

213
20j

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO



Facultad de Ingeniería

OBTENCION Y CARACTERIZACION DE RECUBRIMIENTOS DE COBRE QUIMICO SOBRE ACERO Y ZINALCO

T E S I S

Que Para Obtener el Título de:

INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

P R E S E N T A:

JAVIER GONZALEZ RODARTE

DIRECTOR:

M. C. Arturo Barba Pingarron



Universidad Nacional
Autónoma de México



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.

I N D I C E

			Página
Capítulo	I.-	Introducción	1
Capítulo	II.-	Tipos de Recubrimiento	6
	II.1.-	Proceso Electrolítico	6
		Baño Acido de Cobre	8
	II.2.-	Proceso Químico	14
		Estabilidad del Baño	18
		Baños de Recubrimiento	20
		Recubrimientos en Sustratos	
		Varios	24
		Propiedades del Depósito	26
Capítulo	III.-	Pruebas en Recubrimientos	28
	III.1.-	Prueba de Espesores	31
	III.1.1.-	Métodos Microscópicos	31
	III.1.2.-	Métodos Químicos	32
	III.1.3.-	Métodos Mecánicos	34
	III.1.4.-	Métodos de Rayos X	34
	III.2.-	Pruebas de Corrosión	35
	III.3.-	Pruebas en Ambientes Naturales	35
	III.4.-	Pruebas Aceleradas	37
	III.4.1.-	Prueba de Corrodokote	37
	III.4.2.-	Prueba por Inmersión de Agua Caliente	38
	III.4.3.-	Pruebas Cíclicas	38
Capítulo	IV.-	Inspección de Muestras	39
		Factores de Inspección Visual	39

		Equipo de Inspección	41
		Personal de Inspección	41
Capítulo	V.-	Experimentación	43
	V.1.-	Preparación de Muestras	43
	V.2.-	Limpieza de Muestras	44
	V.3.-	Parámetros del Baño No Electro- lítico	45
	V.4.-	Descomposición de la Solución Recubridora No Electrolítica	46
	V.5.-	Preparación de los Baños	48
	V.6.-	Parámetros Variados	49
Capítulo	VI.-	Presentación y Discusión de Resultados	51
Capítulo	VII.-	Conclusiones y Recomendacio- nes	63
Capítulo	VIII.-	Bibliografía	68

CAPITULO I

INTRODUCCION

I.1.- RECUBRIMIENTOS METALICOS

Con muy pocas excepciones, cualquier producto comercial hecho de metal, deberá tener sus superficies bien terminadas. En tanto que el objetivo principal del recubrimiento o de acabado es generalmente mejorar la apariencia y el valor de venta del artículo, a la mayoría de los metales se les recubre para proporcionarles una resistencia permanente a las influencias destructivas, debidas al desgaste, a la descomposición electrolítica y al contacto con la intemperie o la atmósfera corrosiva.

En general, el proceso de recubrimiento es la aplicación de un espesor finito de algún material sobre el metal, o en la transformación de su superficie, por medios químicos o eléctricos para lograr un óxido del metal original.

I.2.- GALVANOPLASTIA

La Galvanoplastia ha servido durante mucho tiempo como un medio para aplicar a los metales capas decorativas y protectoras.

Para la resistencia al desgaste y la abrasión, el metal más sobresaliente utilizado en el recubrimiento de las superficies, es el cromo. Las capas son alrededor de 0.05 mm de espesor, pudiendo ser considerablemente más gruesas. No se

aplican a un metal originalmente blando, sino directamente a un metal duro.

Si se depositara sobre un metal blando como el cobre o el níquel el producto tendría una alta resistencia a la corrosión, pero su resistencia a la abrasión sería mucho menor.

Por lo tanto, la medida de la dureza o de la resistencia a la abrasión es, hasta cierto punto, una función del metal sobre el cual se deposita, así como del depósito mismo de cromo.

El proceso electrolítico consiste en hacer pasar una corriente eléctrica desde un ánodo hasta un cátodo (el cátodo viene a ser el objeto sobre el cual se deposita el metal) a través de una solución de cromo convenientemente preparada, conductora de electricidad, en presencia de un catalizador. El catalizador podrá o no intervenir en la descomposición electrolítica. Se utiliza como electrolito una solución de ácido crómico con alto grado de saturación. Las superficies deberán ser completamente pulidas y limpiadas antes de comenzar la operación. En virtud de que la rapidez con que se efectúa la depositación es considerablemente pequeña, las piezas deberán permanecer en los tanques varias horas para un recubrimiento grueso.

El cromo ha probado ser satisfactorio para piezas de resistencia al desgaste, debido a su extrema dureza, que excede a la mayoría de los metales comerciales. De acuerdo con la escala Brinell, la dureza del depósito del cromo oscila

entre 500 y 900, esta amplia variación, no es debida al metal, sino a los métodos y equipos usados.

I.3.- LIMPIEZA DE PIEZAS

Antes de que los metales puedan ser recubiertos, es necesario preparar la superficie convenientemente para la buena adhesión. Las partes se limpian por diferentes procesos, dependiendo del material, su tamaño, las particularidades de las superficies y la clase de recubrimiento que deba aplicarse.

Los métodos básicos empleados son: mecánicos, como el chorro de arena o barril de flotación; procesos químicos, tales como los de agentes alcalinos, ácidos u orgánicos y también la limpieza electrolítica.

REGLAS GENERALES DEL TRATAMIENTO DE LAS SUPERFICIES ANTES DE LAS OPERACIONES DE METALIZACION.

Las impurezas que deben eliminarse son:

- 1.- Los cuerpos grasos.
- 2.- Los óxidos.

A).- Desengrasado.

Puede operarse con una solución diluida de solución cáustica hirviendo (potasa) o por electrólisis de una solución acuosa de cianuro potásico y de potasa.

Este último método, excelente, está poco extendido debido al peligro del cianuro. El ánodo soluble es una chapa de hierro, el cátodo es el objeto que debe desengrasarse, se opera bajo 5 a 7 voltios con una densidad de corriente de

1.5 a 2 amperios/dm².

El fosfato trisódico al 10% ha dado en frío buenos resultados para los tubos de condensadores que deseábamos inhibir.

Hay que contar con un contacto de la pieza y del electrolito de aproximadamente 10 horas.

B).- Decapado.

En primer lugar, la exposición a la intemperie provoca la herrumbre, libera el óxido de las virutas y contribuye también el desengrasado. Conocemos también los medios mecánicos: cepillado, chorreado de arena, chorreado de granalla.

En cuanto al decapado, podemos utilizar ácidos puros o recurrir a ácidos inhibidores que limitan la profundidad del ataque.

El ácido sulfúrico, ha resuelto la cuestión del decapado, ya se trate de ácidos inhibidores o de cloruros dobles de cinc o de amonio.

El decapado electrolítico pierde ahora su importancia, observamos, sin embargo, para este procedimiento particular de decapado, que las piezas que deben tratarse son ánodos que exigen de 10 a 15 minutos de baño de ácido sulfúrico de 22° Baumé, a una concentración de 10%; se trabaja a 6 o 10 volts con una densidad de corriente del orden de 1 amperio/dm².

Puede operarse a la inversa en electrolito alcalino; en este caso que debe desherrumbrarse es el cátodo y ello es más interesante. Lavado y cepillado son las últimas ope--

raciones, sin embargo, puede aparecer una pequeña fragilidad imposible de preveer.

Es pues necesario ser prudente si las piezas decapadas por este procedimiento deben trabajar duramente o estar sometidas a vibraciones. Este defecto es general y las piezas sometidas a protección catódica, voluntaria o involuntariamente, corren también el riesgo de hacerse frágiles sin que se sepa muy bien por qué.

CAPITULO II

TIPOS DE RECUBRIMIENTOS DE COBRE

II.1.- PROCESO ELECTROLITICO

Compuestos de cobre

C o m p u e s t o	C o b r e	
	Cuproso	Cúprico
	Cu ^I	Cu ^{II}
Oxido.....	Cu ₂ O	CuO
Cloruro.....	CuCl	CuCl ₂
Sulfato.....	Cu ₂ SO ₄	CuSO ₄
Cianuro.....	CuCN	Cu(CN) ₂
Cianuro Doble..	K ₂ C ₄ (CN) ₃	

La división de baños galvanizadores de cobre se encuentra en los tipos cúprico (Cu^{II}) y cuproso (Cu^I), puesto que la valencia determina el equivalente electroquímico del cobre, con una eficiencia del 100% del cátodo, 1 amper-hora de deposita 2.372 g de cobre de baños cuprosos y 1.186 g de baños cúpricos. Podría parecer que los baños cuprosos, por ejem---plo: el cianuro cuproso, serían siempre más económicos, sin embargo, deben considerarse muchos otros factores, como los siguientes:

a).- La eficiencia del cátodo es prácticamente del 100% en todos los baños de sales cúpricas, particularmente el ba-ño de sulfato de cobre, mientras que en muchos baños de cia-

nuro de cobre la eficiencia no pasa del 70% y puede bajar hasta el 50%.

b).- Se pueden obtener eficiencias de cerca del 100% usando baños de cianuro más concentrados, preparados con sales de potasio, con menos cianuro libre o una alta alcalinidad.

c).- Los baños cúpricos, especialmente de sulfato de cobre, son más baratos que los baños de cianuro.

d).- Los baños de sales cúpricas son más estables que los baños de cianuro, de aquí que se requiere menos tiempo y atención para controlarlos.

e).- Los baños de cianuro pueden conservarse en tanques forrados de plomo, hule o material plástico.

f).- La mayoría de los baños cúpricos no pueden ser usados para galvanizar directamente sobre acero o cinc, porque tienden a depositar cobre por inmersión, de ordinario en una forma no adherente. De aquí que los baños de cianuro sean empleados generalmente para depositar al menos una capa inicial de cobre.

Es demasiado pronto para valorar los diferentes tipos de baños cúpricos. Para reemplazar al muy barato y estable baño de sulfato de cobre, otro baño deberá compensar su mayor costo con ventajas positivas, como mayor amplitud para corrientes de más alta densidad, depósitos de grano más fino o mayores facilidades de operación. Los baños ácidos de cobre se usan principalmente en electrotipia y otras aplicacio

nes de electroformación, por ejemplo, de matrices fonográficas y para depósitos de cobre relativamente gruesos, en muchos casos sobre una capa inicial de cianuro sobre acero.

Los depósitos de cianuro de cobre se usan generalmente para proteger determinadas áreas de acero contra el endurecimiento exterior, aunque algunas veces se aplican para depósitos gruesos de cobre ácido sobre cianuro de cobre. El espesor del cobre que se requiere para evitar el endurecimiento exterior del acero, depende del tiempo y temperatura del proceso de endurecimiento. Para la mayoría de los casos son adecuadas capas de 0.013 mm a 0.025 mm. Un factor importante es la porosidad que disminuye normalmente al aumentar el espesor. Los recubrimientos de cobre se usan también para proteger el acero en escamas durante el tratamiento térmico y facilitar las operaciones de fundición profunda.

BAÑO ACIDO DE SULFATO DE COBRE

Los dos componentes esenciales son sulfato de cobre y ácido sulfúrico. La sal proporciona los iones de metal y el ácido sirve para reducir la resistividad, disminuir la concentración del ión metálico, aumentar la corrosión del ánodo y evitar la precipitación de sales básicas cuprosas o cúpricas. Las concentraciones permisibles y las proporciones de sulfato de cobre y de ácido, están limitadas por el hecho de que el aumento de ácido sulfúrico disminuye la solubilidad del sulfato de cobre, como se ve en la tabla No. 1.

El efecto del ácido sobre la resistividad se muestra en

la tabla No. 2.

Una fórmula típica para un baño ácido de cobre agitado por aire es la siguiente:

BAÑO ACIDO DE COBRE	N	g/l
Sulfato de cobre $\text{CuSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	2	250
Acido sulfúrico H_2SO_4	1.5	75
Temperatura de 20 a 50°C		
Densidad de corriente 2 a 10 amp/dm ²		

Tabla No. 1.- SOLUBILIDADES DEL SULFATO DE COBRE EN PRESENCIA DE ACIDO SULFURICO A 25°C (77°F)

ACIDO SULFURICO		SOLUBILIDAD DEL SULFATO DE COBRE	
P R E S E N T E		$\text{CuSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	
N	g/l	N	g/l
0	2.82	352
0.5	24.5	2.61	326
1.0	49.0	2.42	304
1.5	73.5	2.28	285
2.0	98.1	2.14	267
2.5	122.6	2.00	250
3.0	147.1	1.84	230
3.5	171.6	1.70	212

N.- Normalidad (g/l).

Las proporciones en la tabla del baño ácido de cobre no son complicadas y frecuentemente se emplea una concentración más baja de ácido sulfúrico.

La gran pureza del sulfato de cobre no es importante, pues en pequeñas cantidades de níquel, cinc o arsénico prácticamente no tienen efecto en el depósito o las propiedades del cobre en soluciones ácidas de sulfato. Como principio general, es deseable que se use sulfato de cobre puro, pero es to no justifica el aumento en el costo.

Tabla No. 2.- RESISTIVIDADES DE LAS SOLUCIONES DE SULFATO DE COBRE-ACIDO SULFURICO A 25°C (77°F)

H ₂ SO ₄ g/l	0	50	100	150	200	
CuSO ₄ H ₂ O g/l	0	..	4.8	2.44	1.77	1.46
	50	65	4.9	2.58	1.88	1.55
	100	45	5.1	2.86	2.00	1.67
	150	29	5.3	3.04	2.18	1.79
	200	24	5.5	3.14	2.31	

Debido a que más frecuentemente se agrega ácido sulfúrico que sulfato de cobre, el ácido sulfúrico deberá ser relativamente puro, pero no necesariamente grado químicamente puro.

En una operación continua, especialmente cuando se emplea agitación con aire como en electrotipia, la concentración de sulfato de cobre tiende a aumentar y la del ácido sulfúrico a disminuir.

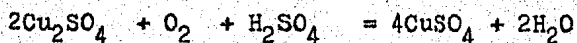
Este cambio proviene del hecho de que la eficiencia del ánodo es en cierta forma mayor que la del cátodo, puesto que

la de este último es de prácticamente 100% en la escala de trabajo, es evidente que la eficiencia aparte del ánodo es de más de 100%. Esta anomalía se explica porque en las soluciones del sulfato de cobre, el cobre puede existir tanto como sulfato cúprico CuSO_4 o como sulfato cuproso Cu_2SO_4 . Bajo condiciones normales la concentración de la solución cuprosa es muy baja y especialmente en presencia de oxígeno de aire, se oxida como sulfato cúprico.

Es posible para el cobre disolverse del ánodo para formar ya sea sales o iones, cúpricos o cuprosos, con una eficiencia del 100% para solución de cobre; para sulfato cuproso, se disuelve 2 veces más por amp-hr que para formar cobre cúprico. Aún la formación de una pequeña cantidad de solución cuprosa en el ánodo representa un exceso de lo que se convierte en solución sobre la ya depositada en el cátodo, la sal cuprosa se oxida entonces para formar sulfato cúprico del cual se deposita principalmente el cobre.

Cuando el baño no está en operación también se disuelve algo de cobre. Esta acción depende del hecho de que el sulfato cúprico tiende a reaccionar con el cobre para formar sulfato cuproso. $\text{Cu} + \text{CuSO}_4 = \text{Cu}_2\text{SO}_4$

En contacto con el aire, el sulfato cuproso se oxida a cúprico, lo que permite que continúe la disolución del cobre



Para corregir este aumento en el contenido de cobre en

los baños, se acostumbra en electrotipia desechar parte del baño a fin de eliminar parte del sulfato de cobre y agregar ácido sulfúrico y agua, para devolver a la solución su composición normal.

Esta práctica de desperdicio puede evitarse usando ánodos de plomo en parte insoluble para que se deposite parte del cobre, con lo cual el contenido del cobre se reduce y el ácido sulfúrico se regenera. Una objeción práctica a este procedimiento es que en los ánodos insolubles, el oxígeno se difunde y lleva al aire un rocío irritante de solución ácida. Por lo tanto si se usan ánodos insolubles deberá proporcionarse buena ventilación. Se requiere un voltaje más alto y los cátodos opuestos a los ánodos de plomo pueden recibir menos corriente que aquellos opuestos al cobre.

Debido a que los depósitos de cobre de baño al sulfato ácido muestran una marcada tendencia a la formación de arborescencia y esto es inconveniente, se emplean más frecuentemente agentes aditivos para baños ácidos de cobre que para ningún otro. Los más efectivos son las proteínas como la pegadura que es universalmente empleada en la refinación de cobre usualmente junto con ~~con~~ residuo orgánico del proceso de sulfito para hacer pulpa del papel de madera. Una objeción seria al uso de pegadura en galvanizado de cobre o en baños de electrotipia, es que sus efectos son tan profundos que sólo necesitan unas pequeñas partes por millón y no hay ningún método satisfactorio de análisis para localizar esta pequeña cantidad de pegadura. Otro tipo común de agente aditivo para

el cobre incluye azúcares, que se agregan como melaza o como dextrosa comercial. Hay ciertas evidencias que los azúcares, tales como la dextrosa, caña de azúcar y levulosa producida por su inmersión en la solución ácida son menos efectivas como agentes aditivos que las pequeñas cantidades de impurezas presentes, algunas de las cuales, como la dextrina, son coloidales. En algunos casos se ha agregado almidón porque esta forma dextrina en la solución ácida.

Entre los agentes aditivos específicos que se emplean, está el fénico y el ácido carbólico C_6H_5OH , que produce depósitos más tersos y duros en electrotipia. De ordinario se agrega como ácido fenosulfúrico, formado con la combinación de fénico y ácido sulfúrico, una concentración equivalente a 1 g/l de fénico es suficiente.

Se sabe que los productos de la oxidación lenta de fénico como la quinidrona, pueden ser más efectivos que el fénico original.

El aumento en el uso del cobrizado en los últimos años ha hecho que se trate de producir depósitos de cobre brillante con baños ácidos. Entre las sustancias propuestas, se encuentra la tiourea N_2H_4CS , que produce depósitos semibrillantes que son relativamente suaves y pueden ser pulidos fácilmente para aumentar su brillo. Un agente humedecedor como el Tritón 720 es utilizado para aumentar la proporción de densidad de corriente para buenos depósitos. La melaza sirve para reducir la tendencia a causar estrias en los puntos de baja densidad de corriente.

Una fórmula típica para tal clase de baño se da en la tabla No. 3. Esta solución da mejores resultados a 22°C o por abajo de esta temperatura y con una densidad de corriente de 50 a 75 amp/dm² si se usa una buena agitación con aire o mecánica.

Tabla No. 3		g/l
Sulfato de cobre	CuSO ₄ ·5H ₂ O	250
Acido sulfúrico	H ₂ SO ₄	10-30
Tiourea	N ₂ H ₄ CS	0.01
Melaza		0.8
Tritón 720		0.2

II.2.- PROCESO QUIMICO

"Electroless plating" (recubrimiento sin electricidad) es el nombre dado originalmente por A. Brenner y G. Riddell a un método de recubrir cuerpos metálicos con una aleación amorfa de níquel o cobalto fosforado, a través de una reducción autocatalítica controlada de los cationes (Ni⁺⁺ o Co⁺⁺) en la superficie del cuerpo mencionado por medio de uniones de hipofosfito (H₂PO₂⁻) en un medio acuoso, sin el empleo de una fuente externa de corriente eléctrica. El significado del término fue ampliado subsecuentemente en la literatura técnica y de patentes, para abarcar la formación continua de depósitos metálicos, desde soluciones acuosas sobre cuerpos sólidos, a través de reacciones "redox" autocatalíticas.

En otras palabras, el recubrimiento sin electricidad se

caracteriza por una reducción selectiva de los iones metálicos, sólo en la superficie de un substrato catalítico sumergido en una solución acuosa, y por la depositación continua sobre ese substrato a través de la acción catalítica del depósito mismo.

La razón principal para el éxito comercial de este proceso (a pesar de la competencia del electrorrecubrimiento) se encuentra en la característica única de las propiedades especiales de los depósitos químicos.

El recubrimiento sin electricidad es de espesor uniforme sobre todas las áreas de la parte sólida, con independencia de su forma o geometría. Los recubrimientos aplicados en forma apropiada sobre superficies preparadas adecuadamente, son densos y virtualmente sin poros. Además, en el caso del níquel y el cobalto, el producto es una aleación amorfa del metal con fósforo (3 a 15% P), exhibiendo usualmente una resistencia más alta a la corrosión y capaz de ser endurecida posteriormente por tratamiento térmico.

Para promover el depósito sobre una superficie metálica, se puede utilizar un proceso de reducción acuosa, en el cual el metal se deposita a partir de la solución, generalmente bajo una acción catalítica, la velocidad del depósito es de ordinario lenta e invariable, lo que hace que el proceso sea inflexible.

El níquel es el metal que más se deposita por este método; sin embargo, otros metales se han depositado químicamente, en especial en la fase previa al recubrimiento de plásti

cos, del electroacabado convencional.

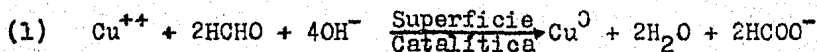
En los depósitos sin corriente, las dificultades de buscar soluciones convenientes son tales que se ha sacrificado una gran cantidad de control en el proceso del depósito. La necesidad de depositar sobre un no metal significa que debe de haber en la solución un agente reductor capaz de reaccionar espontáneamente. Sin embargo, para asegurarse de que ocurre la reducción en la superficie del sustrato hace falta un catalizador, aunque frecuentemente el sustrato metálico es su propio catalizador. El pH deberá controlarse con cuidado para obtener un poder de reducción óptimo, y con ello las máximas velocidades de depósito; al mismo tiempo, puede que sean necesarios complejantes para prevenir la formación de lodos y apartar los iones metálicos intermedios.

El recubrimiento catalítico con cobre, fue desarrollado principalmente para la depositación de metal sobre tableros de plástico con circuitos impresos. En tanto de que muchos productos químicos reducirán iones de cobre "a granel" (de acuerdo con $Cu^{++} + 2e = Cu^0$), sólo se descubrió una reacción autocatalítica, esto es, una reacción en la cual el cobre mismo es un catalizador reductor, haciendo posible así una depositación selectiva continua sobre el sustrato sólido.

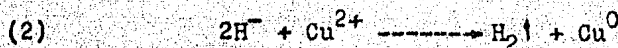
La mayoría de los baños de recubrimiento de cobre sin electricidad de empleo comercial, usan formaldehído como agente reductor. Puesto que el agente reductor del formaldehído se incrementa con la alcalinidad de la solución, los baños son operados usualmente a pH arriba de 11. La alcalini--

dad requerida es provista por una sal de cobre y sodio (usualmente sulfato cúprico) como fuente de iones de cobre, y un agente complejante o quelante para prevenir la precipitación del hidróxido de cobre, el tartrato es el agente quelante, más comunmente usado.

De cualquier manera existe un número considerable de diferentes sustancias que puede ser usado en su lugar, incluyendo el EDTA, aminas, ácidos aminopoliácéticos, mesoeritritol y ácido glicólico. Otras sustancias pueden agregarse para mejorar las propiedades del depósito o la estabilidad del baño. Por cada g-atom del recubrimiento de cobre sin electricidad, por lo menos dos moles de formaldehído y 4 de hidróxido son consumidos y una mol de gas hidrógeno es desprendida, se obtiene:



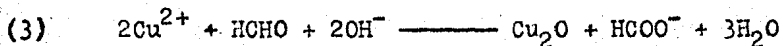
En la práctica, mayor cantidad de formaldehído e hidróxido son consumidos en la ecuación (1); esto es atribuido a la descomposición del formaldehído con el hidróxido en metanol y formato. El mecanismo actual de la depositación del cobre sin electricidad se cree que implica una transferencia de un hidruro desde el formaldehído hacia la superficie catalítica; el ión hidruro reduce el ión cúprico para producir el depósito, así:



Estudios de diversos investigadores mostraron que todo el hidrógeno que se desprende proviene de la molécula de formaldehído, como podría esperarse de acuerdo a la teoría de la depositación del hidruro.

ESTABILIDAD DEL BAÑO

Además de la depositación del cobre en la superficie catalítica, hay una reacción competitiva que no es catalítica y resulta en una tendencia a formar partículas de óxido cuproso, espontáneamente dentro del baño de recubrimiento de cobre sin electricidad.



Las partículas se descomponen, para convertirse en activas catalíticamente, y conduce a una descomposición general del baño con la formación de polvo de cobre. Este indeseable fenómeno puede ser simplemente controlado, burbujeando aire u oxígeno a través del baño presumiblemente reoxidando las partículas de óxido de cobre tan rápido como se forman. Con la agitación vigorosa de la solución también tienden a estabilizarse los baños manteniendo un alto grado de saturación del aire, mientras que el burbujear gas inerte a través de la solución, no tiene el efecto estabilizador.

Pequeñas cantidades de un agente oxidante, tal como el cromato, también proporcionan una mejor estabilidad del baño. Al reducir la concentración de los constituyentes del ba

ño, se disminuye también la tendencia a la descomposición pero esto va acompañado de una reducción en la velocidad de recubrimiento.

Algunos venenos catalíticos, estabilizan con efectividad los baños de recubrimiento de cobre sin electricidad, si se presentan en concentraciones suficientemente pequeñas para facilitar el recubrimiento a una velocidad práctica.

Ejemplos de estabilizadores son: mercaptobenzotiazol, tiourea, cianuro, pentóxido de vanadio, metil butinol, compuestos de selenio y ciertos polímeros, estos compuestos probablemente funcionan por adsorción preferencial de partículas diminutas recién formadas, de tal forma que las desactivan como núcleos para el recubrimiento de cobre catalítico.

Algunos de los estabilizadores (e.g.: cianuro, etc.) probablemente también funcionen quelatando o complejando el ión cuproso tan efectivamente como el retraso de la tendencia a la formación de partículas de óxido de cobre. El carbonato agregado a los baños con base de tartrato, ha sido encontrado para mejorar la estabilidad de los baños, pues partículas entrando al baño desde la atmósfera, pueden también iniciar la descomposición del baño, y la continua filtración de las partículas, más grandes de 2 micras es aconsejable; los filtros de cartucho enrollados de polipropileno son recomendados.

Un autor, revisó y clasificó los diversos métodos para la estabilización de los baños de recubrimiento de cobre sin electricidad y concluyó que para mejores resultados, los ba-

ños filtrados y agitados con aire podrían contener de 40 a 250 g/l de metanol y agentes quelantes para el ión cuproso, de preferencia compuestos que contengan tanto el nitrógeno como el sulfuro en una estructura anillada.

BAÑOS DE RECUBRIMIENTO

Algunas composiciones típicas de baños de recubrimiento de cobre sin electricidad se dan en tablas como la No. 4. El baño 1 de la misma, es un ejemplo de un baño diluido que casi se mantiene indefinidamente por el reaprovisionamiento de los constituyentes en filtración continua, y la reducción del pH (con ácido sulfúrico) durante los períodos ociosos.

Otro autor más, encontró que la velocidad de depositación de los baños diluidos (e.g.: 5 g/l de sulfato de cobre 5 g/l de hidróxido de sodio) era independiente de la concentración del tartrato o del formaldehído sobre un amplio rango. Con baños más concentrados, existen concentraciones óptimas del tartrato o del formaldehído que proporcionan las velocidades máximas de depositación.

El baño 2, un poco más concentrado que el baño 1, es también satisfactorio para recubrimiento continuo. Sin embargo, menos de 250 cm² serían recubiertos por litro de solución para evitar una descomposición prematura del baño.

El efecto de la alcalinidad en el tipo de recubrimiento de un baño típico diluido es mostrado en la figura 1; una velocidad máxima se obtuvo al pH 12.8. Los baños 1 y 2 son un poco bajos en velocidad de depositación, pero son suficiente

Tabla No. 4

BANOS QUIMICOS

CONSTITUYENTES DEL BANO	1	2	3	4	5	6
Sulfato de cobre, $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, g/l	3.6	5	30	29	13	10
Tartrato de sodio potásico, $\text{KNaC}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, g/l	25	25	99	142	66	-
Hidróxido de sodio, NaOH , g/l	3.8	7	50	42	19.3	10
Carbonato de sodio, Na_2CO_3 , g/l	-	-	32	25	-	-
Verseno-t (EDTA+trietanola mina), g/l	-	-	-	17	-	-
Mercaptobenzotiazol (MBT), g/l	-	-	-	-	0.013	-
Formaldehído, HCOOH (37%), ml/l	10	10	29	167	38 ^b	20.3
Metildiclorosilano, $\text{CH}_3\text{Cl}_2\text{SiH}$, g/l	-	-	-	-	-	0.25
EDTA (Tetrasódico), g/l	-	-	-	-	-	20
Temperatura, °C	22	20	25	25	25	63
Vel. de depositación, um/hr	0.5	0.75	2.5	20	2.5	6.3

Rango de
depósito
micras-m/h

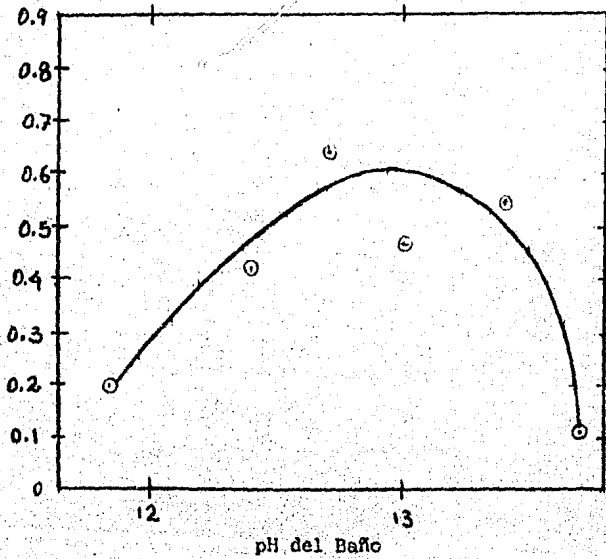


Fig. # 1 Efecto del pH en el baño de cobre sin electricidad

mente baratos para ser considerados para el uso de operación de proceso por lotes y de descartado.

El baño 3, contiene carbonato de sodio y velocidades de depositación por encima de 2.5 micras /h que son alcanzadas a los 25°C. La adición del verseno-t (mezcla de EDTA y trietanolamina) proporciona unas velocidades de depositación de casi 20 micras/h y superó la tendencia por baños que contienen carbonato, de producir depósitos empollados (ver baño No. 4). Otros baños de cobre sin electricidad están disponibles ya que proporcionan un recubrimiento muy rápido (arriba de 25 micras/h de cobre de buena calidad).

El baño 6, es operado a casi 63°C, para producir depósitos de cobre sin electricidad relativamente densos y dúctiles a casi 6.3 micras/h.

Otros baños también han sido desarrollados, que proporcionan a la depositación de aleación de cobre sin electricidad, conteniendo arriba del 44% de cadmio, 10% de estaño y 20% de plomo.

Cuando se preparan los baños de cobre sin electricidad, es aconsejable disolver la sal de cobre y el agente quelante primero, después lentamente se agrega el hidróxido de sodio requerido (disuelto en agua), revolviendo hasta que la solución tenga un volumen apropiado. Filtrese justo antes de usarla y agregue la solución del agente reductor lentamente y agitando. Pequeñas cantidades de agentes humectantes, por ejemplo, laurel sulfato de sodio, puede ser agregado para incrementar la calidad de los depósitos de cobre sin electrici

dad.

Los tanques para guardar las soluciones de cobre sin electricidad, pueden ser de un plástico tal como el polietileno moldeable o el polipropileno. Un segundo tanque sería aprovechable para la transferencia de la solución, en la que se depositaría el cobre en el tanque; cualquier sedimento de cobre o depósito debe entonces quitarse. El contacto de las partes del recubrimiento con la pared del tanque puede iniciar allí una depositación.

Para extender la vida de un baño, los constituyentes de éste serían controlados. La alcalinidad es el factor más crítico. Como primera aproximación el reaprovisionamiento de la sal de cobre y el formaldehído puede ser hecho basándose en la ecuación (1), una vez que el consumo del álcali ha sido determinado. El álcali debe ser repuesto por la edición de una solución concentrada de hidróxido de sodio de concentración conocida.

RECUBRIMIENTOS EN SUSTRATOS VARIOS

El cobre espontáneamente se depositará de un baño sin electricidad, sobre cobre, plata o platino. El hierro, cobalto, níquel, paladio o superficies de rodio, son también receptivas a una depositación directa. Sin embargo, el mayor volumen de cobre sin electricidad se aplica sobre no conductores para lograr una capa conductora sobre la cual, la depositación adicional puede lograrse por métodos electrolíticos. El cobre sin electricidad es ampliamente aplicado en la

industria de circuitos impresos. Cuando los circuitos son formados en ambos lados de la placa revestida, es necesario proporcionar conexiones cruzadas entre los circuitos. Esto ha sido determinado, conveniente y confiablemente realizado, taladrando agujeros a través de una tableta donde la conexión es deseada aplicando un depósito de cobre sin electricidad. Un espesor de casi 0.25 micras es usualmente suficiente. El depósito dentro del agujero es incrementado en su espesor a cerca de 25 micras por electrodeposición, aunque teóricamente es posible recubrir la capa entera mediante cobre sin electricidad.

El mismo procedimiento es usado para hacer que las numerosas conexiones eléctricas, necesarias entre circuitos de tableros (o tabletas) de muchas capas que involucra 10 o más capas conductoras en un simple tablero. Es necesario activar el plástico expuesto en las paredes del agujero sin que interfiera con la adhesión de los depósitos subsecuentes en el revestimiento de cobre expuesto.

La activación mediante una solución salina de metal noble catalítica resulta en depósitos por desplazamientos sobre el revestimiento de cobre lo que reduce la adherencia del depósito de cobre del proceso cobre sin electricidad subsecuente a menos que la capa de cobre haya tenido previamente un revestimiento de óxido negro. La buena adherencia sobre el revestimiento puede alcanzarse usando cloruro estañoso, cloruro de paladio o solución coloidal para la activación, seguida por inmersión de 90 seg., en 25% (vol.) de ácido

do clorhídrico.

Propiedades del Depósito

Las propiedades mecánicas del cobre sin electricidad no son de gran significación cuando los depósitos son de espesor muy pequeño usados como una base conductora para la electrodeposición. Sin embargo, es a veces deseable usar depósitos de cobre sin electricidad de 2.5 a 25 micras o más y las propiedades de los depósitos tales como ductilidad, resistencia y densidad pueden ser importantes.

La resistencia a la tensión y el punto de fusión de un depósito de cobre sin electricidad fueron casi idénticas (con el del recubrimiento de cobre de un baño de sulfato ácido) pero la ductilidad del depósito sin electricidad es sustancialmente más baja, la densidad y conductividad fueron ligeramente menores.

Los aditivos del baño que han sido reportados mejorar la ductilidad del depósito son: 0.003 a 0.5 g/l cianuro de sodio, 0.02 g/l pentóxido de vanadio, 0.01 arsenito de sodio y glicol polietileno, sustituyendo silanos o polisiloxanos (ver baño 6, tabla No. 4) que agregados a los baños de recubrimiento de cobre sin electricidad aumentan esa ductilidad y resistencia de los depósitos. Las adiciones de un agente complejante a base de amina proporcionan una mejor brillantez y ductilidad. Los aditivos que mejoran la ductilidad del depósito usualmente también proporcionan estabilidad, la topografía del sustrato, la temperatura del baño y la veloci--

dad de depositación, afectan grandemente las propiedades del depósito; por ejemplo la ductilidad mejora con el incremento de la temperatura del baño, y la disminución de la velocidad de recubrimiento (a una temperatura dada) y es dramáticamente mejorada por un recocido a 260°C.

CAPITULO III

PRUEBAS EN RECUBRIMIENTOS

Las pruebas para la determinación de las propiedades químicas, físicas o mecánicas de los electrodepósitos pueden hacerse durante las investigaciones fundamentales, o para propósitos de control en el desarrollo de la producción.

Las pruebas que se pueden necesitar para buscar los datos fundamentales, son con frecuencia muy especializadas siendo diseñadas para casos particulares.

Métodos químicos de prueba.— Tienen por objeto dos metas: el análisis químico o la determinación de la resistencia a la corrosión. Con excepción de los recubrimientos aleados, los depósitos raramente se analizan químicamente en la producción. La determinación de la resistencia a la corrosión, está llena de dificultades y de incertidumbres.

La única medición absolutamente confiable sobre la resistencia a la corrosión es la exposición del material electrocubierto en el ambiente en el que se le va a emplear.

En la investigación para pruebas aceleradas, las cuales simularán las condiciones reales de exposición, los investigadores han intentado relacionar los resultados obtenidos en los ambientes sintéticos reproducibles con los obtenidos bajo condiciones de uso práctico. Los resultados han sido en su mayor parte confusos y poco satisfactorios. No obstante, una de tales pruebas, la de aspersión con sal, ha ganado

cierta popularidad y ha sido incluida en muchas especificaciones.

El tiempo requerido para realizar pruebas de exposición a la intemperie no es un asunto tan serio en trabajos de investigación como lo es en las actividades de producción.

En las pruebas de exposición a la intemperie, es esencial realizar trabajos repetidos en lugares diversos que tengan una variedad de ambientes. Los lugares se deben seleccionar con cuidado para evitar conclusiones equivocadas e influencias irregulares; deben ser protegidos para que las muestras no sean perturbadas durante el período de su exposición. La inspección de las muestras se debe realizar a intervalos apropiados y por inspectores calificados. Deben mantenerse registros adecuados compendiados y presentados con claridad en los informes.

La discutida prueba de aspersion con solución salina se hace en un recipiente cerrado diseñado para exponer la muestra a una neblina de solución acuosa de cloruro de sodio. Casi el único detalle de la prueba que aparece en muchas especificaciones que piden el uso de la misma es la concentración de la solución de cloruro de sodio. La temperatura a la que se efectúe la prueba es de considerable importancia y debe ser bien especificada o convenida por las partes interesadas.

El comité B-8 de la American Society for Testing Materials así como la American Electroplaters Society han probado el método tentativo de la prueba de aspersion con solu---

ción salina llevando la denominación ASTM B 117-571.

La porosidad del recubrimiento electrodepositado está conectada íntimamente con la resistencia a la corrosión, especialmente cuando el recubrimiento es catódico respecto al metal base. Aunque se han empleado diversos métodos para medir la porosidad, trabajos recientes han producido serias dudas sobre el valor absoluto de cualquiera de estas pruebas comparativas de calidad.

La prueba de aspersion salina, a que se hace referencia en los párrafos anteriores, es considerada con frecuencia como una prueba de porosidad y utilizada como tal. La prueba de ferroxilo implica la utilización de un reactivo conteniendo cloruro de sodio y ferrocianuro de potasio y se emplea como una prueba para la porosidad de los recubrimientos sobre metales de base ferrosa. El ataque local del acero por el reactivo se revela por manchas color Azul de Prusia que aparecerán cuando el acero sea atacado a través de los poros del recubrimiento. A pesar de tal objeción, la prueba de ferroxilo ha ganado una popularidad considerable. Otro medio para detectar los poros, especialmente en los recubrimientos de níquel sobre acero, ha sido simple inmersión de la muestra en agua caliente. Aquí de nuevo la prueba puede resultar en la producción de poros así como en su detección. La prueba del agua caliente parece ser menos sensible que la prueba de aspersion salina o la de ferroxilo y no es muy usada.

Algunas de las pruebas sobre propiedades físicas o mecánicas que pueden hacerse en una u otra ocasión sobre recubri

mientos electrodepositados son: espesor, apariencia, porosidad, adherencia, resistencia, dureza, resistencia al desgaste y a la abrasión, resistencia en tensión y ductilidad. De éstos, en general, sólo se utiliza uno como base para las especificaciones de producción, por ejemplo: el espesor. Es cierto que la apariencia de los depósitos es, con frecuencia, una propiedad extremadamente importante del recubrimiento electrodepositado, con relación a su aceptabilidad, pero es igualmente cierto que para evaluar la apariencia sólo se pueden aplicar mediciones cualitativas, las cuales son en gran parte subjetivas. Las pruebas físicas y mecánicas restantes son de interés, principalmente en investigaciones y desarrollos.

III.1.- PRUEBA DE ESPESORES

En virtud de que la resistencia a la corrosión ha mostrado estar íntimamente relacionada con el espesor del depósito, es obvia la utilidad de espesores mínimos en las especificaciones para producción.

III.1.1.- Métodos Microscópicos

Si la sección transversal de un depósito se prepara por técnicas metalográficas, su medición con una lente reticulada de aumento apropiado será un medio extremadamente confiable para determinar espesores. El valor de la prueba microscópica parece ser dudoso para recubrimientos menores de 1.27 centésimas de milímetro de espesor.

De estas consideraciones sólo se puede llegar a la conclusión que las determinaciones de espesores en el microscopio son de utilidad únicamente en investigaciones y en laboratorios de calibración.

Los procedimientos metalográficos generales y los detalles para el pulido, ataque, así como el examen microscópico para los recubrimientos de cobre, níquel, cromo, plomo, cinc y cadmio se pueden hallar en el Método ASTM A 219-58.

III.1.2.- Métodos Químicos

Los métodos de eliminación de los depósitos, desprendimiento de gases, inmersión en ácido, chorro, goteo y de toque.

La técnica del desprendimiento de los depósitos es, en general, el método más preciso para la determinación de los espesores. En esta prueba se pesa una muestra de área conocida y se quita el recubrimiento electrolítico por medio de un disolvente apropiado.

Con el peso, área y densidad del recubrimiento electrolítico, se puede calcular el espesor con facilidad.

La prueba de chorro y la prueba por toque dependen del hecho de que muchas relaciones químicas se producen a una velocidad notablemente constante, procurando mantener razonablemente constante la concentración del reactivo y la temperatura.

En el ensayo por chorro se deja correr una solución sobre la muestra desde una boquilla de tamaño especificado; es

ta solución quitará el depósito. La cabeza hidrostática de la solución en el aparato se mantiene a un nivel tal que proporciona un volumen constante de solución desde la boquilla. El tiempo que se requiere para que la solución penetre el recubrimiento es una medida del espesor.

En el punto final ocurre, generalmente, un cambio en la apariencia de la reacción y se detecta deteniendo el chorro momentáneamente para observar el punto de ataque.

La prueba por goteo es muy parecida a la de chorro, excepto que la solución se deja gotear desde una boquilla en lugar de descender en corriente continua.

La solución para la prueba se deja gotear sobre la muestra a una velocidad de 100 ± 5 gotas por min., y el espesor se determina por el tiempo requerido para descubrir el metal de base.

No es necesario interrumpir la prueba para observar el punto final. A este respecto, el método por goteo es mucho más preferible que el método por chorro.

En el caso de unos cuantos recubrimientos muy delgados, la prueba de espesores se puede hacer poniendo una sola gota de solución eliminadora sobre el depósito y determinar el tiempo requerido para la remoción del metal de recubrimiento debajo de la gota.

El tiempo requerido desde el comienzo del desprendimiento de gases hasta la primera aparición del metal de base se determina con un cronómetro.

III.1.3.- Métodos Mecánicos

Hay varios métodos mecánicos para la medición de espesores de los electrodepósitos, ninguno de los cuales se usa extensamente, puede ser que el más sencillo y más directo se efectúe disolviendo selectivamente el metal base del recubrimiento y usando un micrómetro para medir el espesor de este último.

Junto a la carencia de precisión para la medición de recubrimientos delgados, los extremos del micrómetro pueden descansar sobre los puntos altos de los recubrimientos rugosos y dar una lectura que represente el espesor máximo en lugar del espesor promedio o el mínimo.

El método de la cuerda de Mesle ha sido utilizado con cierta extensión. Las muestras curvadas se liman con una lima plana hasta que se penetre el recubrimiento. Las muestras planas se esmerilan con una rueda de esmeril. En cada caso se mide el ancho del corte. Esto es, por supuesto, la cuerda del arco hecha por la lima y por el esmerilado, y la flecha de este sistema es el espesor del recubrimiento.

III.1.4.- Métodos de Rayos X

Hay muchos métodos muy especializados para determinar el espesor que dependen del uso de equipo elaborado y costoso, a la cabeza de los cuales están los métodos que utilizan la técnica de los rayos X.

III.2.- PRUEBAS DE CORROSION

La característica más importante de un recubrimiento electrolítico es la de permanecer sustancialmente intacto mientras impide la corrosión de otros metales.

La prueba de corrosión es complicada por muchos factores. Uno es la acción galvánica que involucra un metal, o metales, en el recubrimiento para deteriorar su apariencia por la exudación de los productos de la corrosión.

Ha sido una práctica común evaluar el valor protector del recubrimiento exponiéndolo a un ambiente seleccionado que represente al ambiente en el cual el recubrimiento pueda resistir.

La utilidad de las pruebas aceleradas para inspección, y en particular para investigación, debe descansar sobre la extensión con que se logre una relación reproducible y racional entre la forma y la velocidad del ataque en la prueba del ataque bajo las condiciones de uso común o crucial.

III.3.- PRUEBAS EN AMBIENTES NATURALES

Las bases para selección de un lugar de prueba son: disponibilidad para el propósito, protección contra robo o daño intencional, y proximidad con el grupo técnico concerniente con el programa.

La corrosividad de una atmósfera se determina en gran parte por la naturaleza y extensión de los contaminantes presentes.

Es evidente que una prueba acelerada que utiliza bióxido-

do de azufre o ácido sulfuroso tiene mayores probabilidades de producir daño atacando al recubrimiento de níquel que si se emplease una prueba por aspersión de solución salina neutra o alcalina. Esta última puede mostrar discontinuidades existentes tales como: poros o defectos estructurales que promuevan la formación de picaduras. No es probable que se espongan los metales de las capas inferiores por la corrosión ordinaria del níquel.

Las ventajas de prueba en la exposición de una atmósfera natural son:

- 1.- Poder exponer un mayor número de muestras a la vez.
- 2.- Continuar pruebas por largos períodos con mínimo de atención.
- 3.- Observación rápida por examen visual.
- 4.- Lugar de prueba puede ser representativo aunque no ideal.

Las limitaciones de una prueba que incluye la exposición a una atmósfera natural son:

- 1.- La severidad de efectos de corrosión no permanecen constantes, por lo que pueden introducirse complicaciones al comparar.
- 2.- La exposición a simples efectos naturales con constituyentes naturales de la atmósfera no reproducen los factores en un uso particular.
- 3.- Requieren demasiado tiempo para ser de utilidad en la inspección y control de calidad.
- 4.- Variaciones en el comportamiento de una atmósfera na-

tural no se pueden duplicar en una atmósfera diferente.

5.- Una atmósfera industrial con fuerte contaminación puede depositar hollín sobre piezas de prueba y dificulta observar el progreso del deterioro.

III.4.- PRUEBAS ACELERADAS

Las limitaciones de las pruebas de ambientes naturales proporcionan un amplio estímulo y justificación para el desarrollo de pruebas aceleradas. Tales pruebas son necesarias para inspección y control de calidad y son ayudas valiosas en la investigación, suponiendo que la prueba se pueda hacer en unas cuantas horas o en unos cuantos días, lo que será equivalente al efecto de uso normal del recubrimiento por varios meses o por un año.

El asunto de la equivalencia es la raíz de la controversia sobre las pruebas aceleradas para los recubrimientos.

Se ha intentado simular el ambiente real comenzando con la prueba de aspersión salina, la cual se designó para reproducir la atmósfera que es posible encontrar cerca del océano.

Se diseñó para la medición de la durabilidad e la intemperie de los sistemas de recubrimiento de cobre-níquel-cromo como se les aplica en recubrimientos decorativos sobre piezas de acero y de cinc fundidas en matriz.

III.4.1.- Prueba de Corrodokote

Esta prueba también fue ideada como una prueba acelerada.

da para recubrimientos protectores decorativos de los sistemas de recubrimiento de cobre y/o níquel-cromo para servicio a la intemperie.

III.4.2.- Prueba por Inmersión de Agua Caliente

La prueba por inmersión en agua caliente fue una de las primeras pruebas de corrosión acelerada y se empleó para detectar la porosidad en recubrimientos de estaño. En la actualidad se le reconoce como una prueba aceptada para níquel y otros recubrimientos sobre acero o hierro para equipo químico industrial.

La prueba de agua caliente consiste en la inmersión en agua a 79-85°C con aereación de 1 a 4 h.

III.4.3.- Pruebas Cíclicas

Se han ideado numerosas pruebas cíclicas en las cuales las piezas se someten alternativamente a varias combinaciones de dos o más de lo siguiente: calentamiento, enfriamiento, aspersion con agua, inmersión en agua, aspersion salina, luz ultravioleta y condensación de la humedad con o sin contaminación por gases, tales como bióxido de carbono, bióxido de azufre y sulfuro de hidrógeno.

CAPITULO IV

De todas las cualidades de los acabados electrolíticos medibles y de cualquier otro tipo, el más ampliamente reconocido por el último consumidor es la apariencia.

Hay tres clases de inspección que usualmente nos afecta. Aunque de técnica parecida, se diferencian en su propósito.

- 1.- Inspección durante el proceso.
- 2.- Inspección final por el fabricante.
- 3.- Inspección de recibo por el cliente.

Factores de la inspección visual.

La inspección visual se emplea principalmente con recubrimientos o acabados decorativos. La inspección standar más frecuente sobre acabados decorativos es la brillantez reflectiva.

El grado de uniformidad del Lustre es ocasionalmente un factor en la inspección de piezas con recubrimiento de cadmio, cinc o estaño principalmente por la resistencia a la corrosión.

El segundo factor es el color. La textura es un factor en la inspección del acabado satinado, mate o escarchado.

Debido a que los standares sobre apariencia son difíciles de poner por escrito o en términos cuantitativos, el criterio de aceptabilidad del acabado del metal se resuelve por lo común por el uso de muestras standar.

Llegando a un estándar de aceptabilidad.- La primera consideración en la inspección de un producto electrorecubierto es definir las superficies importantes. Pocas piezas decorativas necesitan un acabado total en todas sus partes. Las superficies importantes para la inspección visual son aquellas de las piezas terminadas que deben tener la apariencia o calidad de acabado especificado.

El inspector determinará cuáles superficies requieren el recubrimiento y acabado especificados.

Grado del acabado.- Un inspector que requiera una perfección absoluta de acabado, no encontrará partes que pueda aceptar. La cantidad de piezas rechazadas estará en relación directa con el nivel requerido de la calidad de apariencia. Puesto que el costo de producción aumenta con el porcentaje de rechazos, el inspector puede incluir en el costo de la producción por medio del nivel de calidad que requiera.

Inspección del coloreado y otras inspecciones distintas del acabado brillante.

Ciertas industrias favorecen los efectos más suaves obtenibles con los electrorecubrimientos empleando métodos especiales de bronceado y otros metales como plata, latón, oro, cobre y varias formas oxidadas de algunos de éstos. La inspección visual de metales acabados es igualmente importante, y posiblemente más, debido a los problemas adicionales de igualdad de color, y textura y características direccionales de reflexión de la luz.

Equipo de inspección.

Puesto que toda la filosofía de la inspección de los acabados brillantes está basada en la reflectividad de imagen de la superficie, una estación de inspección deberá proporcionar los mejores medios posibles para crear la reflexión de la imagen.

Los requerimientos básicos son una potente fuente de luz blanca y difusa y una pantalla negra en el fondo. La luz de cuatro tubos fluorescentes de cuarenta voltios mezcla de luz de día y blanca es suficiente para una cabina ordinaria de inspección. Los tubos fluorescentes deberán tener sobre ellos un reflector blanco y una pantalla difusora o un vidrio esmerilado u opalino más abajo.

La pantalla negra hace que cualquier imperfección en el níquel brillante aparezca como granosidad, líneas blancas o puntos blancos.

El motivo geométrico muestra defectos gruesos tales como marcas de ruedas, ondulaciones o piel de naranja y proporciona un objeto standar para comprobar la calidad de reflexión de imagen.

Personal de Inspección.

En talleres pequeños la responsabilidad recae algunas veces en el operario de los electrorecubrimientos o en el que separa las piezas de los soportes. Con personal confiable, que esté orgulloso de su habilidad esto puede ser satisfactorio. En organizaciones muy grandes todos los inspecto-

res informen a un jefe de inspectores quien, a su vez, informa directamente al gerente de producción.

En otras compañías el inspector informa al supervisor de producción.

Uso de los resultados de la inspección. La efectividad de los métodos de inspección uniforme se pierde o menos que se tome alguna acción concreta sobre los resultados.

En la planta del fabricante el sistema de la inspección regular y acción correctiva puede llamarse control de calidad.

CAPITULO V

EXPERIMENTACION

V.1.- PREPARACION DE MUESTRAS

El material que se recubrió de cobre y por lo tanto sirve como metal base es: una barra de 60 cm de longitud y diámetro de 254 mm. de Acero 1018 (cuya composición química es 0.18 C; 1.25 Si y 0.40 Mn), además un perfil extruido de una aleación llamada Zinalco (marca registrada por la UNAM. No se proporcionan los porcentajes de cinc, aluminio y cobre porque la aleación está aún en estudio), cortados ambos materiales en piezas de 3 cm. de longitud aproximadamente.

La barra de acero fue cortada con una sierra cinta sin fin horizontal. Las muestras obtenidas de aquí se refrentaron en un torno manual, para lograr una aceptable perpendicularidad entre las caras y el cuerpo de las piezas, logrando tener como muestras de experimentación cilindros de distintas longitudes, la mayoría cercanas a los 3 cm. En lo que se refiere al corte del Zinalco fueron hechos manualmente con un arco y segueta, ya que, si se usaba una sierra automática (sierra vertical), el material se despegaba y perdía su configuración.

Después del corte de ambos materiales, las piezas se sometieron a un tratamiento mecánico, con el fin de eliminar los óxidos que tenían; éste consistió en desbaste grueso usando lijas de números: 180, 240 y 360, siguiendo un desbas

te fino, con lijas de número: 400, 500 y 600.

El total de las piezas para experimentación fue para el acero de 15 y para el Zinalco de 17; todas las piezas fueron pulidas a espejo con excepción de 8 muestras a las cuales se les pulió ambas caras. Para el pulido a espejo se usó una solución de alúmina preparada al 5% de concentración y paño, usando una pulidora BUHLELER.

V.2.- LIMPIEZA DE MUESTRAS

Antes de que se lleve a cabo la depositación del recubrimiento sobre el metal base, se debe limpiar éste con el propósito de quitar toda la mugre y materia extraña que pueda interferir con la adherencia y apariencia del recubrimiento, así como la duración del baño.

El procedimiento de limpieza consiste en un tratamiento químico que difiere en sus pasos a seguir según sea el material considerado.

El ciclo de limpieza para el acero es:

- 1.- Cepillado con detergente.
- 2.- Lavado alcalino con una solución de sosa al 25%, a temperatura ambiente durante 30 seg.
- 3.- Decapado de las piezas en ácido clorhídrico al 25%, a temperatura ambiente durante 30 seg.

Cada uno de los pasos anteriores va seguido de un enjuague en agua corriente.

Para el Zinalco, el ciclo de limpieza es un poco diferente, en lo que se refiere al lavado alcalino y el decapa-

do, como se puede ver a continuación:

- 1.- Cepillado con detergente.
- 2.- Lavado alcalino durante 10 seg. en sosa al 25% a temperatura ambiente.
- 3.- Decapado con acetona durante 30 seg. a temperatura ambiente.

Aquí al igual que en el ciclo de limpieza para el acero, cada uno de los pasos anteriores van seguidos de un enjuague en agua corriente.

Después del proceso de limpieza de las muestras, éstas se introducen a la solución para así llevar a cabo el depósito del cobre.

El proceso de cobrizado no electrolítico comprende una reducción del ión metálico de cobre, por ganancia de dos electrones, provenientes de la oxidación del formaldehído en solución alcalina en presencia de un agente complejante para evitar que el cobre precipite en forma de hidróxido cúprico.

V.3.- PARAMETROS DEL BAÑO NO ELECTROLITICO

Cahill fue el primero en proponer la reducción del ión de cobre con formaldehído, explicando la función de cada uno de los constituyentes como sigue:

SULFATO CUPRICO PENTAHIDRATADO.- Es la fuente de abastecimiento más usada del ión metálico de cobre para la preparación de diferentes tipos de soluciones.

TARTRATO SODOPOTASICO (Sal de Rochelle).- Su función es complejar el ión de cobre para prevenir su precipitación en

forma de hidróxido cúprico.

FORMALDEHIDO.- Es el agente reductor, pero su uso requiere de ciertas precauciones, ya que si se aumenta la cantidad de formaldehído, se incrementará el poder de reducción, la velocidad de depositación; pero también la descomposición de la solución.

pH.- Es un factor muy importante, en virtud de que la efectividad del agente reductor depende generalmente del carácter ácido o básico de la solución, por lo que el pH empleado deberá estar dentro de valores útiles para el agente reductor. Para el recubrimiento no electrolítico de cobre un rango de pH de 12.5 a 13.5 será el más conveniente, para un buen rendimiento de la solución.

HIDROXIDO DE SODIO.- Dará el carácter alcalino a la solución para que el agente reductor desempeñe su función satisfactoriamente.

CARBONATO DE SODIO.- Desempeña la función de agente complejante primario, algunos lo consideran como estabilizador.

TEMPERATURA.- La variación de la temperatura afecta la cinética de la reacción, si aumenta, el tiempo de la depositación será menor pero también aumentará la descomposición de la solución.

V.4.- DESCOMPOSICION DE LA SOLUCION RECUBRIDORA NO ELECTROLITICA

La desventaja de la solución para cobrizar sin corrien-

te eléctrica, es la corta vida de ésta, en virtud de que se descompone espontáneamente teniendo un tiempo de vida media de 7 a 8 horas aproximadamente.

Tal descomposición se debe a la presencia del agente reductor y a la de núcleos catalíticos, una vez iniciada dicha descomposición seguirá por sí sola hasta agotar la solución, muchas veces es violenta y a medida de que aumenta la temperatura se desprenden gases y aparecen grumos.

Como tal descomposición no está a nuestro alcance eliminarla completamente, podemos minimizarla siguiendo estas indicaciones:

- a).- Evitar altas concentraciones del agente reductor.
- b).- Homogeneizar la solución antes de agregar el agente reductor.
- c).- Agregar lentamente el agente reductor, agitando energicamente cuando se prepara o se ajusta la solución.
- d).- Eliminar al máximo las fuentes de energía ya que a mayor temperatura mayor rapidez de descomposición.
- e).- Evitar toda substancia orgánica de la superficie a recubrir, en virtud de que estas partículas podrían acelerar la descomposición.
- f).- Evitar que se formen depósitos en el fondo y paredes del recipiente.
- g).- Filtrar continuamente la solución para eliminar centros de nucleación, lodos y partículas metálicas.
- h).- Usar el baño a la capacidad adecuada.

V.5.- PREPARACION DE LOS BAÑOS

Un ejemplo típico a partir de la composición propuesta por While Cahill es:

Sulfato cúprico	30 g/l
Carbonato de sodio	30 g/l
Tartrato sodopotásico	100 g/l
Hidróxido de sodio	50 g/l
Formaldehído (37% en solución)	30 ml/l
Temperatura	35°C
Tiempo	1 min.
pH	Alrededor de 11.

De donde sacamos nuestro baño y es:

Sulfato cúprico	6 g/l
Carbonato de sodio	6 g/l
Tartrato sodopotásico	20 g/l
Hidróxido de sodio	10 g/l
Formaldehído (37% en solución)	6 ml/l
pH	Alrededor de 11.

Indicaciones para la preparación:

- En un recipiente se ponen 100 ml de agua corriente para disolver 6 g de sulfato cúprico.
- En otro recipiente se disuelven 6 g de carbonato de sodio y 20 g de sal de Rochelle en 50 ml de agua.
- Previamente se disuelven 10 g de hidróxido de sodio

en 50 ml de agua usando un recipiente diferente.

d.- Finalmente 6 ml de formaldehído se miden en una probeta.

e.- El carbonato y la sal de Rochelle ya disueltas se agregan al sulfato cúprico agitando.

f.- Se le agrega el hidróxido de sodio poco a poco al paso anterior.

g.- Por último, al recipiente donde están el carbonato, la sal y el hidróxido de sodio se le añaden el formaldehído poco a poco y agitándolo.

V.6.- PARAMETROS VARIADOS

Los parámetros que a continuación se mencionan se variaron, para tratar de encontrar una mezcla óptima de la solución usada, y asimismo, obtener mejores resultados en los depósitos de cobre.

TIEMPO: Este parámetro estuvo dentro de un rango de variación de 5 a 60 min.

TEMPERATURA: La oscilación que sufrió ésta fue, como valor mínimo la temperatura ambiental y como valor máximo 40 grados centígrados.

FORMALDEHIDO: Aquí el rango utilizado en la experimentación fue del 100% (esto es, 6 ml) hasta el 175% (10.5 ml aproximadamente).

Cabe mencionar, que los parámetros anteriormente anotados fueron variados de uno por uno y en ocasiones dos o los

tres al mismo tiempo.

En seguida, se especifica qué tipo de parámetro o parámetros fueron usados y la cantidad de piezas que se utilizaron para cada variación:

PARAMETRO VARIADO	No. DE PIEZAS
Tiempo	8
Formaldehído	6
Tiempo-Temperatura	12
Tiempo-Formaldehído	1
Tiempo-Temperatura-Formaldehído	5

Nota: No se toman en cuenta las que fallaron.

CAPITULO VI

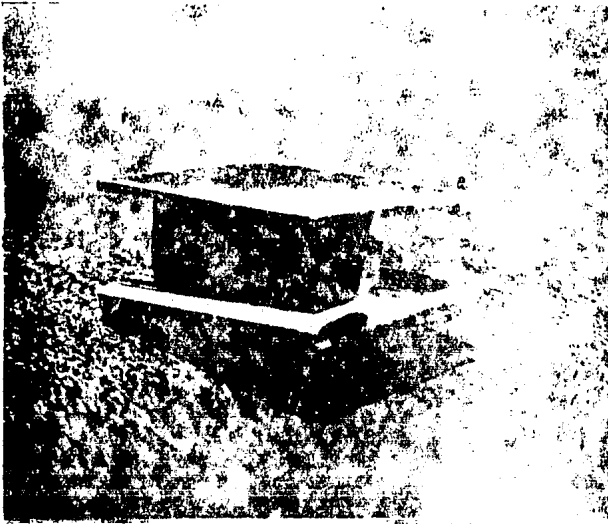
PRESENTACION Y DISCUSION DE RESULTADOS

En este capítulo, además de la presentación de los resultados obtenidos en la experimentación, juzgamos conveniente detallar los problemas inherentes de la misma, desde la preparación de muestras hasta la obtención y medición de la capa de cobre.

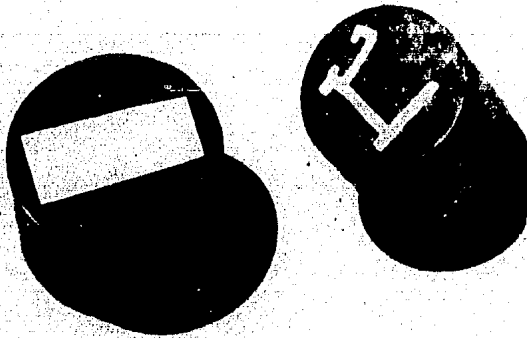
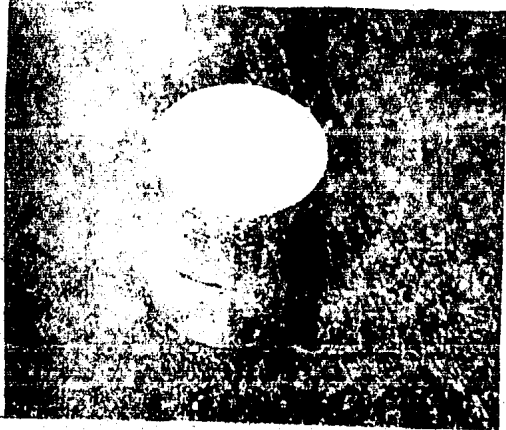
Comenzando por la limpieza de las muestras, los problemas principales fueron los referentes al Zinalco, que actualmente se encuentra en estudio, no se tiene toda la información acerca de la reacción que presenta este material en presencia de ácidos y bases.

Otro de los problemas fue una ligera reacción del metal con el Hidróxido de sodio (al 25% y temperatura ambiente), lo que nos obligó a reducir el tiempo de exposición del metal en el álcali. Otro problema que se presentó fue el uso de la solución para el decapado (ácido clorhídrico al 25% y temperatura ambiente), con que iniciamos la limpieza, provocó que el material reaccionara con ésta, presentando una capa oscura en toda la superficie, lo que impidió la deposición posterior del cobre.

Después de esto, se cambió la solución por una de ácido sulfúrico (en las mismas condiciones que la anterior), y con ésta resultó una capa discontinua con la misma tonalidad que la anterior.



Vistas de 2 probetas ya
recubiertas con cobre y
2 muestras ya montadas
en baquelita.



Consultando con investigadores relacionados con el estudio del Zinalco, sugirieron el uso de diferentes solventes, de entre los cuales se decidió el uso de acetona comercial, que dió buenos resultados en la limpieza y permitió la depositación del cobre.

Durante la preparación y uso del baño, la dificultad que se presentó fue un aumento en la rapidez de descomposición del mismo, la cual fue provocada por la inadecuada limpieza de los recipientes, en los que quedaban partículas de polvo, residuos orgánicos y restos de la depositación de cobre de experimentos anteriores; además de variar los parámetros anteriormente citados en el mismo baño.

Con lo ya dicho se comprueba lo que se citó en la parte teórica, esto es, el aumento en los parámetros: Formaldehído y temperatura provoca una mayor facilidad de descomposición del baño.

Para la depositación del cobre sobre el material base se presentaron básicamente dos problemas:

El primero fue la presencia de pequeñas burbujas, pensamos que de hidrógeno, entre la capa de cobre y las caras pulidas del material base (principalmente en el acero), lo que provoca una mala adherencia del recubrimiento; en el Zinalco, estas burbujas se presentaron sólo cuando el baño estaba arriba de los 30°C.

El segundo problema consistió en el exceso del uso del baño así como también del tiempo de inmersión de la muestra, sobre todo cuando la solución tenía una mayor cantidad de

peraba que se encontrara; esta zona presenta tonalidades amarillentas de espesor variable que va desde menos de una micra a más de 300 micras, localizada en la superficie del metal base, y que se extiende desde la capa de cobre avanzando hacia el centro de la pieza.

La zona arriba descrita es más marcada y de mayores dimensiones en las muestras que se cubrieron con barniz que en las piezas que no tenían.

Para mayor facilidad de medición de la capa de cobre en el perfil de Zinalco, éste se dividió en dos zonas llamadas "interior" y "exterior" (ver figura No. 2), encontrándose que en la zona "interior" el espesor del recubrimiento es mayor que en la zona "exterior", pero en esta última capa de cobre es más uniforme; presumiblemente la diferencia entre los espesores es debida a la agitación que se le dió al baño. De aquí que, cuando se trate de recubrir una pieza de geometría complicada, se debe tener cuidado de dar una buena agitación al baño para evitar la presencia del fenómeno descrito.

Además de los problemas anteriormente mencionados, es conveniente señalar que aparte de la medición en microscopio se le hicieron dos pruebas a las muestras de Zinalco ya recubiertas (una muestra para cada prueba); una para ver la adherencia del cobre sobre el metal base, y la otra para comparar la resistencia óhmica en el Zinalco, antes y después del recubrimiento.

Para observar la adherencia, se realizó una prueba de

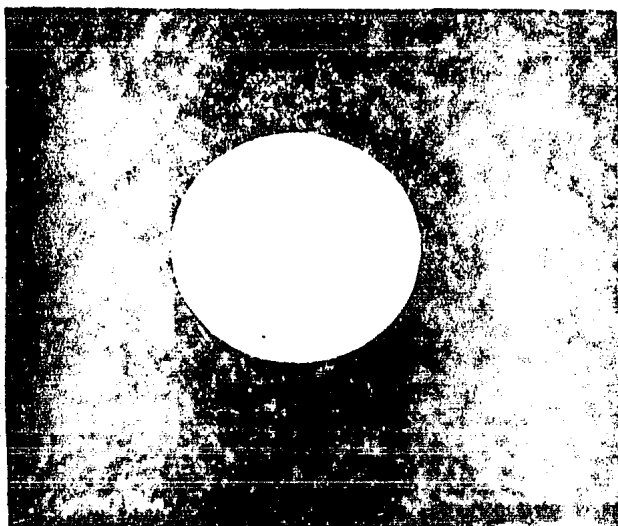
formaldehído y temperatura que las indicadas en el baño propuesto por Cahill, esto provocó una mala depositación y tendencia al desprendimiento, presentando además una coloración de cobre viejo y totalmente opaca.

A manera de comentario, en una ocasión que se sumergió una pieza antes de añadirle el formaldehído al baño, la misma presentó una capa en toda la superficie que impidió totalmente la depositación del cobre cuando dicha pieza se sumergió de nuevo en la solución, esta vez, con el formaldehído ya incluido.

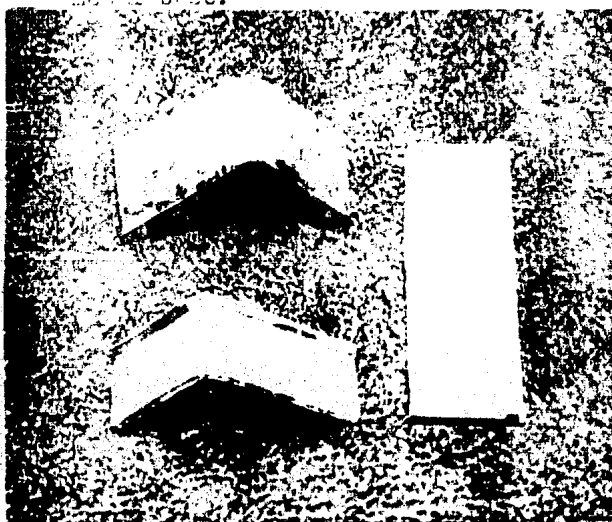
Para la medición de capa por medio del microscopio, se tuvieron muchos impedimentos puesto que, se presentó oxidación en las muestras preparadas para su observación. Estos impedimentos fueron provocados por la grasa depositada, resultado de la manipulación de las muestras; tratando de evitar esto, se utilizó barniz transparente en toda la superficie del recubrimiento, esto nos llevó a otro problema, pues suponemos que provocó oxidación en las piezas que se montaron en baquelita.

La oxidación que se observó en la capa de cobre fue producida por dos motivos: uno, el ataque químico a que se sometieron después de pulir las muestras y que no tenían barniz y, dos, la alta temperatura requerida para montar las piezas en baquelita que suponemos, fue el motivo de que la capa de barniz se fundiera.

Al estar viendo a través del microscopio las muestras montadas en baquelita se pudo observar una zona que no se es



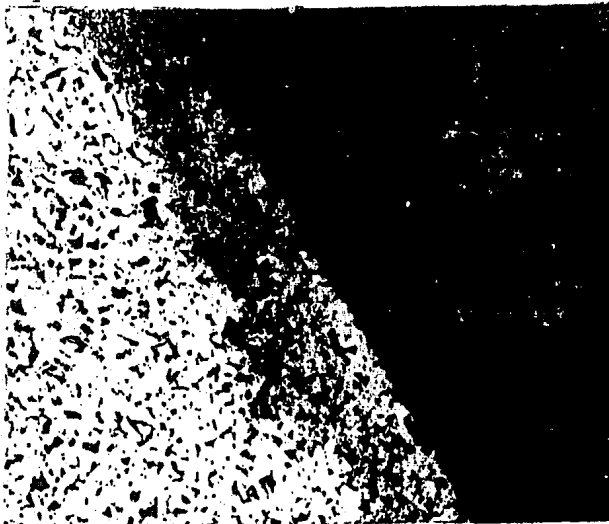
A) Fotografía en la que se puede apreciar las manchas que quedaron de cartujas formadas entre el recubrimiento y el metal base.



B) Probetas usadas en la prueba de doblado



A) Imperfección de Zinalco, además de capa de recubrimiento oxidada en su mayor parte.



B) Reacción que presentó el metal base con el baño durante el proceso de recubrimiento.

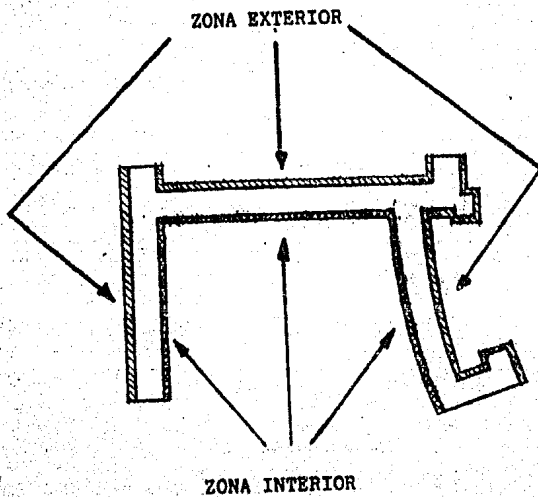


FIGURA # 2.- Dibujo del perfil de Zinco, donde se muestra la división de zonas para la medición de la capa de cobre.

doblado sobre partes rectas del perfil de Zinalco, utilizando las que asemejaren láminas; con una dobladora se le hicieron dobleces que fluctuaron entre 45° y 90°, esto permitió ver que el material base se agrietaba, ocurriendo esto entre los 60° y 90° de doblez, mientras que la capa de cobre mostraba una excelente adherencia.

En cuanto a la resistencia eléctrica, se pudo comprobar que sí hay una disminución entre las piezas analizadas pero, no tan significativa como para ser tomada en cuenta, ya que la resistencia eléctrica de la pieza usada de Zinalco es de 0.0036 Ω y la de la pieza recubierta es de 0.0018 Ω . Ambas mediciones fueron hechas con un puente digital marca Gen Rad 1657 RLC; 40 máx; 4 dígitos.

En lo que se refiere a los resultados obtenidos después de la experimentación, en la tabla No. 5 se pueden observar tanto los parámetros que se tomaron en cuenta durante los experimentos, como los resultados obtenidos, haciendo hincapié en la columna de los espesores, donde se ponen valores obtenidos mediante el cálculo utilizando la siguiente fórmula:

$$E_c = \frac{10W}{D \cdot A}$$

donde:

W es el peso del recubrimiento en g

D es la densidad del cobre, siendo ésta de

$$8.9 \frac{g}{cm^3}$$

Tabla No. 5

RESULTADOS OBTENIDOS DURANTE LA EXPERIMENTACION

No. de Pieza	Material	P R O C E S O			R E C U B R I M I E N T O			Aspecto Final
		Tiempo Min.	Temp. °C	% de Formaldehído	Peso Neto, g	Espesor micras-m		
						Observado	Calculado	
1	Perfil Zinalco	8	37	100	0.03	2.7	-	Buena
2	Zinalco	9	32	100	0.01	4.7	-	Regular
3	Acero 1018	10	24	100	0.03	3.7	-	Buena
4	Zinalco	25	22	100	0.01	9.0	-	Buena
5	Acero 1018	60	22	100	0.03	-	-	Buena
6	Perfil Zinalco	30	21	100	0.05	6.4	-	Buena
7	Acero 1018	20	21	175	0.02	2.9	-	Buena
8	Acero 1018	30	22	100	-	15.8	-	Buena
9	Zinalco	30	22	125	-	4.2	-	Regular
10	Zinalco	30	19.5	100	-	4.7	-	Buena
11	Zinalco	6	33	100	0.03	-	0.6	Buena
12	Zinalco	6	35	100	0.05	-	1.2	Buena
13	Acero 1018	31	20	100	0.02	-	1.1	Regular
14	Acero 1018	15	37	100	0.05	-	1.7	Buena
15	Acero 1018	6	40	100	0.03	-	1.1	Buena
16	Acero 1018	5.5	32	100	0.01	-	0.4	Buena
17	Acero 1018	8	37	100	0.02	-	0.7	Buena

y A el área de la superficie de la muestra en cm^2 .

Para el cálculo del área superficial del perfil se llegó a la siguiente fórmula:

$$A = 4L (H+P) + 2e (H+2P-6e-5L)$$

donde:

L Longitud

H Ancho de Perfil

P Altura

e Espesor promedio del perfil

(ver figura No. 3).

De la revisión de la tabla No. 5 se puede observar que los mejores resultados obtenidos, provienen del uso de las siguientes variaciones en el baño: 125% de Formaldehído, temperatura ambiente y 20 minutos de inmersión de la muestra. Obteniendo también buenos resultados con el 100% de Formaldehído, temperatura de 35°C y 10 minutos de inmersión en la solución.

Con los dos baños arriba mencionados, se obtienen recubrimientos de cobre cuya coloración y brillantes son muy buenas, como para ser utilizados como recubrimientos decorativos para piezas artesanales metálicas, además de ser usados como conductores eléctricos.

En cuanto al recubrimiento que se obtiene con la composición original del baño difiere con los resultados de las soluciones que tuvieron variación en cuanto a la brillantez, puesto que, se obtienen resultados muy parecidos en lo referente a coloración pero menos brillante.

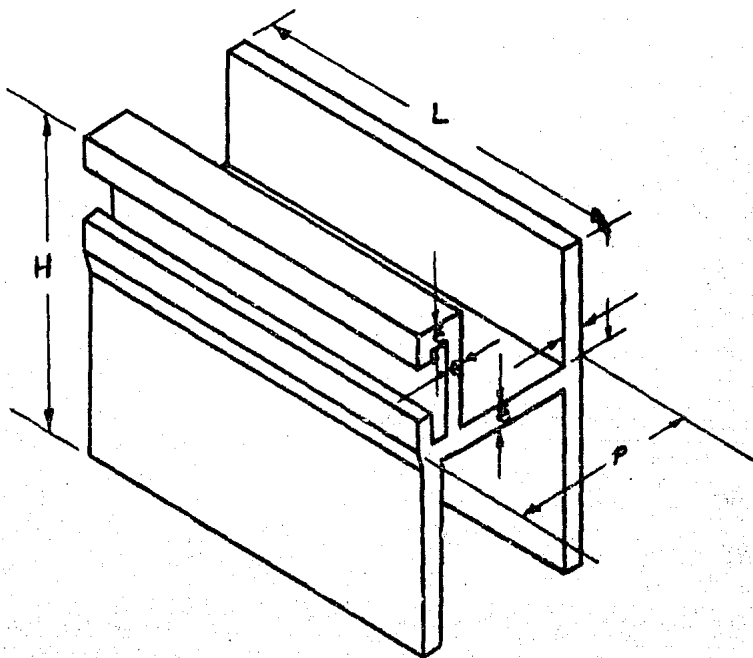


Fig. No. 3

EXAMEN PROFESIONAL	
VISTA Y ACOTACION	
PERFIL ZINCO , MM	
COBRIZADO	ESC 2.5:1
FI, UNAW - DIME	

CAPITULO VII

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Para una adecuada preparación, funcionamiento, empleo, y en fin, un mejor control del proceso de cobrizado para obtener una optimización del mismo, junto con los procesos posteriores a él, y para tener un adecuado acabado superficial, las conclusiones a que se llegó son:

- 1.- En la depositación del cobre sobre las piezas de acero, se recomienda usar láminas en vez de cilindros por su mayor facilidad de manejo, medición y observación.
- 2.- Las medidas de las muestras deben de estar dentro de un rango aceptablemente uniforme de dimensiones (se propone un 10%), tanto geométricas como de peso y acabado superficial.
- 3.- Para el trabajo que nos ocupa, no es recomendable el pulido a espejo de las muestras en ninguna de sus superficies, porque presenta mayor susceptibilidad a la formación de burbujas (presumiblemente de hidrógeno).
- 4.- Durante la limpieza de las muestras de Zinalco, se observó que la utilización de la acetona comercial sola, dió buenos resultados pero, es preferible el uso de hidróxido de sodio más acetona para obtener un mejor brillo y coloración del depósito.

5.- Al efectuar el proceso de cobrizado se recomienda la preparación de los baños, basándose en el propuesto por Cahill, usando cualquiera de las siguientes variaciones de los parámetros en lo referente a Tiempo, Temperatura y Formaldehído.

- I. a) 125% de Formaldehído
- b) Temperatura ambiente
- c) 20 minutos de inmersión

- II. a) 100% de Formaldehído
- b) Temperatura de 35°C
- c) 10 minutos de inmersión

Proponiendo un estudio económico de cada variación para escoger la más adecuada en cuanto a economía y resultados.

6.- Al realizar la observación al microscopio de la capa de cobre (no de microestructura), no se recomienda el ataque químico de la muestra, porque impide hacer más de una observación en días posteriores al del ataque, porque el mismo acelera la oxidación, tanto del recubrimiento como del metal base.

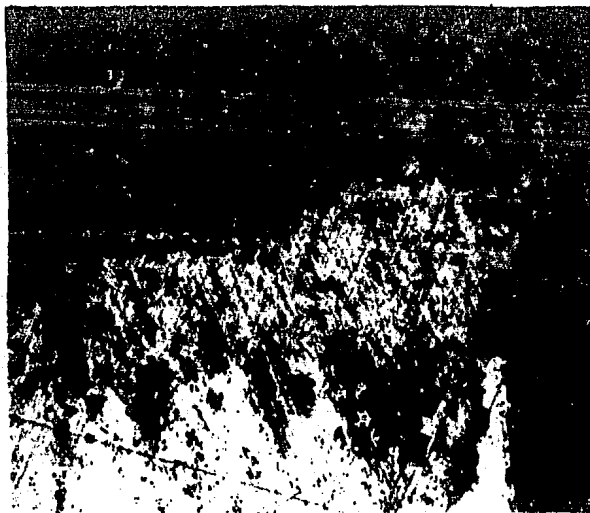
7.- Se recomienda una agitación lo más homogénea posible para tratar de evitar:

- I. Formación de burbujas entre la superficie del metal base y el recubrimiento.
- II. Diferencias de espesores significati---



Microfotografías de Zinc que donde se puede ver la capa de cobre.

A) Atacado con Nital al 5%.



B) Sin ataque.

vas, sobre todo en piezas de geometría complicada y huecas.

III. Falta de uniformidad de espesor del recubrimiento.

IV. Desigualdad de adherencia del depósito.

V. Aparición de manchas que da diferente coloración a la capa depositada.

8.- Es recomendable efectuar una comparación del proceso propuesto en este trabajo, con otros procesos de reacción química para obtener un proceso óptimo del cobrizado catalítico. Así mismo éste con el proceso electrolítico y así poder decidir qué proceso es más eficiente, según la aplicación a la que se vaya a destinar.

9.- Si el objetivo final es el depositar cobre sobre las piezas (para cualquier tipo de aplicación), es necesario proporcionarle al depósito, una capa protectora (algún compuesto orgánico), para evitar la oxidación del cobre.

10.- El presente proceso se recomienda para usarlo como:

I.- Recubrimiento de artículos de decoración.

II.- Paso previo de procesos como níquelado y/o cromado.

III.- Capa conductora para tabletas de circuitos impresos.

IV.- Recubrimiento a pequeña escala de perfi

les de geometría complicada, con la agi
tación adecuada.

11.- Para el control de temperatura de los baños a 35°C
se recomienda usar el "baño maría" para obtener una
temperatura más uniforme en el baño.

CAPITULO VIII

BIBLIOGRAFIA

- Begeman, Myron L.; Amsted, B. H.
Procesos de Fabricación.
Editorial CECSA, 1977; 10a. Edición
Cap. 13. Págs. 326-327.

- Blum, William, Hogaboom, George B.
Galvanotecnia y Galvanoplastia.
Editorial CECSA, México 1984
Caps. 5 y 12. Págs. 135-136 y 348-353.

- Cruz Palestina, Martín
Tesis: "Comparación de Propiedades Físicas y Químicas de
Recubrimientos de Cobre Alcalino Electrolíticos
y no Electrolíticos sobre Hierro".
México, D. F. 1979; IPN.

- Gabe, D. R.
Fundamentos del Tratamiento y Protección de Superficies
Metálicas.
Editorial HERA, 1975.
Cap. 2. Págs. 71-75.

- Graham, A Kenneth

Manual de Ingeniería de los Recubrimientos Electrolíticos

+Van Nostrand Reinhold Co.

3rd. Edition, New York, 1971.

Chap. 15. Pg. 502-507.

+Editorial CECSA, Méx. 1967; 2a. Edición.

Cap. 10 y 15. Págs. 351-384 y 521-522.

- Lowenheim, Frederick A.

Modern Electroplating

John Wiley Sons, Inc.; 3rd. Edition

Caps. 29 y 31. Págs. 668, 734-739.

- Memoria

"Medición de Capa de Espesores de Metal y Óxido por el
Examen Microscópico de una Sección Transversal".

ASTM SM (B) 487, Society Testing Materials 1979.

Págs. 292-295.