceptación en determinada aplicación, puesto que es necesario considerar además, que presentará ventajas y desventajas sobre otros métodos capaces de satisfacer la misma necesidad.

En el proceso de rociado por medio de flama, se ha seccionado un caso de aplicación que resulta muy común en el área de mantenimiento mecánico de la refinería "18 de marzo" de Petróleos Mexicanos; Y que consiste en la recuperación de flechas de turbinas de vapor medianas y pequeñas que son utilizadas para el accionamiento de equipos tales como bombas, compresores y ventiladores que se utilizan durante el proceso de refinación del petróleo, y que resultan dañadas frecuentemente en las áreas de cojinetes y carboneras dadas las holguras que éstas requieren.

Los datos que nos permitirán tener una idea de los costos que este proceso implica, estarán referidos a una turbina mediana, de la marca "Worthington", modelo U-14104.

Potencia: 350 HP (260 KW)

Velocidad: 3,600 rpm

Peso: 550 Kg (1 200 lb)

Presión de vapor entrando: 42 Kg/cm²
 " " " saliendo: 0.703 Kg/cm²
 Temperatura: 385°C (726°F)
 Gasto de vapor: 4 500 Kg/hr.

Está acoplada con una bomba centrífuga que alimenta -
 agua tratada a calderas. La bomba es de la marca "Inger---
 soll-Rand", modelo 4-RTS de seis pasos.

Potencia: 350 HP
 Velocidad: 3 600 rpm
 Gasto de agua: 1.987 m³/min
 N.P.S.H.: 6m
 Presión descarga: 56 Kg/cm²
 " succión: 1 Kg/cm²

IV.1 Costo de un elemento nuevo

En este punto es conveniente considerar el tiempo que
 puede transcurrir entre la formulación de un pedido y la en
trega del equipo; si la requisición es autorizada y conve--
 nientemente legalizada, el equipo puede ser entregado en el
 transcurso de una semana, si el material se encuentra dispo
nible; si no es así, podrá surtirse en un lapso de 40 a 60
 días.

| Material | Costo |
|----------------------|------------------------|
| Turbina completa | \$ 25 000.00 (dólares) |
| Rotor | \$ 11 000.00 " |
| Carbones (8 anillos) | \$ 12.75 " |

| Material | Costo |
|------------------------|---------------------|
| Chumacera (gobernador) | \$ 275.00 (dólares) |
| " (cople) | \$ 355.00 (dólares) |

Nota: Estos precios son vigentes en enero de 1988.

IV.2 Costos de recuperación del elemento por metalización.

Para obtener un costo aproximado de la recuperación de un elemento, seguiremos el proceso completo para metalizar la flecha de la turbina descrita antes, en sus cuatro zonas; a saber, dos en contacto con los carbones y dos con las chumaceras.

La flecha es de acero al carbono, y las partes que se rociarán tienen diámetros de 6.35 cm (2 1/2 ") y longitud de 10 cm (4 ") aproximadamente.

Las chumaceras están constituidas por cascos de acero al Carbono con un revestimiento interior de Babbit. La holgura permitida entre las chumaceras y la flecha es de 0.15 milímetros (6 milésimas de pulgada).

Las causas más frecuentes por las cuales ocurre desgaste en las zonas de los cojinetes de las turbinas de vapor son:

- Vibración por desbalanceo del rotor
- Partículas abrasivas atrapadas en esas áreas

- Lubricación insuficiente (sobrecalentamiento)
- Desgaste por trabajo normal (18 meses aprox.)

Para el recubrimiento que satisface las necesidades - de trabajo de la flecha, se requiere un material resistente al desgaste, resistente a la oxidación, autolubricado y fácil de maquinar.

Se ha seleccionado un alambre de acero al Carbono sobre una base autoadherente de níquel y aluminio, que además de incrementar la adherencia del recubrimiento, lo provee de la resistencia a la oxidación.

Base: Material que produce una reacción exotérmica durante el rociado adhiriéndose fuertemente a la superficie - de la pieza y presenta una textura muy áspera, deseable en la aplicación del recubrimiento final.

Composición: níquel - 80%
aluminio - 20%

Dureza: 22 RC

Densidad: 6 g/cc

Textura: muy áspera

Resistente a la oxidación

Alambre (especial para metalizar)

Recubrimiento final: Acero al Carbono en forma de alambre - con las siguientes características:

Composición: Carbono - 0.23%
Fósforo - 0.04%

Azufre - 0.04%
Manganeso - 0.60%
Silicio - 0.10%
Hierro - 98.99%

- Fácil de maquinar
- Resistente al desgaste
- Produce una superficie porosa autolubricada
- Dureza: 94 RB
- Densidad: 6.78 g/cc
- Aplicable en superficies de cojinetes

Preparación

Para una flecha que va a ser recubierta por primera vez, el tipo de preparación indicado es el granallado; si ya antes ha sido metalizada, se aplica el tipo de preparación mecánica; luego de retirar la capa metalizada anterior se desbastan las zonas dañadas aproximadamente 1 mm (40 milésimas) de espesor, usando para ello una herramienta de acero rápido y con una velocidad de corte de 1.27 m/seg (en la superficie de la flecha), lo que implica que la velocidad del husillo del torno sea de 382 r.p.m., aproximadamente. Después del desbaste se hace una cuerda de 28 a 32 hilos/pulgada (1.18 hilos/mm) con 0.5 mm (20 milésimas de pulgada) de profundidad, seguida de un moleteado para achatar las crestas.

El trabajo de preparación de una flecha de este tipo, con las cuatro zonas dañadas, se realiza aproximadamente en dos horas.

Un operario capacitado en la aplicación del proceso de metalización cobra aproximadamente \$ 28 000.00/hora de preparación para metalización.

Antes del rociado, la pieza es precalentada de 90°C a 110°C, controlando esta temperatura mediante un lápiz térmico generalmente.

Rociado

Se aplica la capa de material base manteniendo una distancia entre la boquilla de la pistola y la superficie de la flecha, de 10 a 15 cm (4" a 6"); y una temperatura no mayor de 200°C (390°F). El espesor de ésta capa será de 0.10 a 0.15 mm (4 a 6 milésimas de pulgada), aproximadamente.

Los fluidos que intervienen durante el rociado y sus condiciones también deben ser controlados:

| Fluido | Presión | Gasto |
|-----------|------------------------|----------|
| Aire | 6 Kg/cm ² | 23 Kg/hr |
| Acetileno | 1.5 Kg/cm ² | 18 Kg/hr |
| Oxígeno | 2.5 Kg/cm ² | 20 Kg/hr |

Se aplica el material del recubrimiento final sobre la capa de adherencia, depositando capas uniformes y continuas, conservando entre la boquilla de la pistola y la pieza una distancia de 15 a 20 cm (6 a 8 pulgadas), hasta alcanzar el espesor deseado.

El espesor del recubrimiento debe considerarse, además

del desbaste realizado y el recubrimiento anterior retirado, una tolerancia para maquinado.

La tolerancia para maquinado deberá adecuarse a las características del material rociado y a las necesidades de cada caso.

Espesor del material retirado:

| | |
|--------------------------------|---|
| 1.5 mm (60 milésimas de pulg.) | Rec. anterior para el caso que nos ocupa. |
| 1.0 mm (40 " " ") | Desbaste. |
| 0.5 mm (20 " " ") | Rosca (profundidad). |
| <hr/> | |
| 3.0 mm (120 " " ") | Aproximadamente. |

El espesor de la capa de material de adherencia se ha especificado en un rango de 0.1 a 0.15 mm, pero puede ampliarse hasta 0.30 mm (a 12 milésimas de pulgada).

El material del recubrimiento es aplicado (rociado) - hasta que ha alcanzado un diámetro de aproximadamente ----- 63.50 mm + 1.5 mm (2 1/2 " + 1/16 "), que servirá como tolerancia para maquinado.

Por tanto, se aplicará un recubrimiento de espesor:

0.30 mm (0.012 ") Base de adherencia.

1.50 mm (0.060 ") Reposición del recubrimiento retirado.

1.20 mm (0.048 ") Desbaste de material base.

La densidad especificada para el material utilizado durante la metalización es: $\rho = 6.78 \text{ g/cc}$.

De donde:

$$M = V_1 \times \rho$$

$$M = (374.03)(6.78)$$

$$M = 2.5 \text{ Kg}$$

es el material necesario para la recuperación de nuestra flecha.

Para febrero de 1988, 2.27 Kg (5 libras) de polvo para termo-rociado cuesta \$ 700 000.00 en promedio, y la misma cantidad de alambre para metalizar cuesta \$ 500 000.00 en promedio.

Por tanto, el importe del material necesario para la recuperación de la pieza en cuestión será de \$ 550 600.00 - aproximadamente.

El tiempo que utiliza un obrero (capacitado) para la aplicación de un metalizado de estas características es alrededor de 1.5 hrs, y cobra a razón de \$ 35 000.00 /hr, - si el equipo requerido es proporcionado por él mismo.

En resumen, el costo total de recuperación de la flecha que nos ocupa es aproximadamente:

| | |
|---------------|--------------|
| \$ 550 600.00 | Material |
| 56 000.00 | Preparación |
| 52 500.00 | Metalización |

0.75 mm (0.030 ") Tolerancia para maquinado.

3.75 mm 0.150 " Aproximadamente.

Finalmente, el recubrimiento que se aplicará tendrá un espesor de 3.75 mm (0.150 "), y se rociarán las cuatro zonas mencionadas de la flecha, cuyo diámetro después del maquinado, será de 6.35 cm (2 1/2 "); y tienen una longitud de 10 cm (3.9 ") cada una; por tanto:

el volumen de material necesario se puede calcular de la siguiente manera:

$$V = 4 \times P \times L \times t$$

donde:

4 se calcula para cuatro zonas similares

P es el perímetro de las partes de la flecha que serán rociadas

L es la longitud de una zona

t es el espesor del recubrimiento requerido

$$V = 4(\pi)(6.35)(10)(0.375) \text{ cm}^3 \text{ ó cc}$$

$$V = 299.23 \text{ cm}^3 \text{ ó cc}$$

con una eficiencia aproximada de 80%:

$$V_1 = \frac{299.23}{0.80} = 374.03 \text{ cm}^3 \text{ ó cc}$$

↓ 20 000.00 Acabado

\$ 679 100.00 Total

Es importante hacer notar, que los costos mencionados antes, pueden ser modificados por factores tales como: la destreza del operario al aplicar el recubrimiento, el espesor del recubrimiento requerido y el buen funcionamiento de la pistola metalizadora, entre otros.

CONCLUSIONES

El proceso de rociado por medio de flama de un material es un método que puede utilizarse en la fabricación de partes y equipos, así como en la reparación de los mismos. Tiene así mismo, características específicas que lo hacen el más indicado para determinado trabajo o lo ponen en desventaja con otros procesos en otra aplicación.

Mencionar ventajas y desventajas del método en cuestión sería relativo, ya que lo que pudiera constituir una ventaja en determinado caso, también podría reducir su utilidad en otro.

Por lo anterior, solamente se enumeran las características principales que este proceso presenta.

Para la aplicación de un recubrimiento rociado por medio de flama, no se requiere de un operario altamente especializado.

La variedad de materiales que pueden ser aplicados con este método hace que sea un proceso muy versátil con un amplio campo.

Las propiedades mecánicas de los recubrimientos pueden variar de acuerdo a los parámetros que se utilizan durante el rociado.

Es un proceso que ofrece economía si se aplica en el diseño, rapidez cuando se usa en la recuperación de piezas diversas y facilidad de transportar el equipo para aplicar recubrimientos en áreas de trabajo.

Estos recubrimientos se pueden aplicar sobre una gran variedad de materiales, como vidrio, cerámicas, metales, -- etc.

Las dimensiones de las piezas rociadas se controlan fácilmente.

Como todo proceso, este presenta algunas limitaciones que, aunque podrían delimitar su campo de aplicación, no -- disminuyen su utilidad.

Cuando la pieza que se desea metalizar está sujeta a condiciones de trabajo en las que debe resistir impactos, - golpeteo continuo o concentración de esfuerzos, no es aconsejable un recubrimiento de este tipo, que podría presentar problemas por el tipo de adherencia.

Es importante si la pieza que se va a recubrir es metálica, asegurar que no ha sido atacada por la corrosión -- cuando ya ha sido preparada, ya que esto podría debilitar - la unión del recubrimiento a la pieza.

La forma de las piezas también impone limitaciones a

la metalización. El flujo del material fundido debe ser --
proyectado perpendicularmente a las superficies en el mejor
de los casos, no pudiendo ser el ángulo de proyección, infe
rior a 45° .

BIBLIOGRAFIA

Begeman, Amstead y Ostwald. Procesos de Manufactura.
Editorial C.E.C.S.A. Capítulos: 2, 17 y 26.

Flinn y Trejan. Materiales de Ingeniería y sus Aplicaciones.
Editorial Mc Graw Hill.

Islas Navarrete Eduarde, Ing. Mantenimiento Mecánico
en Turbinas de Vapor (Prácticas Profesionales).
I.P.N. 1978.

METCO, Boletines Técnicos. Alambres. Polvos.

METCO, Índice de Recubrimientos. Metco Inc.

METCO, Manual de Metalización. Edición Española.

PEMEX. Apuntes del Tercer Seminario de Mantenimiento
Mecánico y de Plantas. Ref. "18 de marzo" PEMEX.

Severns, W. H. Energía Mediante Vapor, Aire o Gas.
Editorial Reverté.

UTP Instructivo de Termo-rociado.