



93
71

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLAN**

173
102

**“DESARROLLO DEL PROCESO DE
CROMADO DE PIEZAS”**

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA
P R E S E N T A
MIGUEL ANGEL LARA LARA

ASESOR: ING. JESUS GARCIA LIRA

CUAUTITLAN IZCALLI, EDO. DE MEX.

1997

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



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 esta 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.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN
UNIDAD DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR
DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS

DR. JAIME KELLER TORRES
DIRECTOR DE LA FES-CUAUTITLAN
P R E S E N T E .

AT'N: Ing. Rafael Rodríguez Ceballos
Jefe del Departamento de Exámenes
Profesionales de la F.E.S. - C.

Con base en el art. 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la TESIS:
"Desarrollo del proceso de cromado de piezas"

que presenta el pasante: Miguel Angel Lara Lara
con número de cuenta: 8311132-5 para obtener el TITULO de:
Ingeniero Mecánico Electricista

Considerando que dicha tesis reúne los requisitos necesarios para ser discutida en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

A T E N T A M E N T E .
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Cuautitlan Izcalli, Edo. de Mex., a 29 de Noviembre de 1996

PRESIDENTE Ing. Juan Rafael Garibay Bernádez

VOCAL Ing. José Luis Buenrostro Rodríguez

SECRETARIO Ing. Jesús García Lira

PRIMER SUPLENTE Ing. Antonio Trajo Lugo

SEGUNDO SUPLENTE Ing. Gloria Villanueva Aguilar

A

LA UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
Con toda mi admiración e infinito agradecimiento.

A

El ING. JESUS GARCIA LIRA

Por su dedicación y compromiso con nuestra facultad, por su gran valor moral y calidad profesional, por ser un excelente persona y por su valiosa ayuda brindada en la dirección de esta tesis.

A

MIS MAESTROS

Ing. Juan Contreras Espinosa, Ing. José Antonio Sánchez, Ing. José Luis Buenrostro, Ing. Juan Garibay Bermúdez, Ing. Francisco Rojas, Ing. Eduardo Salas Cordova, Ing. Felipe Díaz del Castillo.
Por su gran valor moral y calidad profesional, por su dedicación y compromiso con nuestra facultad.

A MIS PADRES

Por el cariño y el apoyo que siempre nos han brindado.

A MI MADRE

María Guadalupe Lara Villa

Por su apoyo, empeño y confianza en que fuéramos a la escuela.

A MI PADRE

Rosalio Lara Oviedo

Con admiración, por su esfuerzo y ejemplos que siempre nos ha dado.

A MIS HERMANOS

Jesús Rosalio Lara Lara, Adela Leticia Lara Lara

José Victoriano Lara Lara, Clara Estela Lara Lara

Por su apoyo y confianza. Las personas que crecieron conmigo, que más estimo y me siento orgulloso de ellos, las personas con quienes he compartido los mejores momentos de mi vida.

EN MEMORIA...

De CACHO LARA (1980 - 1993)

Por todos los años que paso con nosotros, a pesar de los años lo sigo extrañando.

EN MEMORIA...

De los que participaron en el movimiento estudiantil de 1968.

A MI SOBRINO

Juan Rodrigo C. Lara

Quién junto con su generación y amigos serán los constructores de un mundo nuevo.

A MIS PRIMOS

Juan García Lara, Venustiano García Lara por su incondicional afecto y a María Angélica Lara Blanco a quién admiro por su forma de ser.

A MIS AMIGOS

Adriana Sandoval García, Julieta Miranda Pérez, Gisela González Tinajero, Rosalba Guzmán Legorreta, Claudia I. Rodríguez Córtez, Guadalupe Hernández Vega, Rosario Velazco Hernández, Olga Yañez Cervantes, Araceli Resendiz Noriega, Eva Hernández Casas, Esther, Catalina Escutia, Raquel Osorio, Ing. Jesús García Lira, Felipe Casas Sánchez, Samuel Pizaña, Mario Alberto Mijangos Vargas, José Luis Esparza Ramírez, Alberto Bautista Cruz, José Santos Soriano Cano, Jesús Estrada Cazares, Alejandro Martínez Cordova, Sergio Gutiérrez Monroy, Felipe Vargas Miranda, Roberto Martínez, David Chávez Soto, Bernardo Sánchez, Enrique López, Antonio García Márquez, Gerardo Mejía Córtez. Y mi más profundo reconocimiento y admiración a las personas que he conocido a lo largo de mi estancia en la UNAM y que no han estado en posibilidades de concluir la escuela. Quienes con su amistad me han motivado a seguir adelante, y con quienes he compartido los mejores momentos de mi vida.

Los Filósofos no han hecho más que interpretar de diversos modos, el mundo pero de lo que se trata es de transformarlo.

-Karl Marx

Todo lo que he visto. Me enseña que debo confiar en el creador. A quién no he visto.

-Emerson

Cada niño al nacer nos trae el mensaje de que Dios no ha perdido todavía la esperanza en los hombres.

-R. Tagore

El hombre se guía por su buena suerte, sin saber que esta, es tan solo una buena oportunidad aprovechada. La mente es tan poderosa que inventa siempre una excusa logica para no hacer las cosas. Justifica tus limitaciones y ciertamente las tendrás.

-Richard Bach

Yo sostengo una doctrina, a la que no debo mucho ciertamente, pero le debo lo poco que he tenido, a saber, que con un talento ordinario y una extraordinaria perseverancia, todo puede lograrse.

-T. F. Buxton

La diferencia entre la persona de éxito y los demás no consiste en falta de fuerza, ni a falta de conocimiento, sino en falta de voluntad.

-Vince Lombardi

Triunfar no es cosa de una sola vez, es cosa de todos los días, es una forma de vivir y un anhelo por la vida, triunfar es un hábito, una costumbre y un reto diario.

-Vince Lombardi

Así que la próxima vez que contemple el cielo con asombro y desconcierto, recuerde que alberga dentro de usted mismo misterios mucho más grandes. La diferencia es que el cielo no puede pensar sobre sí mismo, no puede elegir lo que será.

-Wayne W. Dyer

DETRAS DE LAS ESTRELLAS

El padre Bruckberger ha contado la historia que un día le contó un amigo judío. Era un recuerdo de su infancia. Cuando tenía cuatro o cinco años, formaba parte de una tribu que vivía en el desierto en tiendas de campaña. Una noche, cuando el chavalín dormía junto a la vieja que le cuidaba, de pronto, apremiado por una necesidad natural, el niño salió de la tienda se sintió maravillado ante el cielo plagado de estrellas que nunca había visto. Era una noche de verano y un silencio terrible lo llenaba de todo. De pronto al niño le pareció que aquella era la noche más hermosa desde la creación del mundo, tal vez porque era la primera que realmente veía. Se sentía como dentro de una gran cuna. Y todo era tan sereno, tan apacible, bajo el brillo de millares de estrellas, que se diría que aquella gran armonía estaba anunciando algo. Le pareció que aquella hermosura no podía terminar allí. Que aquello estaba preparado para algo, para alguien. ¿Iba, tal vez, a venir el Anunciado a los profetas? Corrió emocionado hacia la tienda y gritó a la vieja que le acompañaba: <Ven, ven a verlo. En el cielo hay, por lo menos, diez estrellas. ¿No crees que el Mesías podría venir hoy?>. La vieja, medio dormida, oyó con una sonrisa la voz temblorosa del niño. Levantó los ojos al cielo y, viendo los millares de estrellas que tantas veces había visto, respondió: <Olvida al Mesías (y aprende a contar!>.

Me pregunto si en esa mujer y ese niño no estaba resumida la Humanidad entera. El niño formaba parte del grupo -pequeño grupo- de los que esperan algo. De los que saben que detrás de la realidad hay otra realidad más profunda y hermosa. De los que están seguros de que la belleza del mundo esconde mayores secretos. De los que se atreven a creer en la posibilidad de la utopía. De los que no se quedan atrapados en lo que ven sus ojos y quieren ir más allá, más allí.

La vieja es la mayoría de la Humanidad. Creen que han visto todo. Y, en lo que ven, nunca saben descubrir lo que puede haber detrás. Se ríen incluso de los soñadores. Para ellos lo importante es saber contar, vivir en la superficie de su aburrimiento. No se atreven a creer en nada más, porque tienen miedo a decepcionarse luego. Prefieren creer poco, esperar nada, y así se sienten como más seguros.

Naturalmente, yo preferiré siempre a los que sueñan... aunque se equivoquen; a los que esperan... aunque a veces fallen sus esperanzas; a los que apuestan por la utopía... aunque luego se queden a medio camino. Apuesto por los que no se resignan a que el mundo sea como es; los que confían en que el mundo puede y debe cambiar; los que creen que la felicidad vendrá, tal vez mañana, tal vez esta misma noche; los que no hacen caso a esa vieja que hay dentro de cada uno de nosotros y que nos asegura que no hay nada detrás de las estrellas. Sólo de los que creen, de los que esperan será el reino de la felicidad.

I N D I C E

	PAGINA.
INTRODUCCION.	1
 CAPITULO 1 ELECTRODEPOSICION	
1.1 PRINCIPIOS DE ELECTRICIDAD Y ELECTROQUIMICA.	3
1.2 DIVERSOS PARAMETROS EN BAÑOS ELECTROQUIMICOS.	8
1.3 PROPIEDADES EN LOS BAÑOS ELECTROQUIMICOS.	9
 CAPITULO 2 RECUBRIMIENTOS ELECTROLITICOS	
2.1 GENERALIDADES.	14
2.2 PREPARACION SUPERFICIAL.	15
2.3 DIVERSOS PARAMETROS EN BAÑOS ELECTROLITICOS.	20
2.4 COMPOSICION Y PROPIEDADES DEL BAÑO ELECTROLITICO.	23
2.5 ESTRUCTURA DE LOS DEPOSITOS ELECTROLITICOS.	25
2.6 EFECTOS DE DIFERENTES FACTORES EN LOS DEPOSITOS ELECTROLITICOS.	27
2.7 EQUIPO UTILIZADO PARA PROCESOS ELECTROLITICOS.	30
 CAPITULO 3 RECUBRIMIENTOS DE CROMO	
3.1 DEPOSITOS DE CROMO.	37
3.2 DIVERSOS PARAMETROS EN LOS RECUBRIMIENTOS DE CROMO.	43
3.3 EQUIPO UTILIZADO EN RECUBRIMIENTOS DE CROMO.	45
3.4 TIPOS DE RECUBRIMIENTOS DE CROMO.	47

CAPITULO 4 PROCESO DE CROMADO

4.1 PREPARACION DE SUPERFICIES PARA LA APLICACION DEL CROMADO.	52
4.2 EL NIQUEL COMO DEPOSITO BASE PARA EL CROMO.	60
4.3 PROCESO DE CROMADO.	70
4.4 EQUIPO UTILIZADO EN EL PROCESO DE CROMADO.	78

CAPITULO 5 CARACTERISTICAS Y PROPIEDADES FUNDAMENTALES DE LOS RECUBRIMIENTOS DE CROMO DURO.

5.1 CARACTERISTICAS Y PROPIEDADES.	82
5.2 FALLOS, RESTRICCIONES DE EMPLEO Y CONTINGENCIAS.	85
5.3 APLICACIONES.	91
CONCLUSIONES.	93
BIBLIOGRAFIA.	96

INTRODUCCION

Los depósitos electrolíticos se utilizan principalmente para obtener superficies con propiedades que difieren de aquellas del metal base sobre el que se aplican. Uno de los propósitos más importantes, es el de mejorar la apariencia y mantener particularmente durante un periodo de tiempo largo, un aspecto agradable y deseable, libre de manchas y de velo.

En la galvanoplastia comercial no es suficiente solamente cubrir el objeto completamente e inclusive con una uniformidad relativa ya que además es necesario producir depósitos de un metal dado que muestren propiedades tales como tersura, brillo, dureza, ductilidad, adherencia, etc., para que puedan llenar los diferentes cometidos a los que se les designa.

Dejando a un lado la mera presentación y los efectos decorativos, los recubrimientos electrolíticos se aplican para prolongar la duración de los artículos, defendiéndolos contra las influencias corrosivas y el deterioro.

El uso muy extendido de precipitados de cromo para recubrimientos industriales y decorativos representa, desde 1925 aproximadamente, una revolución en la industria de la galvanoplastia pues implica la precipitación del metal a partir de un tipo de baño completamente nuevo, en el que se requieren condiciones de operación con un control mayor que en los baños galvanoplásticos anteriormente usados. Los conocimientos y el equipo necesarios para cumplir tales requerimientos del cromado, han hecho avanzar indudablemente el estado de la galvanoplastia de todos tipos.

Ningún recubrimiento electrolítico ha desarrollado un interés tan grande ni ha encontrado una aplicación tan amplia e inmediata como el recubrimiento con cromo.

Hoy, los baños de cromar se encuentran en casi todos los talleres, y las elevadas corrientes exigidas por el proceso han creado tal nuevo orden de cosas en esta industria, que el cromado electrolítico constituye posiblemente, la innovación más importante de los últimos años.

El presente trabajo, da a conocer el proceso de los recubrimientos electrolíticos, enfocándose en el proceso de cromado que es lo que nos concierne. Se hace énfasis en la importancia de cada parte del proceso, analizando todas las consideraciones.

En el presente trabajo tratamos principalmente de presentarlo en forma de manual, en donde contemplamos una gran variedad de datos y de información, esta recopilación de datos y de información tratamos que sea de gran utilidad para realizar un sistema de electrodeposición de diferentes metales. Desglosamos el proceso paso por paso, partimos de los recubrimientos electrolíticos en general, hasta llegar al proceso de cromado. Hacemos notar la importancia de cada uno de las partes y factores que intervienen en el proceso de los recubrimientos electrolíticos.

En este trabajo, se considera que cuando se vaya a realizar un proceso de cromado, se tengan los principios para que se pueda llevar a cabo este proceso de manera eficiente y en caso necesario realizar las modificaciones dentro de los límites establecidos y que no vayan a afectar la realización del proceso.

CAPITULO 1 ELECTRODEPOSICION

1.1 PRINCIPIOS DE ELECTRICIDAD Y ELECTROQUIMICA.

UNIDADES Y TERMINOS ELECTRICOS

Corriente directa (cd). En un circuito de corriente directa, el potencial o voltaje, se expresa en volts, y corresponde a la diferencia de potencial. La obstrucción que un cable o cualquier conductor introduce en el sistema de flujo se conoce como la resistencia de esa parte del circuito y se expresa en ohms. La tasa de flujo de la electricidad se define como la corriente o la intensidad de la misma, expresándose en amperes, así que:

La corriente es proporcional a Potencial / Resistencia

$$I = E / R$$

Amperes = Volts / Ohms

En cualquier circuito o parte del circuito, la corriente es directamente proporcional al potencial e inversamente proporcional a la resistencia.

NOTA. El electrodepósito de metales se hace casi exclusivamente con corriente directa.

La unidad de corriente es el ampere, en tanto que la unidad de cantidad es el coulomb, que es la cantidad de electricidad entregada cuando un ampere fluye durante un segundo.

Ohm. Un ohm absoluto es equivalente a la resistencia a través de la cual la diferencia de potencial de un volt, produce una corriente con la intensidad de un ampere.

La potencia implicada en el flujo de la electricidad, es igual al producto de la fuerza electromotriz y de la corriente; es decir, el número de volts multiplicado por el número de amperes. La unidad es el watt.

La energía consumida durante el paso de la corriente es igual al producto de la potencia por el tiempo, o sea los watts multiplicados por segundo. Un joule es la energía desprendida aplicando un watt durante un segundo.

Rectificador de corriente (eléctrica). Aparato eléctrico que recibe corriente alterna y suministra corriente continua gracias al empleo de células rectificadoras, o diodos que tienen la característica de no permitir el paso de la corriente más que en un solo sentido.

Corriente alterna. Cuando la corriente alterna pasa por un circuito, la electricidad fluye primero en una dirección, y después de un corto intervalo de tiempo, el flujo se hace en la otra dirección. El número de inversiones de dirección por segundo es lo que se conoce como frecuencia. En un circuito de corriente alterna con 60 ciclos, tienen lugar 60 ciclos completos por segundo. Durante cada ciclo, la corriente aumenta desde 0 hasta un máximo en una dirección, después disminuye hasta 0 volviendo a aumentar hasta el mismo máximo pero en la otra dirección. La variación de corriente con respecto al tiempo se expresa generalmente mediante una sinusoide (Fig. 1.1).

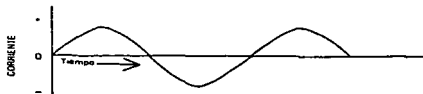


Fig. 1.1 Sinusoide. Representa la variación usual de la corriente con respecto al tiempo en un circuito de corriente alterna (c.a.). Dos ondas sucesivas, o sea, 360 grados, es lo que constituye un ciclo. Generalmente la c.a. comercial es de 60 ciclos por segundo.

CONCEPTOS ELECTROQUIMICOS

Revestimiento. Término general que designa toda capa obtenida por un procedimiento de recubrimiento de superficies. El revestimiento puede ser metálico o plástico.

Tratamiento químico. Es el Tratamiento por inmersión en un baño químico, que tiene por único fin la formación superficial de sales insolubles. Ejemplos: fosfatado de aleaciones ferrosas, cromatado del aluminio, del zinc, del cadmio.

NOTA. El tratamiento químico no engloba la formación de depósitos por desplazamiento, que es una forma de tratamiento por electrólisis.

Tratamiento electrolítico. El Tratamiento electrolítico tiene por fin la modificación química de la superficie del metal base. Ejemplos: oxidación anódica del aluminio, fosfatado electrolítico, desengrase electrolítico.

Componentes de una celda electroquímica

Una celda electroquímica está constituida por (Fig. 1.2):

Anodo. Elemento que introduce corriente eléctrica y cede electrones. Electrodo positivo, en donde se descargan los iones negativos.

Electrolito. Solución a través de la cual pasa la corriente. Líquido que proporciona un medio para que los iones metálicos abandonen la superficie del ánodo y asegure que los iones se desplacen hacia el cátodo.

Cátodo. Porción de superficie metálica en la cual los electrones producidos en el ánodo se combinan con determinados iones presentes en el electrolito. Electrodo negativo en donde se descargan los iones positivos.

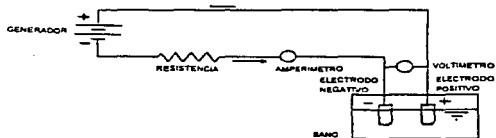


Fig 1.2 Esquema de un circuito para un baño galvanico.

Electrodeposición brillante. Cualidad de un electrodeposición de presentar un aspecto exterior que posee un poder de reflexión de la luz, que se opone al aspecto mate.

Un depósito brillante, electrodeposición o no, es independiente tanto del aspecto como del estado de las superficies subyacentes y exteriores. También un depósito puede ser perfectamente brillante, si la superficie previa y la obtenida no han sido pulidas. La superficie tiende a llegar a ser una sucesión de pequeños espejos, cuyo conjunto realiza la superficie catódica brillante.

Cementación. Modificación superficial de la composición de un metal o de una aleación particularmente de la aleaciones ferrosas, combinándolas con una sustancia: generalmente carbono, a temperatura elevada. Prácticamente la cementación se ha convertido en la transformación superficial de un acero dulce, que contiene poco carbono, en un acero duro que contiene más.

ELECTROLISIS.

En electrólisis, como es el caso de la galvanoplastia, y de los depósitos metálicos gracias a la corriente eléctrica, ésta pasa a través de una solución llamada electrolito (Solución a través de la cual pasa la corriente), entre dos electrodos conductores llamados ánodo y cátodo. En la electrólisis de soluciones

galvánicas acuosas, el metal se disuelve a partir de los ánodos o bien el oxígeno se libera sobre ellos y el metal o el hidrógeno se depositan sobre los cátodos.

LEY DE FARADAY

El principio fundamental de la electrólisis es la conocida ley de Faraday, la que puede expresarse mediante los siguientes enunciados.

1. La cantidad de cualquier elemento (radical o grupo de elementos) liberada ya sea en el cátodo o en el ánodo durante la electrólisis, es proporcional a la cantidad de electricidad que atraviesa la solución.
2. Las cantidades de elementos o radicales diferentes liberados por la misma cantidad de electricidad, son proporcionales a sus pesos equivalentes.

POTENCIALES SENCILLOS.

Siempre que un metal se sumerge en una solución que contiene sales o iones de ese metal se establece una cierta diferencia de potencial conocida como el potencial sencillo o el potencial de solución de ese metal en esa solución.

Cualquier metal dado tendrá una mayor tendencia de pasar a la solución que contiene muy pocos iones de ese metal, que a una en donde exista una alta concentración de esos iones metálicos.

El potencial de un electrodo metálico llega a ser más positivo cuando la concentración de los iones de ese metal aumenta y viceversa.

POTENCIALES DE LOS ELECTRODOS.

En la electrólisis es necesario conocer no sólo los efectos de la corriente que atraviesa un baño, tales como la disolución y el depósito del metal, sino también ¿qué potencial se requiere para obligar a la corriente a pasar a través del baño? La resistencia de un baño determina la corriente que fluye cuando se aplica un cierto potencial, de acuerdo con la ley de Ohm. En todas las hidrólisis llevadas a cabo con una densidad apreciable de corriente, los potenciales de los ánodos y de los cátodos cambian, como resultado de la polarización y por lo tanto afectan el paso de la corriente, aparte de la ley de Ohm.

POLARIZACION.

El cambio de potencial de un electrodo, es el resultado de la electrólisis conocida como la polarización de ese electrodo. El cambio en la concentración que tiene lugar cercana al electrodo como resultado de la electrólisis.

La polarización en cualquiera de los dos electrodos, y que es causada por cambios en las concentraciones locales de los iones de las sales metálicas, se

conoce como polarización por concentración. Tal cambio en el potencial corresponde al cambio en la concentración de la película de solución que se encuentra sobre la superficie del electrodo.

La polarización y también la resistencia en la superficie anódica, se aumentan, así que se requiere un voltaje mayor para el paso de una corriente dada.

RESISTENCIA DE LAS SOLUCIONES.

La resistencia de cualquier porción de una sustancia homogénea con una sección transversal uniforme, es directamente proporcional a la resistividad de esa sustancia y a la longitud, siendo inversamente proporcional a la sección transversal. Esta relación puede expresarse como:

$$\text{Resistencia (R)} = \frac{\text{resistividad } (\rho) \times \text{longitud}}{\text{área de la sección transversal}}$$

En el sistema métrico, las unidades utilizadas son:

$$\text{ohms} = \frac{\text{ohm} \cdot \text{cm} \times \text{cm}}{\text{cm}^2}$$

En estas expresiones, los términos resistencia, conductancia, resistividad y conductividad pueden usarse recíprocamente. Un incremento en la resistencia o en la resistividad, corresponderá a un descenso en la conductancia o en la conductividad.

Las resistividades de las soluciones acuosas de los ácidos y de las bases fuertes son relativamente bajas, sin embargo, bastante más altas que la de la mayor parte de los metales. Las resistividades de las soluciones salinas, como la que se pueden usar en galvanoplastia son mucho más altas, por lo que siempre que sea factible, se tienen que agregar ácidos o álcalis para disminuir estas resistividades.

SOBREVOLTAJE.

Cuando el hidrógeno se desprende en el cátodo o el oxígeno en el ánodo, la diferencia de potencial requerida es casi siempre superior a la que corresponde al pH de la solución, o sea el potencial de equilibrio de un electrodo de hidrógeno o de oxígeno en esa solución. Esta diferencia de potencial, conocida como sobrevoltaje para el desprendimiento de hidrógeno y oxígeno, varía en función de la composición y de la estructura de la superficie de los electrodos, aumentando con la densidad de corriente. El sobrevoltaje, es la polarización desarrollada en el desprendimiento de un gas tal como el hidrógeno, bajo una superficie especificada

del electrodo. Un uso más restringido del término sobrevoltaje, se refiere a la polarización mínima.

La mayor parte de las polarizaciones o de los sobrevoltajes en el desprendimiento gaseoso, pueden designarse como polarizaciones químicas.

1.2 DIVERSOS PARAMETROS EN BAÑOS ELECTROQUIMICOS.

DENSIDAD DE CORRIENTE.

Es de desear el uso de las más altas densidades de corriente que sean posibles. Dentro de ciertos límites, un incremento de la densidad de corriente, disminuye el tamaño de cristal. Cuando la densidad de corriente excede del valor límite para un baño dado y para una temperatura dada hay una marcada tendencia en la producción de depósitos rugosos y arborescentes. Un incremento posterior en la densidad de corriente proporcionaría inclusive depósitos esponjosos o "quemados", los cuales contienen hidróxidos o sales básicas encerradas.

Cuando se incrementa la densidad de corriente, la concentración disminuye, en tanto que la polarización aumenta.

TEMPERATURA.

Un incremento de la temperatura ocasiona un aumento del tamaño de los cristales.

Los depósitos tersos y de grano fino, se producen frecuentemente mediante soluciones calentadas intencionalmente, en virtud de que temperaturas altas, y densidades de corriente elevadas son posibles y benéficas. La densidad de corriente elevada contrarresta el efecto de la temperatura alta.

Alta temperatura incrementa la movilidad de los iones metálicos y disminuye la viscosidad de la solución, así que la película catódica se restablece más rápidamente, lo cual reduce la tendencia a la formación de estructuras arborescentes e incrementa también la densidad de corriente obtenida a partir de un voltaje dado. Otra ventaja de las temperaturas elevadas es la de que hay generalmente menos absorción de hidrógeno por los depósitos, menos tensión y tendencia de producir fisuras, cosa especialmente importante en el hierro, níquel y cobalto.

ADITIVOS.

La adición de pequeñas cantidades de determinadas sustancias orgánicas dan como resultado depósitos metálicos más suaves y duros.

La adición de tales agentes es muy útil en baños ácidos para metales como el cobre, el plomo, el cinc y el estaño, ya que la ausencia de estos aditivos conduce a depósitos cristalinos muy rugosos.

AGITACION.

En general, la agitación de la solución produce un suministro fresco de sales o de iones metálicos al cátodo, reduciendo el espesor de la película catódica y facilitando así el abastecimiento de iones metálicos o de compuestos a la superficie catódica. Otra ventaja de la agitación, es la que barren las burbujas gaseosas que pueden ocasionar cráteres. La agitación también mezcla la solución e impide la estratificación de soluciones más pesadas que se van al fondo del tanque.

Son posibles dos tipos de agitación en los cuales el flujo resultante de la solución es respectivamente: (1) Laminar, o sea, por capas y (2) Turbulento, en todas direcciones. El primer tipo es el más benéfico para la agitación de los baños galvánicos.

Una razón por la cual la agitación rápida ya no se usa mucho, es la de que provoca desprendimiento de partículas del ánodo y de que agita también los lodos del fondo de la tina ocasionando depósitos porosos y rugosos.

La agitación rápida disminuye la polarización y puede reducir la potencia de depósito.

1.3 PROPIEDADES EN LOS BAÑOS ELECTROQUIMICOS.

Naturaleza de los aniones y de los cationes.

En la mayor parte de las soluciones galvánicas, el metal se introduce como una sal, o sea, un compuesto derivado de un metal y de un ácido. Una de las pocas excepciones las tenemos como en el caso del ácido crómico, CrO_3 ó H_2CrO_4 que constituye la fuente de metal en el cromado. Las sales de otros metales además de las que proporcionan el depósito, se añaden frecuentemente introduciendo así otros cationes. Las adiciones más frecuentes son bajo la forma de fluoruros y de sulfatos de sodio, potasio, amonio y magnesio. Es posible que estos cationes emigren hacia la película catódica en grados diferentes y que influyan en el comportamiento de cualquier material coloidal ahí presente. Las sales solubles de los ácidos fuertes como el sulfúrico, el clorhídrico y el nítrico, tienen comportamientos muy semejantes.

Los aniones en un baño pueden afectar su operación afectando la forma de los coloides en la película catódica.

Concentración del ión metálico.

Se puede pensar que una condición de las más importantes en los baños electrolíticos para lograr un recubrimiento que tenga consistencia uniforme, es la cantidad de metal agregada en el baño. La experiencia indica que esto no es siempre cierto. Es importante el contenido de metal, pero la concentración del ión en torno al cátodo es mucho más importante. Cualquier metal dado tendrá una mayor tendencia de pasar a la solución que contiene muy pocos iones de ese metal, que a una donde existe alta concentración de iones metálicos. Con un descenso en la concentración de los iones metálicos aumenta la polarización catódica, disminuye el tamaño de los cristales y mejora el poder de penetración en interiores y profundidades de las piezas que se recubren. En general, el potencial de un electrodo metálico llega a ser más positivo cuando la concentración de los iones de este metal aumenta y viceversa. Por lo tanto, para que una solución sea práctica debe tener una alta una concentración de compuestos metálicos y baja concentración de iones metálicos.

Características del ánodo.

El ánodo (Fig. 1.3) se está destruyendo paulatinamente cede iones negativos y entra en contacto con la superficie catódica, por lo que su comportamiento desempeña un papel importante en el funcionamiento correcto de un proceso, ya sea en el rendimiento de corriente, poder de penetración o en el mantenimiento de la composición de la solución.

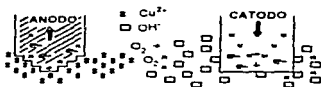


Fig 1.3 El metal anódico se desintegra, mientras que el material catódico permanece casi sin ser afectado

Un ánodo soluble ideal debe reunir las siguientes características:

- Que no tenga asperezas y que se disuelva igual bajo la influencia sólo de la corriente
- Formación mínima de lodos.

- c) Disolución con alto rendimiento de corriente anódica.
- d) Alta corriente límite; esto se consigue teniendo una gran área para una cantidad de materia determinada.
- e) Máxima pureza para un costo razonable.

Buena conductividad.

Para que un metal se pueda depositar de una solución mediante el paso de corriente eléctrica es necesario que la solución conduzca la electricidad. La adición de sales en los compuestos metálicos los hará buenos conductores. ya que al añadir ácidos minerales se suministran iones de hidrógeno los cuales aumentan el poder conductor en el baño.

PH.

El pH se define como la concentración de iones de hidrógeno en una solución disuelta.

Concentración del ion hidrógeno o pH.

Todas las soluciones acuosas contienen algo de iones hidrógeno. El agua perfectamente pura se disocia ligeramente formando los iones respectivos:



Si se añade un ácido, la concentración de los iones hidrógeno aumenta. en tanto que si se añaden una base, la que se aumenta es la concentración de iones oxhidrilo. Puesto que los iones hidrógeno están cargados positivamente, en la electrólisis emigrarán hacia el cátodo en donde se descargarán formando gas hidrógeno. La eficiencia catódica depende principalmente de que las proporciones de la corriente se utilicen respectivamente depositando metal e hidrógeno. Una eficiencia catódica del 100%, para depósito metálico, significa que no se descarga hidrógeno, en tanto que una eficiencia cero querrá decir que solamente se descargará hidrógeno. Debido a que esta eficiencia está en parte determinada por la concentración de iones hidrógeno, es importante conocer y controlar esas concentraciones, especialmente en los baños casi neutros, como en el niquelado.

En soluciones acuosas o en agua, el producto de las concentraciones de los iones hidrógeno y de los iones oxhidrilo, es constante e igual a 1×10^{-14} N, leído como uno que multiplica a diez elevado a menos catorce normal, o sea 0.000 000 000 01 N.

Con el fin de evitar el uso de fracciones decimales engorrosas para expresar la concentración de iones hidrógeno, se utiliza el método conocido como el sistema pH de una solución es igual al valor numérico del exponente en el denominador de la fracción que expresa la concentración de iones hidrógeno. En lenguaje matemático el pH es el logaritmo negativo de la concentración de iones hidrógeno; o sea $\text{pH} = -\log \text{CH}_+$. Por ejemplo, en una solución acuosa neutra en la cual la concentración de iones hidrógeno es de 10^{-7} N , se dice que el pH es de 7.0.

Es importante distinguir entre la concentración de un ácido en solución y la concentración de los iones hidrógeno, ya que este último medido en términos de pH expresa el grado de acidez.

Efectos del PH.

El pH de la película catódica, tiende a ser más alto que el del cuerpo de la solución si la eficiencia catódica es de menos de 100%. Esto y los cambios relacionados con la composición y la estructura de la película catódica, tienen un efecto directo sobre la eficiencia catódica y sobre la composición y propiedades del depósito.

El pH alcanzado en la película catódica, bajo condiciones uniformes depende del pH del cuerpo de la solución. El uso de un pH en el baño resultará de un pH inferior en la película catódica que el obtenido en un baño con pH más elevado. Esto conducirá a una eficiencia catódica menor y a una tendencia más baja para que materiales básicos se incluyan en el depósito, el cual tendrá una tendencia para hacerse más blando. Un pH bajo en el baño permite utilizar corrientes de densidad más elevada para producir un depósito firme a una eficiencia relativamente alta.

Cuantitativamente podemos concluir, que el uso de pHs bajos en los baños, principalmente, para metales menos nobles que el hidrógeno como, por ejemplo, el níquel o el cinc, da como resultado depósitos más puros y más blandos que permiten el empleo de densidades de corriente más elevadas. En los baños más ácidos, como en los de cobrizado al sulfato y en los de ácido crómico, en donde el pH es generalmente inferior a 1, esto no es tan crítico, teniendo efectos menos marcados en el comportamiento de los baños y en las características de los depósitos.

Control del pH.

Cuando la experiencia ha mostrado que un cierto valor o gama de pH proporciona un comportamiento adecuado del baño, o bien, que la medida de un

pH muestra que éste es demasiado alto o demasiado bajo, entonces se puede ajustar el pH a un valor dado y deseado. Esto se lleva a cabo agregando ácido si el pH es demasiado alto, y álcali si es demasiado bajo. En general, estas adiciones deben hacerse seleccionando en tal forma que no exista otro cambio marcado en la composición del baño.

La cantidad de ácido o de álcali que se necesita para producir un cambio dado en el pH, depende de la composición del baño y especialmente de sus propiedades tampones. Una solución buferizada o tampón, es aquella en la cual un cambio relativamente pequeño de pH se ocasiona mediante la adición de ácido o de álcali.

Siempre que la eficiencia anódica exceda a la eficiencia catódica, el pH tiende a subir y viceversa.

CAPITULO 2 RECUBRIMIENTOS ELECTROLITICOS

2.1 GENERALIDADES.

La galvanotecnia es la parte de la técnica que nos permite cubrir con finas capas, del metal que nos interese, los objetos más diversos en cuanto a forma y dimensiones. Con ella, se obtienen depósitos metálicos que, en algunos casos, sólo tienen por objeto mejorar las características estéticas de las piezas, pero que generalmente sirven para dotarlas de las condiciones de resistencia a la corrosión y al desgaste, propias del metal que se ha usado para el recubrimiento.

El éxito de la operación depende en gran parte de la preparación correcta de las piezas (limpieza mecánica, desengrasado, decapado, etc.) antes de su inmersión en la cuba electrolítica.

Todos los revestimientos galvánicos, cualquiera que sea el metal de que se deriven, tienen en común su estructura cristalina, más o menos visible. Son, precisamente, las distintas dimensiones de los cristales que se forman las que confieren al revestimiento su apariencia estética y sus características físicas. Cuanto más pequeños son los cristales del metal depositado, tanto más dicho revestimiento queda fino, duro y brillante.

La electrodeposición catódica puede compararse a un proceso de cristalización, sólo que en este caso se obtiene la cristalización en dos etapas, que son: la formación de los núcleos cristalinos y crecimiento de los cristales. Cada metal presenta una actuación propia que se deriva de las condiciones particulares de la electrólisis, o sea, de la densidad de corriente, de la temperatura del baño, de la agitación de éste, de la concentración del metal en la solución, de la naturaleza de electrolito, de la presencia de aditivos, etc.

Requerimientos esenciales de las soluciones en electrodeposición.

En los baños electrolíticos de recubrimientos metálicos son importantes ciertas condiciones que, si bien alguna de ellas puede faltar en soluciones simples, deben procurarse siempre en la medida de lo posible. Son las siguientes:

1. Contener elevada proporción del metal.
2. Buena conductividad para reducir la energía absorbida en el proceso.
3. Ser estables, no solamente en presencia del metal que se va a recubrir, sino en contacto con el aire, aunque esta última especificación no la cumplan los

- cianuros, ya que continuamente se están descomponiendo con desprendimiento de cianhídrico y acumulación de carbonatos.
4. Permitir una correcta disolución anódica, para mantener la concentración metálica de la solución.
 5. Producir depósitos regulares y adherentes.
 6. Una buena penetración (acción de profundidad).
 7. Si es posible, deben combinarse todas estas propiedades en una solución de composición relativamente sencilla y susceptible de fácil análisis.

2.2 PREPARACION SUPERFICIAL.

PRINCIPIOS GENERALES.

Antes de aplicar los depósitos electrogalvánicos, es fundamental que la superficie del metal de base esté limpia.

Es esencial quitar toda sustancia extraña de la superficie del metal antes de proceder al tratamiento galvánico.

Bajo cualquiera de los procedimientos prácticos y comerciales, las superficies metálicas muy rara vez están absolutamente limpias, especialmente debido a que sustancias lo mismo sólidas que líquidas y gaseosas, se encuentran absorbidas sobre ellas.

Una superficie metálica esta limpia cuando no posee películas que interfieran y que sean más gruesas que el orden de magnitud de los espacios atómicos del metal de base y del depósito metálico. Si se encuentra presente una película más gruesa, tenderá a evitar que los átomos del metal que se deposita, lo hagan en tal forma, que se encuentren muy pegados al metal de base, lo suficiente para permitir que se ejerzan fuerzas de atracción o de adhesión.

TRATAMIENTO DE LAS SUPERFICIES.

No se da la importancia necesaria a la preparación de las piezas que van a someterse a un tratamiento galvánico y con mucha frecuencia la causa de los revestimientos poco adherentes o manchados debe achacarse a los errores cometidos durante el tratamiento previo de las piezas.

LIMPIEZA MECANICA.

Si los objetos que deben recubrirse aparecen cubiertos por una espesa capa de herrumbre o de otros óxidos, es imprescindible una perfecta limpieza de su superficie mediante un cepillo, muela abrasiva o al chorro de arena silícea. La

limpieza mediante chorro de arena influye sobre el acabado de las piezas y se usa, particularmente, cuando se desea obtener una superficie opaca. Los cepillos metálicos son de gran eficacia, bien empleados solos o preferentemente junto con un abrasivo (por ejemplo piedra pómez, esmeril o carburo de silicio) y una solución alcalina.

PULIDO ELECTROQUIMICO.

El pulido electroquímico sustituye en algunos casos al pulido mecánico, en especial si las piezas son de forma complicada o de dimensiones reducidas, que dificultan el empleo de los sistemas comunes; resulta muy eficaz cuando se desea obtener superficies muy bruñidas con metales de gran dureza, destinadas, por ejemplo, a contactos eléctricos. Se obtienen óptimos resultados con la aplicación del pulido electroquímico al tratar aceros inoxidables, aleaciones de aluminio, de cobre, de níquel y para el oro, la plata y algunos bronce y latones.

El pulido electrolítico consiste, sustancialmente, en el proceso inverso al de la formación de depósitos galvánicos. La pieza que debe pulirse, inmersa en la solución, actúa de ánodo y por efecto del paso de la corriente se desprende metal que pasa a la solución, limando las asperezas y obteniéndose una superficie perfectamente bruñida.

Los tratamientos preliminares a un electropulido deben ser los siguientes: eliminación de la grasa, limpieza del polvo y separación de los óxidos.

DESENGRASADO.

La finalidad del desengrasado es la preparación de las superficies para que puedan ser atacadas con facilidad por las soluciones de decapado, eliminando de ellas hasta la menor partícula de grasa.

Para la eliminación de las grasas orgánicas, que son fácilmente saponificables, basta con recurrir a soluciones alcalinas y trabajarlas en caliente (sosa cáustica, trifosfato, etc.). En cambio, los aceites minerales requieren el uso de solventes orgánicos (tricloroetileno, por ejemplo).

Cuando los objetos a tratar están muy engrasados u oxidados, es conveniente efectuar una limpieza previa, a base de trapos y cepillo, sometiéndolos luego a la acción de los oportunos disolventes. La elección del solvente adecuado depende de varios factores, a saber: de la naturaleza de las sustancias que deben eliminarse, del grado de pulimento que se desee, de la reacción química entre el disolvente y el metal de base y en lugar importante, del costo del proceso

Siempre que el número de piezas a tratar sea reducido, no justificando los gastos de limpieza mediante instalaciones especiales, se efectuarán a mano las operaciones de desengrasado, aplicando el disolvente con cepillos o trapos dependiendo de las distintas formas de los objetos.

Los disolventes orgánicos son buenos detergentes y no provocan la formación de óxidos, pero resultan más costosos pues requieren una instalación de recuperación y destilación y en muchos casos son peligrosos. Es por esto que, a los tan conocidos, benzol, gasolina, etc., inflamables con facilidad, se prefieren los compuestos clorurados del carbono (tricloroetileno y percloroetileno).

Para su limpieza, las piezas pueden ser sumergidas, en el disolvente, o bien dejarlas expuestas a los vapores del mismo durante 2 ó 3 minutos; vapores que al contacto con las superficies frías se condensan, escurriéndose seguidamente por el metal, limpiándolo.

Un buen disolvente alcalino debe responder a las condiciones siguientes: ser fácilmente soluble en agua, penetrar profundamente entre las partículas de grasa y desprenderlas de la superficie del metal, disolver y saponificar los aceites y grasas, o sea, emulsionar sus partículas y no atacar el metal base.

Las grasas son el resultado de la unión de un ácido orgánico, de un elevado número de átomos de carbón, con un alcohol (por ejemplo la glicerina). La sosa saponifica en esta clase de compuestos: liberando la glicerina y combinándose con el ácido para formar un jabón soluble.

Con la solución, cuya composición se indica seguidamente, se consiguen buenos resultados y es adecuada para todos los metales:

sosa cáustica.....	85 %
carbonato sódico....	10 %
colofonia.....	5 %

(la solución se prepara en caliente, dejándola enfriar seguidamente). Si las piezas no están excesivamente sucias, es conveniente reducir el contenido de sosa:

fosfato trisódico	50 - 70 %
carbonato sódico	20 - 40 %
sosa cáustica	10 %
jabón	4 %

El tiempo necesario de inmersión en la solución depende de las condiciones de las piezas, siendo en general de pocos minutos.

La temperatura de la solución influye considerablemente en la velocidad de la reacción a que se efectúa la saponificación. De tal modo, que en muchos casos a

un aumento de 10°C sobre 60°C le corresponde una reducción del tiempo de desengrase, del orden del 50%. Por ejemplo, si una determinada operación de limpieza, trabajando a 60°C precisa de 40 minutos para llevarse a efecto, quedará reducida a 20 minutos si se eleva la temperatura hasta los 70°C y a sólo 10 minutos a los 80°C.

Después del desengrasado es muy importante proceder a un perfecto aclarado con agua corriente. Preferiblemente se dispondrá de dos cubas contiguas en donde sumergir las piezas sucesivamente.

Se ha conseguido un buen desengrasado, si durante el lavado, el agua escurre por toda la superficie de la pieza, mojándola completamente. Las piezas una vez desengrasadas no deben tocarse con las manos, y si ello resultase inevitable deberá hacerse con las manos muy limpias y mojadas en agua, a fin de no dejar huellas, que podrían comprometer el éxito de la deposición.

DESENGRASADO ELECTROLITICO.

El desengrasado electrolítico representa un método francamente rápido y económico si se dispone del equipo necesario. Casi todas las soluciones empleadas normalmente en este método, están compuestas por álcalis cáusticos en presencia de cianuro sódico o potásico y en algunos casos de alúmina (1 al 2%). Las piezas pueden ser conectadas al cátodo o al ánodo, indistintamente.

En el sistema de desengrasado electrolítico, las cubas y elementos de suspensión están contruidos de hierro o acero y el ánodo está formado por planchas de hierro o de níquel. La solución, indicada a continuación, proporciona buenos resultados sobre objetos de hierro o acero.

potasa cáustica	60 gr.
carbonato potásico	30 gr.
cianuro potásico	10 gr.
agua	1 litro

Para cobre, cinc, plata y aleaciones, se usará la siguiente:

potasa cáustica	30 gr.
cianuro potásico	10 gr.
silicato potásico	60 gr.
agua	1 litro

El tiempo necesario es de algunos minutos y la densidad de corriente debe ser elevada hasta de 5 A/dm², mientras que la tensión será del orden de 4 a 5 V. Con tiempos superiores a los indicados, se produce un desprendimiento excesivo de

hidrógeno (liberado por la reacción entre el metal y la solución) que puede causar la oclusión del gas en la superficie de la pieza empeorando las características mecánicas y provocando en la electrodeposición la formación de burbujas y la escamación del revestimiento

Las piezas se sumergen en el baño estando ya bajo corriente para evitar que el metal sea atacado directamente por la solución.

DECAPADO.

Se entiende por decapado la eliminación de las más pequeñas capas de óxido y escorias, obtenida por vía química o electroquímica. Generalmente se usan soluciones de ácido diluido, pero pueden emplearse asimismo soluciones alcalinas (que sustituyen también al desengrasado con disolventes orgánicos). Después de la utilización de soluciones alcalinas, da muy buenos resultados el empleo de una solución acuosa de sosa cáustica con una concentración de 100 gr/l y de sosa Solvay (400 gr/l).

Si las soluciones se preparan demasiado diluidas, no se obtiene un decapado perfecto en el tiempo previsto y si demasiado concentradas, el ataque químico ataca incluso al metal; para evitar este peligro, se echa mano de los llamados inhibidores. Los inhibidores son sustancias líquidas o sólidas del grupo de compuestos orgánicos (tales como gelatina, la dextrina, etc.) o inorgánicos (cromatos, silicatos, fosfatos, etc.), basándose su acción en la formación de una finísima película que recubre la superficie del metal, una vez limpia de óxidos.

El tiempo de inmersión en la solución de decapado y la temperatura de trabajo dependen, naturalmente, de las condiciones de las piezas a tratar y de la clase del material. Las temperaturas elevadas aceleran la operación del decapado, destruyendo al mismo tiempo las películas de grasa adheridas a la superficie de las piezas (de modo que pueden sumergirse directamente en el baño de decapado sin desengrasado previo), pero requieren mucha mayor atención por parte del operario y presentan además el inconveniente de un costo más elevado debido al precio del calentamiento necesario.

La eliminación de los óxidos puede también lograrse por medios electroquímicos; para ello, se sumergen las piezas a decapar en soluciones adecuadas de forma que las piezas se comporten como ánodo o como cátodo (según la solución empleada) y con densidades de corriente y tiempos de inmersión variables, según los casos.

Después del decapado, deben lavarse las piezas en abundante agua corriente, a fin de eliminar completamente los residuos de la solución y por último, secar las piezas con serrín bien limpio.

2.3 DIVERSOS PARAMETROS EN BAÑOS ELECTROLITICOS.

DENSIDAD DE CORRIENTE.

Si se mantienen invariables todos los demás factores, el aumento de la densidad de corriente acelera la velocidad de deposición del metal y conduce a la formación de revestimientos con una estructura tanto más fina, cuanto más elevada es la densidad de la corriente. No obstante, existe una densidad de corriente crítica, sobrepasada la cual, en condiciones normales, se obtiene una disminución del rendimiento catódico; esto es debido a que entonces se produce la formación de hidrógeno sobre el cátodo, obteniéndose depósitos porosos, rugosos o "quemados", que son poco adherentes al cátodo.

Para llegar al límite máximo de la densidad de corriente, sin que por ello se comprometa el éxito de la electrodeposición, basta con agitar la solución y al mismo tiempo elevar la temperatura del baño, o bien, aumentar la concentración del ión metálico.

Las altas densidades de corriente precisan siempre la agitación de la solución.

AGITACION.

La agitación favorece el intercambio entre la película líquida catódica y la solución restante, se opone a las corrientes de convección, que son las responsables de que se produzcan irregularidades en el crecimiento de los cristales y además tiende a eliminar las burbujas de gas que se forman en el cátodo.

En contra, la agitación, presenta una desventaja que le es propia y es la de mantener a las impurezas en suspensión, en forma de pequeñas partículas sólidas que en estado de reposo tenderían a sedimentarse en el fondo de la cuba. Al quedar mantenidas en suspensión, se facilita su deposición sobre el cátodo, obteniéndose depósitos rugosos (inconveniente particularmente perjudicial en los baños de niquelar) Por esto, es preciso, junto con la agitación, disponer siempre de un sistema eliminador de impurezas, bien sea mediante filtración continua o por centrifugación.

La agitación de la solución produce un suministro fresco de sales o de iones metálicos al cátodo, reduciendo el espesor de la película catódica y facilitando así el abastecimiento de iones metálicos o de compuestos a la superficie catódica. Otra ventaja de la agitación, es la que barren las burbujas gaseosas que pueden ocasionar cráteres. La agitación es también importante puesto que mezcla la solución e impide la estratificación de soluciones más pesadas que se van al fondo del tanque.

No tiene importancia si el movimiento relativo se obtiene por desplazamientos horizontales, verticales o rotatorios de los cátodos, o bien, por agitación de la solución mediante un agitador, una bomba o un chorro de aire. Son posibles dos tipos de agitación en los cuales el flujo resultante de la solución es respectivamente: (1) Laminar, o sea, por capas y (2) Turbulento, digamos en todas direcciones. El primer tipo se llama a veces flujo de masa, habiéndose encontrado que es el más benéfico para la agitación de los baños galvánicos.

La agitación rápida provoca desprendimiento de partículas del ánodo y agita los lodos del fondo de la tina ocasionando depósitos porosos y rugosos. La agitación rápida disminuye la polarización y puede reducir la potencia del depósito.

Agitación de aire.

Frecuentemente es de desear el agitar las soluciones galvánicas para aumentar la uniformidad de la composición y permitir el uso de densidades más altas de corriente que en esta forma se hacen posibles. En electrotipia esto se logra por medio de aire comprimido proporcionado mediante tubos de plomo perforados colocados de preferencia entre los ánodos y los cátodos para obtener el mayor grado de agitación.

La agitación con aire tiene la ventaja de poderse introducir en cualquier parte del tanque y el grado de agitación puede controlarse con simples válvulas. La desventaja es que al introducirse el aire se forma en las soluciones una atmósfera oxidante, lo que puede acelerar reacciones químicas secundarias (que pueden ser perjudiciales). La agitación de aire se usa en ocasiones en el cromado, especialmente para igualar la temperatura en el baño, lo que reduce probablemente la eficiencia del cátodo.

Agitación mecánica.

La agitación mecánica de las soluciones en una escala comercial presenta frecuentemente dificultades de orden práctico. Puede lograrse ya sea por

movimiento de los ánodos o de los cátodos, o de la solución por medio de revolvedores fuera del circuito. Generalmente no es factible emplear una agitación violenta en las soluciones galvanizadoras.

CIRCULACION Y FILTRACION.

Es necesario filtrar a intervalos las soluciones galvanizadoras y al mismo tiempo eliminar el sedimento acumulado en el fondo de los tanques. En instalaciones grandes y sistemas de acarreo mecánico es esencial la filtración continua.

TEMPERATURA.

Si se aumenta la temperatura, sin modificar los demás factores, se aumenta la velocidad de formación de los nuevos núcleos de cristalización, pero ante todo se obtiene un aumento de velocidad en el crecimiento de los cristales ya existentes; la elevación de temperatura produce también una disminución de la viscosidad de la solución y por tanto un aumento en la movilidad de los iones disueltos que da lugar a la obtención de depósitos de grano grueso; a pesar de ello se recurre frecuentemente al calentamiento de las soluciones, como medio para contrarrestar los efectos de las altas densidades de corriente.

Es necesario evitar las temperaturas elevadas en las soluciones que puedan ser fácilmente descompuestas por el calor.

AGENTES DE ADICION (ADITIVOS).

Los agentes de adición podrían definirse como sustancias que, sin ser necesariamente ingredientes básicos, se añaden en pequeñas cantidades a los baños electrolíticos con el fin de producir un cambio beneficioso en la naturaleza del depósito.

La adición de ciertas sustancias a los baños electrolíticos, aún en cantidades mínimas, influye marcadamente en la naturaleza física y en las propiedades mecánicas de los depósitos resultantes. Es con frecuencia sorprendente como una pequeña cantidad añadida efectúa el cambio deseado. En ocasiones, basta un pequeño exceso para que el baño funcione peor que sin la adición. Algunas veces, estos efectos son más bien perjudiciales, por lo que las sustancias responsables deben ser eliminadas. En otros casos, tales efectos son ventajosos, pues mejoran el carácter del depósito en muchos aspectos. Cuando esto ocurre, siempre son de desear las adiciones, determinándose previamente la concentración óptima y asegurándose su mantenimiento.

Algunos compuestos de tipo orgánico, mejoran notablemente las características de los depósitos formados, afinando su estructura cristalina. Entre los aditivos más utilizados, están los fenoles y sus derivados, los aldehídos, la hidroquinona, la hidroxilamina, la gelatina, la goma arábica y los derivados lignosulfónicos, etc. Forman parte de este grupo los abrillantadores, tan utilizados en los baños de plateado, niquelado y cromado brillante.

A menudo, el efecto de los aditivos sólo se hace patente al cabo de un cierto tiempo de su inclusión en el baño, de lo que se deduce que al reaccionar estos con los demás componentes de la solución dan lugar a la formación de compuestos de mayor eficacia.

PODER DE PENETRACION.

El poder de penetración en un baño electrolítico puede definirse como la facultad de la solución para producir depósitos de espesor uniforme sobre superficies irregulares. Esta es una de las más importantes propiedades.

Factores que influyen en el poder de penetración.

Son tres los factores que, conjuntamente, determinan el poder de penetración de una solución.

- El primero es la distancia entre electrodos.
- En segundo lugar están los rendimientos correspondientes a las diferentes densidades de corriente sobre áreas localizadas de una superficie irregular. Una mayor densidad de corriente puede, no sólo mejorar, sino también empobrecer el rendimiento, lo que afecta siempre al peso del metal depositado.
- Finalmente, debe tenerse en cuenta otro factor, importante que es el potencial catódico que es la dificultad de extraer metal del electrolito para incorporarse al cátodo.

2.4 COMPOSICION Y PROPIEDADES DEL BAÑO ELECTROLITICO.

COMPOSICION DEL BAÑO.

Concentración del metal. En virtud de que los metales pueden depositarse solamente a partir de soluciones que tienen disueltos compuestos de esos metales, parece aconsejable tener las concentraciones más altas posibles de cada sal dada, o sea, trabajar con soluciones saturadas. Entre las ventajas que se tienen por el uso de soluciones fuertes se encuentran:

- Primero, una conductividad mayor.
 - Segundo, una más alta densidad de corriente permitida.
 - Tercero, una eficiencia catódica más elevada
- Las desventajas por otra parte son:
- Primero, un costo más alto tanto inicial para la preparación de los baños y para el retirado de las piezas, en virtud de que se tienen soluciones más voluminosas, más corrosivas y más viscosas.
 - Segundo, la tendencia de cristalización sobre las paredes del tanque y los electrodos debido a la evaporación o a descensos de la temperatura.
 - Tercero, un probable descenso en la eficiencia anódica. En la práctica, se utilizan concentraciones intermedias, pero la tendencia actual es la de emplear soluciones lo más concentradas posibles. Un incremento en la concentración del metal bajo condiciones dadas, disminuye la polarización catódica e incrementa el tamaño de los cristales. Tal como un incremento de temperatura, la densidad de corriente elevada que puede utilizarse con soluciones más concentradas, puede efectivamente contrarrestar el efecto de la concentración sobre la talla de los cristales.

CONCENTRACIONES DEL ION METALICO.

Debido a que el depósito de los metales es el resultado de la descarga de los iones metálicos, la concentración de estos últimos es más importante que la de los compuestos metálicos de los que se derivan. En general, un descenso en la concentración de los iones metálicos aumenta la polarización catódica, disminuye el tamaño de los cristales y mejora la potencia de depósito. El compuesto metálico sirve así como un recipiente que los reprovisiona iones a medida que se van descargando.

Las dos maneras principales para reducir la concentración de iones metálicos, son:

- Primero, agregar un compuesto que tenga un ion común.
- Segundo, formar compuestos complejos e iones.

PROPIEDADES FISICAS DEL BAÑO.

Además de la composición química de las soluciones galvánicas existen algunas propiedades físicas mensurables íntimamente relacionadas con aquellas que afectan el comportamiento del baño. Entre ellas podemos citar:

Resistividad eléctrica. Es evidente que para que un metal se pueda depositar de una solución mediante el paso de corriente eléctrica, es necesario que la solución

conduzca la electricidad. El efecto más directo sobre la resistividad de la solución se hace sobre el voltaje requerido para producir una densidad de corriente adecuada. Suponiendo que otras condiciones permanecen constantes, el voltaje del baño que se necesita, debe ser inversamente proporcional a la conductividad de la solución, o bien, directamente proporcional a su resistividad. En general, la mejor solución conductora es la que debe de usarse. Las mismas condiciones que provocan un incremento en la conductividad cambian, generalmente, también otras propiedades. Por ejemplo, la adición de un ácido fuerte disminuye el pH y puede disminuir por ende la concentración de iones metálicos.

Viscosidad de la solución. Una solución de casi cualquier sal, muestra una alta viscosidad, o sea, que fluye menos fácilmente que el agua pura, y la viscosidad de la mayor parte de la soluciones, aumenta proporcionalmente a la concentración.

La viscosidad también ejerce influencia sobre la tasa de difusión de las sales o iones de la película catódica, pero no afecta generalmente la tasa de migración.

Tensión superficial. Sobre todas las superficies, principalmente la de los líquidos, existen ciertas fuerzas de atracción que se traducen en una tensión en la superficie. La magnitud de estas fuerzas se conoce como tensión superficial para un líquido dado.

Los agentes humectantes, son materiales con actividad superficial, pudiendo definirse como sustancias cuya adición a una solución provoca un descenso en su tensión superficial.

2.5 ESTRUCTURA DE LOS DEPOSITOS ELECTROLITICOS.

Mecanismo de los depósitos por corriente eléctrica.

Cuando se aplica un potencial a dos electrodos en una solución así, los cationes cargados positivamente emigran hacia el cátodo y los aniones negativos se mueven hacia el ánodo.

Si se agitará la solución, la solución fresca se pondría mecánicamente en contacto con la superficie catódica. Este proceso reduce el espesor de la película catódica facilitando, por tanto, la difusión hacia la superficie del cátodo. En general, la reducción en el contenido metálico de la película catódica, disminuye su peso específico, y la solución tiende a subir a lo largo de la superficie del cátodo.

Es difícil representar el proceso implicado en el depósito real de un metal sobre el cátodo. El cátodo se encuentra cargado negativamente; tienen una

concentración relativamente alta de electrones, los cuales cuando tienen una oportunidad de combinarse con iones cargados positivamente, o inclusive con átomos o radicales neutros entonces se forman átomos metálicos



Cuando hay una diferencia de potencial suficientemente grande entre el cátodo cargado negativamente y los iones positivos adyacentes, parte de estos últimos se descargan formando átomos metálicos. De acuerdo con algunas teorías, estos átomos se descargan en una forma aleatoria, es decir amorfa y sin orientación y después sufren rearrreglos convirtiéndose en cristales.

ESTRUCTURA DE LOS DEPOSITOS.

Los metales depositados electrolíticamente están formados por cristales, los cuales a su vez están integrados por un gran número de unidades cristalinas. Las propiedades de los depósitos metálicos están determinados fundamentalmente por el tamaño y arreglo de los cristales individuales, o en algunos casos por los agregados cristalinos aún mayores que constituyen los depósitos.

Relaciones entre la estructura y las propiedades de los depósitos.

La gama normal de valores de propiedades como la dureza, la resistencia a la tensión mecánica y la ductilidad, para un metal dado, es característica de ese metal. En general, para un metal dado los depósitos finos en grano, son más tersos, más brillantes, más duros, más resistentes, pero menos dúctiles que los depósitos de grano grueso.

Potencia de depósito y la distribución de los mismos.

Principios generales.

No es suficiente, producir depósitos que tengan la apariencia y las propiedades deseadas, sino que también debe ser capaz de aplicar estos recubrimientos en tal forma que cubran completamente el artículo mediante la película metálica en tal forma que ésta sea casi completamente uniforme en espesor. Las necesidades económicas obligan a que este espesor sea el mínimo posible, y de que en el resto del metal de base, se deposite el menor número de cristales de depósito.

El término potencia de depósito ha sido utilizado principalmente para medir la distribución de los depósitos, o sea, sus espesores relativos en las diferentes partes de un artículo. En la práctica estos dos términos se encuentran íntimamente

relacionados, ya que soluciones que tengan un poder de depósito pobre generalmente, también tendrán un poder cubriente restringido y viceversa.

Los factores que determinan la distribución de los depósitos metálicos, pueden explicarse brevemente como sigue:

Distribución primaria de la corriente. Sobre cualquier artículo con una forma dada, colocado en una cierta posición con respecto a los ánodos, a las paredes del tanque y a los cátodos, una diferencia de potencial aplicada producirá una cierta distribución de corriente a la cual se le aplica el término de distribución primaria de corriente. Esta distribución es independiente de la resistividad y de otras propiedades de la solución, pero se cambiará si tiene lugar cualquier polarización ya sea en el ánodo o en el cátodo. Esta distribución primaria de corriente está sólo determinada por la forma y por la posición de los electrodos.

La densidad primaria de corriente no es uniforme, para hacerla más uniforme, podemos utilizar: Anodos paralelos o concéntricos; alambres conductores o ladrillos para sustraer la corriente de tales sitios. También existe ventaja en mover el ánodo separándolo del cátodo, pero sólo hasta una cierta distancia.

2.6 EFECTOS DE DIFERENTES FACTORES EN LOS DEPOSITOS ELECTROLITICOS.

Efectos de los metales básicos sobre los depósitos.

El metal al cual se aplica el depósito puede afectar la realización de éste por varios caminos. El efecto más evidente, es el de que las superficies terminadas del metal de base influencia los contornos del depósito. En la práctica todos los casos de un depósito dado, hecho sobre una superficie rugosa, serán menos tersos que si el depósito se hubiera hecho sobre una superficie con grano fino. Por lo tanto, si se desea obtener un depósito final brillante, en general, es más económico aplicar un acabado bastante fino al metal de base antes de usarlo más bien que el de pulir el depósito ya hecho. Los efectos de cambios en la estructura cristalina y en el contorno de la superficie del metal de base, influyen la calidad de las cubiertas galvánicas.

El efecto del acabado del metal de base sobre los contornos del depósito es más marcado en el caso de una película fina más bien que de una gruesa. La rugosidad del depósito puede verse incrementada con el espesor.

En general, un depósito producido sobre una superficie metálica rugosa será más poroso y protegerá, por lo tanto, menos que aquél producido sobre una superficie tersa.

Otro efecto del metal de base es el de que partículas no metálicas o simplemente poco conductoras que se encuentren presentes en la superficie, tenderán a evitar o a retardar en esos puntos el depósito del metal.

Es recomendable en la estructura de los depósitos conocer un estudio del metal base, y el control de este último, puede ayudar en la obtención de depósitos que muestren la estructura deseada, así como las propiedades físicas adecuadas, principalmente la adhesión.

Efectos de las condiciones de operación sobre la estructura de los depósitos.

Los dos métodos obvios mediante los cuales un operador puede cambiar la estructura de los depósitos, son:

- 1) Alterando la composición del baño.
- 2) Cambiando las condiciones del depósito. Este último procedimiento, por ser el más conveniente, es el que consideramos primero.

Los tres cambios principales que pueden hacerse sobre un baño, son:

- 1) En la densidad de corriente, o sea, en la tasa de depósito.
- 2) En el método o grado de agitación.
- 3) En la temperatura.

Efectos de la composición del baño y de sus propiedades.

La mayor parte de los metales que se usan en procesos galvánicos, pueden depositarse a partir de varios tipos de baños, cada uno de los cuales es particularmente adecuado para ciertas aplicaciones. En cada tipo de baño hay una gama bastante amplia de composiciones y de concentraciones.

Efecto de la polarización.

La polarización en el cátodo, por ejemplo, representa una caída de voltaje que existe además de la caída IR causada por el paso de la corriente a través del baño. En general, esta polarización aumenta al aumentar la densidad de corriente por lo tanto, en cualquier artículo de forma irregular, la polarización es mayor en los puntos de la más alta densidad de corriente. Este hecho hace más difícil que la corriente llegue a esos puntos que si no hubiera polarización. La polarización alta en los puntos de la densidad de corriente elevada, hace la distribución de

corriente casi uniforme, pero esto no quiere decir que para la corriente sea más fácil pasar a los puntos lejanos, sino que es más difícil para ella pasar a los puntos más cercanos. Siempre que la polarización catódica aumente rápidamente con la densidad de corriente, la distribución de corriente resultante, o sea la distribución secundaria de corriente, será más uniforme que la distribución primaria de corriente.

Efectos de la polarización y del sobrevoltaje en la galvanoplastia.

1. En todos los casos, la polarización en un ánodo o en un cátodo representa un incremento en el potencial requerido para el paso de una corriente dada. El voltaje total que se requiere para el depósito metálico mediante corriente eléctrica, puede consistir de tres partes:
 - a) El potencial de reacción, es la diferencia entre los potenciales en equilibrio del ánodo y del cátodo cuando no se encuentra fluyendo corriente. El potencial real o de descomposición, será mayor que el potencial de equilibrio en la misma cantidad en que la suma de los sobrevoltajes mínimos anódico y catódico lo sean.
 - b) La caída de IR a través de la solución. Esta depende de las formas y de las posiciones de los electrodos, o sea, la distancia entre ellos y la resistividad de la solución. Esta caída de potencial es proporcional a la densidad de corriente.
 - c) La suma de la polarización anódica y catódica. El potencial de equilibrio está fijado para el proceso. La caída IR se determina por el tamaño, la forma y la posición de los electrodos, siendo proporcional a la densidad de corriente.
 2. En general, la polarización afecta la potencia de depósito del baño, en tal forma que tanto mayor sea la pendiente de la curva de polarización (es decir; mientras más se aproxime a la horizontal), tanto mayor será su potencia de depósito.
 3. Un incremento en la polarización catódica tiende a producir un depósito cuyo grano sea más fino.
 4. Un incremento en el sobrevoltaje de hidrógeno, retarda el desprendimiento de éste y por lo tanto frena la formación del depósito metálico.
- En general, las curvas de sobrevoltaje para el hidrógeno y el oxígeno en un baño dado, influyen las eficiencias anódica y catódica, especialmente para los metales menos nobles que el hidrógeno.

En la práctica, un técnico galvanizador puede controlar en forma adecuada su proceso, mediante el voltaje solamente, sin hacer referencia a la densidad de corriente, siempre y cuando factores tales como el arreglo y el distanciamiento de los electrodos así como la composición y la temperatura de los baños se conserven casi constantes, debido a que entonces la caída IR y la polarización anódica son o bien casi constantes o bien directamente relacionadas al potencial global del baño. El galvanizador que controla sus operaciones regulando el voltaje del baño está en realidad controlando la polarización catódica, la cual a su vez, controla la densidad de corriente en el cátodo y la eficiencia.

Efecto de la conductividad.

La distribución primaria de corriente en un sistema dado no está influenciada por la conductividad del baño. Si no hubiere polarización, la conductividad no afectaría la distribución de la corriente o del metal. Si existe una polarización apreciable, como es lo cierto en todos los baños galvánicos, para densidades de corriente usuales, un incremento en la conductividad, magnifica el efecto de esta polarización. Un incremento en la conductividad reduce la caída IR en el baño. En general, un incremento en la conductividad mejora la potencia de depósito.

Efecto de la eficiencia catódica.

Si en un baño dado las eficiencias catódicas son iguales a todas las densidades de corriente, la distribución resultante del metal será la misma que la distribución de la corriente, sin embargo, especialmente en los pHs bajos para el niquelado y para el cromado, si la eficiencia catódica aumenta la densidad de corriente, la distribución del metal será menos uniforme que la distribución de la corriente y no puede hacer más que contrarrestar cualquier beneficio de la polarización. Si la eficiencia catódica disminuye con la densidad de corriente, la distribución del metal se hará más uniformemente y, por lo tanto, la potencia de depósito se verá incrementada.

2.7 EQUIPO UTILIZADO PARA PROCESOS ELECTROLITICOS.

Descripción de una instalación de electrólisis.

Una instalación de electrodeposición está constituida por:

- Cubas o Tanques.
- Accesorios de servicio.
- Baños, que pueden ser soluciones o electrólitos, y sus ánodos.

CUBAS O TANQUES.

Para las cubas calentadas por debajo de 70°C (y para algunas aplicaciones se puede aceptar también la temperatura de 100°C) se tiende cada vez más al empleo de cubas de plástico autoportantes, es decir para casi todas las aplicaciones electrolíticas o químicas, excepto las de enjuague en caliente, que se construyen o deberían construirse en acero inoxidable 18/8, y así se simplificará enormemente el problema de mantenimiento de las instalaciones, por lo menos en lo que concierne a las cubas.

En la siguiente figura 2.1 se representa un esquema donde se muestran los componentes de un tanque o cuba electrolítica, utilizados en los procesos electrolíticos de deposición.

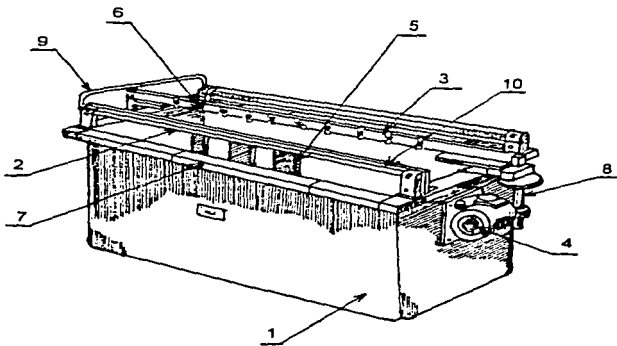


Fig. 2.1 Cuba o Tanque de deposición electrolítica

1. Tanque.
2. Barra anódica.
3. Barra de trabajo.
4. Motor de baja velocidad para movimiento oscilatorio.

5. Anodos.
6. Ganchos para cargar piezas o el panel.
7. Perfil de material aislante
8. Barra acopladora para producir movimiento oscilatorio.
9. Barra conductora.
10. Barra flexible.

Ubicación de los tanques.

La posición de los tanques limpiadores y galvanizadores dependerá del tipo de trabajo y el proceso que se use, pero deberá por lo menos planearse para ahorrar pasos, es decir, el trabajo deberá seguir una línea de continuidad.

TANQUES Y SU EQUIPO.

Se consideran los aparatos que se usan para preparar, contener y usar las soluciones galvanizadoras. Primeramente, se considera el material del que van a ser construidos los tanques, el que en cualquier caso es determinado principalmente por:

- 1) Resistencia al ataque de las soluciones concernientes.
- 2) Fuerza mecánica para las cargas en cuestión.
- 3) Costo, incluyendo inversión, mantenimiento y depreciación.

Otros factores, como conductividad eléctrica y térmica pueden también influir en la elección de materiales.

Materiales de construcción.

Para soluciones ácidas de cobre que se usan en electrolisis, se emplean frecuentemente tanques forrados de plomo. Se trata pues en realidad de un tanque de plomo rodeado o sostenido por el tanque de madera.

Hierro y acero. Para soluciones alcalinas se usan casi exclusivamente tanques de hierro o acero. Estos deberán ser de metal de medida-gruesa, pues de otra manera se deforman rápidamente o se corroen en el exterior. Están, de ordinario, soldados por medio de acetileno o soldadura de arco, preferiblemente con una doble ceja. Los tanques galvanizadores de acero poseen la misma desventaja que los de plomo, de ser conductores teniendo la tendencia a causar cortocircuitos.

Forros de hule y de plástico. Los tanques forrados de hule se usan bastante para baños de ácido y neutros. El hule de calidad adecuada es muy resistente a tales soluciones y sus propiedades aislantes evitan cortocircuitos en el tanque.

Para el cromado se emplean generalmente tanques de acero. No deberán usarse sin forro, pues puede disolverse una considerable cantidad de hierro, especialmente si el tanque se vuelve anódico.

Vidrio, hule compacto y hierro esmaltado. El hule es bastante resistente a las soluciones al ácido, pero no a las sustancias alcalinas. se suaviza a altas temperaturas y, por lo tanto, no se puede usar con seguridad a temperaturas muy superiores a 40°C.

Debe darse mayor consideración a la medida de los tanques galvanizadores. En general, es de desear que sean tan grandes y especialmente tan hondos como lo requieran las necesidades. Un gran volumen de solución es ventajoso para reducir el efecto de los cambios en concentración o composición que pueden ocurrir durante las operaciones. Un tanque galvanizador relativamente hondo es de desearse porque facilita la sedimentación de las materias suspendidas. La inversión adicional por la cantidad mayor de solución requerida en tanques grandes o profundos, se justifica de ordinario.

Aislamiento.

En cualquier caso, pero especialmente cuando se usan tanques de metal o forrados de metal, es necesario usar algún material aislante para sostener y separar las barras conductoras a lo largo de la orilla de los tanques. La dificultad principal está en obtener materiales aislantes que no absorban la solución o sean atacados por ella. Si las tiras aislantes se impregnan con la solución, se hacen conductoras de la electricidad. Bajo tales condiciones no hay sólo pérdida de corriente, sino también ataque a las barras conductoras.

El hule endurecido, bakelita y otros plásticos son muy adecuados, siendo compensado el gasto por la mayor resistencia. Entre los nuevos plásticos, el polietileno es muy prometedor.

Es importante evitar que los tubos que se usan en los tanques se mezclen en el circuito.

El material aislante ideal para este propósito debería resistir tanto los ácidos y los álcalis como el baño electrolítico, de este modo que los soportes pasen por los impregnables y sustancias limpiadoras sin perjuicio alguno.

Equipos electrolíticos de las cubas.

Se denomina equipo electrolítico, las barras que soportan los ánodos y los cátodos; es decir, las barras anódicas y las catódicas.

Existen dos tipos de equipos electrolíticos:

1. A lo largo, las barras anódicas y catódicas son paralelas a la longitud de la cuba.
2. A lo ancho, las barras anódicas y catódicas son paralelas a la anchura de la cuba.

Es importante que las secciones de las barras así como los contactos que unen las pletinas de conducción a las diferentes barras, correspondan a las intensidades de paso. Para que servirán las dimensiones convenientes de los conductores tanto en el rectificador como en los circuitos de conexión a las cubas, si existen estrechamientos a este nivel. Hay que considerar aquí tres elementos:

1. Barras de distribución a las barras soporte de ánodos y cátodos, es decir, del rectificador a las que sobre la cuba llevan la corriente a la barras anódicas y catódicas.
 2. Las barras anódicas y catódicas propiamente dichas.
 3. Las uniones sobre la cuba entre barras de la misma polaridad.
- A estos elementos se añaden:
4. Los contactos ganchos anódicos y catódicos a las barras correspondientes.
 5. La forma de unión del equipo electrolítico a las barras que vienen de los rectificadores.

EQUIPO ELECTRICO.

Fuentes de corriente.

Generadores.

El requisito más esencial para el proceso de depósito electrolítico es una fuente de corriente directa de bajo voltaje. Frecuentemente se emplea un generador de bajo voltaje, accionado por un motor impulsado por la corriente comercial. En último caso, los ejes del generador y del motor están conectados simultáneamente, o el motor está montado en el eje del generador, formando así un conjunto motor-generador, que se usa ahora en casi todas las industrias de depósitos electrolíticos.

Rectificadores.

Como la energía eléctrica se distribuye a las plantas en forma de corriente alterna(ca) a 110 ó 220 volts, es necesario para poder usarla en el electroplateado rectificarla por ejemplo: cambiándola a corriente directa(cd), y también usando un transformador reductor para reducir el voltaje, usualmente a 6 ó 12 volts. Un grupo de motor y generador operado con corriente alterna sirve como ambos, como rectificador y como transformador.

Todos estos rectificadores implican una superficie límite a través de la cual la corriente pasa fácilmente en una dirección pero con dificultad en cualquiera otra.

Características de los rectificadores.

El criterio de un rectificador de calidad está definido por su rendimiento a plena carga; óptimo que garantiza en parte la calidad del amperaje y la certeza de un montaje de doble alternancia, característica indispensable.

La elección del tipo de rectificador se determinará ante todo por la posición del rectificador con relación a la atmósfera más o menos viciada de los talleres: un rectificador destinado a vivir en un taller de electrodeposición no perfectamente ventilado, debe estar en aceite.

Baterías Acumuladoras.

Otro recurso de corriente directa que podría ser considerado, es la batería de acumulador que puede resultar muy útil a los galvanizadores para 1) Experimentos en pequeña escala, 2) Electroanálisis de soluciones, 3) Electrodepósitos ocasionales de oro, plata o platino.

Las baterías eléctricas son de ordinario clasificadas como primarias y secundarias, las que están respectivamente representadas por la celda sencilla de Daniell y la celda de acumulador. En ambos tipos, la energía eléctrica es producida como resultado de una reacción química.

Ubicación de Equipo Eléctrico.

En la instalación de equipo eléctrico en una planta galvanizadora es frecuentemente necesario insistir entre las consideraciones de protección y la conveniencia de equipo.

El generador deberá estar montado sobre una base sólida, de preferencia de concreto, atornillado rigidamente en su lugar. Deberá colocarse tan cerca del tanque galvanizador como sea posible y preferentemente en un punto intermedio entre los tanques a fin de evitar que las barras conductoras sean demasiado largas.

Los rectificadores deberán estar alejados del calor y los vapores y deberá proporcionárseles aire fresco y puro.

Los interruptores de circuito, el campo del reóstato así como el voltímetro y amperímetro principales deberán colocarse sobre un tablero cercano al generador, de frente al cuarto de galvanizado. El tablero puede formar parte de la sección o tablero puesta para el generador. Los reóstatos de tanque, voltímetros y

amperímetros deberán colocarse preferentemente cerca de los tanques a fin de que puedan ser consultados o ajustados cuando se introducen o extraen las piezas de trabajo.

CAPITULO 3 RECUBRIMIENTOS DE CROMO

3.1 DEPOSITOS DE CROMO.

CEMENTACION CON CROMO: «CROMIZADO».

Un método que proporciona al hierro o al acero un recubrimiento resistente a la oxidación y al descascarillado a elevadas temperaturas, es el proceso de cementación conocido con el nombre de cromizado.

Con objeto de constituir una superficie resistente al calor, a la abrasión o al desgaste, puede depositarse una capa rica en cromo sobre hierro y acero, mediante difusión. El cromizado por el proceso de cementación con polvos tiene la desventaja de que precisa el empleo de elevadas temperaturas, que pueden perjudicar las propiedades físicas de las piezas de acero al provocar una descarbonización o el crecimiento del grano.

En el cromizado por el proceso del polvo, los artículos que se van a tratar se introducen en un recipiente con una mezcla de 55 partes en peso de polvo de cromo y 45 de alúmina, y se calientan en el vacío o en atmósfera inerte o, mejor aún, en hidrógeno. El material se calienta normalmente a 1300-1400°C durante 3 ó 4 horas en un horno provisto de arrollamiento de molibdeno, aunque pueden emplearse temperaturas más bajas y períodos de calentamiento más cortos, si se desea que la penetración sea menor. Por consiguiente, el calentamiento a unos 1000°C durante una hora dará lugar a la formación de una capa cementada de 0.1 a 0.125 mm. de espesor. La velocidad de penetración se acelera por encima de 1300°C.

El cromizado por el método gaseoso se realiza a temperaturas más bajas, del orden de 1000 a 1100°C, y produce una capa que puede contener un 50 por ciento de cromo en la superficie de un acero de bajo contenido de carbono. Por regla general el acero cromizado puede someterse a un tratamiento térmico sin perjudicar las propiedades del recubrimiento. La dureza de la superficie cromizada aumenta con el contenido de carbono del acero, y en el caso de aceros de elevado contenido de carbono se han registrado valores por encima de unas 68 unidades Rockwell C, o 900 a 1000 unidades Vickers, ó entre 750 y 760 unidades Brinell. Si se desea que el cromizado tenga propiedades de resistencia al

desgaste y a la abrasión deben adoptarse las medidas necesarias para evitar una descarbonización excesiva del metal subyacente durante el tratamiento.

La resistencia a la corrosión de los aceros cromizados viene a ser la misma que la que ofrece un acero al cromo del 30%. El producto cromizado ofrece mayor resistencia a la oxidación a temperaturas elevadas, mientras que el acero al cromo resiste mejor los efectos de la corrosión húmeda. El acero cromizado pone de manifiesto una excelente resistencia a la oxidación a temperaturas de hasta 850°C.

El cromizado se emplea también en la protección de válvulas, tubuladuras, bombas, calibradores, roscas, tornillos, pernos y de todas aquellas herramientas a las que se desea comunicar una elevada resistencia tanto al desgaste, como a la corrosión.

Algunas de las importantes aplicaciones del acero cromizado es en la fabricación de motores de propulsión a chorro y de turbinas de gas.

BAÑOS DE SALES DE CROMO.

Es posible depositar electrolíticamente cromo a partir de sus sales, como cloruros o sulfatos, pero estos baños no tienen uso comercial.

El único baño práctico de sales de cromo se basa en la electrólisis del cromo a partir de sus minerales. En este proceso, el baño consiste en una mezcla de sulfato crómico, $\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3$, sulfato cromoso, $\text{Cr}(\text{SO}_4)$ y sulfato de sodio Na_2SO_4 .

Si bien, pueden servir para originar cromo metálico, no son adecuados para el cromado decorativo o industrial.

Los baños de sales de cromo son sensibles a cambios en el pH y a la presencia de pequeñas cantidades de impurezas que pueden cambiar el sobrevoltaje del hidrógeno y, por lo tanto, bajar la eficiencia catódica. Estos baños no son prácticos ya que no garantizan gran seguridad.

El cromizado en baño de sales, cuyo desarrollo es reciente, se realiza sumergiendo las piezas de acero en un baño de sales fundidas que contiene cloruro de cromo, cloruro de bario y cloruro de sodio y copos de cromo, en atmósfera de argón. Esta técnica tiene la ventaja de que elimina las operaciones de empaquetado y descarga, calentamiento y enfriamiento del horno y permite cromar simultáneamente piezas que requieren distintos períodos de tratamiento.

DEPOSITOS DE CROMO

Los depósitos de cromo pueden obtenerse a partir de soluciones de una gran variedad de sales de cromo, pero debido a las limitaciones de estos baños de

sales, casi todo el cromado industrial se basa en el baño de ácido crómico y uno o más ácidos radicales que se comportan como catalizadores.

No es factible depositar cromo a partir de ácido crómico puro, para permitir la precipitación del cromo se puede añadir un cierto número de ácidos en cantidades muy pequeñas, incluyendo ácido sulfúrico, ya que prácticamente toda la galvanoplastia con cromo se lleva a cabo con baños de ácido crómico y ácido sulfúrico.

Los resultados más consistentes y seguros se logran con el baño de ácido crómico-ácido sulfúrico. Este baño se emplea casi universalmente en la práctica industrial y la fórmula más sencilla de aplicación general es la siguiente:

Acido	g/l
Crómico (como CrO_3)	250
Sulfúrico	1.25 a 2.5

Los baños de las composiciones anteriores pueden trabajar a una temperatura de 45 a 55°C y densidades medias de corriente de 10 a 30 Amp/dm².

DEPOSITOS DE CROMO DURO.

El depósito de cromo es extraordinariamente duro y, por lo tanto, capaz de contribuir eficazmente en la fabricación de elementos que, en el curso de su utilización, están sujetos a persistentes rozamientos, mientras han de mantener sus dimensiones.

La gran necesidad, sentido por mucho tiempo, de superficies duras para toda clase de herramientas, incluyendo matrices, taladros, punzones, etc., se suple hoy con este cromo, el más duro de los metales aplicados por vía electrolítica.

El baño que corrientemente se utiliza con este objeto contiene por litro de 250 a 300 g. de ácido crómico y de 2.5 a 3.0 g. de ácido sulfúrico. La temperatura del baño es del orden de 50 a 60°C, empleándose una densidad de corriente de 15 a 25 Amp/dm².

La efectividad del proceso se deduce fácilmente de la duración de las herramientas tratadas, cuya vida se prolonga, corrientemente, diez veces más.

DESCROMADO.

En la eliminación de los depósitos de cromo se emplean métodos electrolíticos y de inmersión ácida.

Electrolítico. Se usa en baño semejante al de desengrase alcalino ordinario, con tal de que no sea demasiado alcalino. El depósito de cromo actúa de ánodo, y

pasa a la solución en forma de cromato sódico amarillo. La temperatura del baño es de 80 a 95°C.

La inmersión. Es de uso más frecuente. Con este fin se utiliza el ácido clorhídrico diluido con un volumen igual de agua, el que disolverá fácilmente el depósito de cromo sin atacar apreciablemente al metal base. Este método es rápido y sencillo de realizar.

PROPIEDADES EN LOS DEPOSITOS DE CROMO.

Límites en el brillo del cromado.

El amplio uso de los revestimientos decorativos de cromo depende, generalmente, del hecho de buscar bajo qué condiciones apropiadas es posible obtener depósitos que no requieran ser pulidos, ya que los revestimientos de cromo son muy duros y por lo tanto son difíciles de pulir.

En general, en un baño de ácido crómico dado, la eficiencia del cátodo y la aparición del depósito dependen de la temperatura y densidad de corriente. A una temperatura dada, un incremento en la densidad de corriente aumenta la eficiencia del cátodo y origina la probabilidad de que el depósito se transforme de 1) Lechoso, a 2) brillante, y a 3) deslustrado y, finalmente a 4) quemado. Estos cambios corresponden a incrementos progresivos en la eficiencia del cátodo, la cual es comúnmente del 10% al 15% para precipitados brillantes. Para una densidad de corriente dada, un incremento en la temperatura origina un decaimiento en la eficiencia del cátodo y una variación en el carácter del precipitado en orden inverso; es decir, quemado, deslustrado, brillante y lechoso.

Estas condiciones de dependencia en la aparición del depósito, hace necesario mantener la temperatura aproximadamente constante durante el cromado.

También es conveniente mantener la densidad de corriente tan uniforme como se pueda.

Algunos aspectos del depósito de cromo.

Es un hecho bien conocido la dificultad de depositar cualquier otro metal sobre cromo. La razón es exactamente la misma que en el caso del aluminio. Existe sobre la superficie del cromo una película de óxido, extremadamente delgada y difícil de eliminar por cualquier otro método que no sea el tratamiento con ácido clorhídrico. Este óxido no se disuelve por ningún otro metal, aunque es soluble en cromo. Depositar cromo sobre cromo es, por consiguiente, más fácil que recubrir directamente con níquel los viejos depósitos de níquel.

Poder de Penetración.

Esta propiedad tiene la mayor importancia en el cromado electrolítico. El cromado efectuado con los tipos de baño ordinarios no penetra bien.

El poder de penetración de los baños de cromado es sumamente bajo, lo que determina que sea muy difícil plaquear satisfactoriamente artículos de forma irregular, lo más probable es que las zonas deprimidas reciban poco cromo y que el que se consiga depositar tenga un aspecto lechoso. Existen escasas posibilidades de mejorar de modo sensible el poder de penetración del baño de ácido crómico modificando su composición. Las condiciones de trabajo más favorables para lograr el máximo poder de penetración son una temperatura elevada (55°C) y una densidad de corriente alta (35 Amp/dm²) combinadas con un bajo contenido de ácido crómico y de sulfato.

Potencia de depósito.

La pobre potencia de depósito de los baños de ácido crómico, frecuentemente se atribuye a 3 fenómenos diferentes pero relacionados:

1. La potencia de depósito efectiva, es decir, la relación de espesor de un depósito en diferentes partes de un objeto dado.
2. La potencia para cubrir, es decir, capacidad para cubrir todas las partes del objeto con cromo indiferentemente de su espesor y apariencia.
3. El grado de brillantez; es decir, la capacidad de producir depósitos sobre la superficie completa.

Todas estas propiedades están relacionadas una a la otra y a la baja eficiencia catódica del depósito del cromo especialmente a bajas densidades de corriente.

La potencia de depósito en el cromado se pueden llegar a las siguientes conclusiones.

1. La potencia de depósito disminuye al incrementar la temperatura, con una densidad de corriente dada.
2. La potencia de depósito se incrementa al aumentar la densidad de corriente para una temperatura dada.
3. Si se incrementa la temperatura y también la densidad de corriente, como para producir precipitados brillantes, la potencia de depósito aumenta.
4. Para un porcentaje de densidad de corriente dado, la potencia expulsora es mejor en los baños más diluidos pero para un tanque con un voltaje dado (6 voltios por ejemplo) la potencia puede ser mejor en baños más concentrados.
5. Una relación de sulfato hasta de 150, da una potencia de depósito ligeramente mejor que una relación de 100.

6. Pequeñas cantidades de cromo trivalente o de acero, no tienen efectos apreciables en la potencia de depósito con respecto al espesor. Altas concentraciones de cualquiera de los dos, incrementan el "espesor" de la potencia de depósito, pero como ello decrece la conductibilidad y el grado de brillo del drapeado, esto no es deseable.
7. La potencia de depósito es mejor en superficies brillantes que en superficies opacas y es muy pobre en superficies rugosas en donde la sobretensión del hidrógeno es muy baja. Parte de este efecto es causado por la mayor área de una superficie rugosa y, consecuentemente, menor densidad de corriente.
8. La potencia de cubrimiento, medida por el cátodo alabeado es prácticamente paralelo a la potencia de depósito medida según la caja adecuada.

Influencia del pH.

Generalmente se concuerda en que el pH de la película del cátodo es mucho más alto que en el baño (el cual tiene un pH muy bajo) y que existe en, o cerca de, la superficie del cátodo una especie de diafragma semipermeable, el cual puede componerse de un cromato de cromo básico.

Oxígeno.

Todos los depósitos de cromo contienen oxígeno, así como hidrógeno, y el contenido de oxígeno, es aproximadamente paralelo a muchas de las propiedades físicas.

Se ha comprobado que el contenido de oxígeno influye sobre las propiedades físicas del depósito de cromo; es decir, cuando el contenido de oxígeno aumenta, lo hacen también la dureza, la resistencia a la tensión y la resistividad eléctrica, en cambio la densidad disminuye.

Microestructura.

La microestructura excesivamente fina de los recubrimientos de cromo se atribuye a la descomposición de hidruros. Las medidas del tamaño de grano realizadas mediante difracción con rayos X han dado cifras del orden de 14×10^{-7} . Los granos están orientados con el plano (111) paralelo a la superficie metálica.

Espesor y dureza.

El espesor del depósito no siempre es importante, puesto que se ha comprobado que la dureza necesaria y la resistencia al desgaste se consiguen lo mismo con recubrimientos de poco espesor, y así los depósitos delgados se

aplicarán siempre en el caso de calibres sobre los que es difícil conseguir un depósito uniforme.

El cromado decorativo, de 0.0005 mm o menos de espesor, contiene poros redondos, cuyo número disminuye al aumentar el espesor del recubrimiento. Un aumento ulterior de espesor, tal como el que encontramos en el plaqueado «pesado» o «duro», suele ir acompañado por agrietamiento.

Dureza

Expresada en unidades Brinell, la dureza de los recubrimientos de cromo oscila entre 300 y 1000, un intervalo de valores que es superior al que se ha comprobado en los electrodepositos de cualquier otro metal, habiéndose llegado a alcanzar durezas Brinell del orden de 1200. Los depósitos cuya dureza se acerca más a la de cromo, son los de platino que han alcanzado valores de 640, así como de níquel, cuya dureza Brinell máxima observada ha sido de 550.

La dureza se expresa en función de la densidad de corriente y de la temperatura.

Corrosión

Los recubrimientos de cromo se aplican en espesores que normalmente exceden de 0.075 mm, en aquellos casos en los que los metales así protegidos deben hacer frente a condiciones industriales corrosivas.

La resistencia a la corrosión depende no solo de la velocidad y de otros factores de la deposición, sino, también, de la regularidad superficial de acero base sobre el que se deposita el recubrimiento.

Los recubrimientos de cromo son resistentes al ataque del vapor, de los derivados del petróleo o de los productos de su combustión.

3.2 DIVERSOS PARAMETROS EN LOS RECUBRIMIENTOS DE CROMO.

TEMPERATURA.

La temperatura de trabajo de la solución es importante. Las soluciones frías dan depósitos mates y duros, cuyo acabado resulta muy laborioso. Las soluciones calientes dan depósitos mucho más brillantes y blandos, los que, algunas veces, necesitan muy poco acabado. Por lo tanto, existirán límites de temperatura entre los cuales debe trabajar la solución para conseguir el depósito requerido. Al elevarse la temperatura se observa una disminución en la cantidad de metal depositado por amperio hora.

En general, para el depósito corriente de cromo, con una temperatura de 40 a 45°C, se logran resultados satisfactorios.

DENSIDAD DE CORRIENTE

El cromado electrolítico es el único recubrimiento que utiliza densidades de corriente muy elevadas para obtener depósitos comerciales. Es recomendable, una densidad de corriente de 9 A/dm², pero si con esta densidad de corriente, y aún con otras más bajas, se pueden conseguir buenos depósitos sobre piezas planas, la experiencia ha determinado que, para artículos más irregulares, con los que suele enfrentarse el galvanoplasta, se necesita una densidad de corriente más elevada. El valor más usual, por lo tanto, es del orden de 10 a 20 A/dm², dependiendo de diversas condiciones tales como la concentración del baño y su temperatura. Para la mayoría de los artículos, y en el baño recomendado, basta una densidad de corriente de unos 10 a 15 A/dm². Subordinada a la naturaleza de las piezas, temperatura y distancia entre los electrodos, puede establecerse que la densidad de corriente media se obtiene con unos 5 ó 6 voltios, y este valor puede aplicarse teniendo en cuenta una ligera elevación cuando se trata de piezas de tipo irregular, con lo que se garantiza así la penetración del depósito en las partes más remotas.

A este respecto puede citarse la variación de condiciones que exige una solución más concentrada. Una solución tal es más conductora. El depósito brillante se consigue con una densidad de corriente más baja, aplicándose, por lo tanto, una diferencia de potencial menor. En efecto, para un baño que contenga 500 gramos de ácido crómico por litro, se puede utilizar una densidad de corriente de 8 A/dm², con una diferencia de potencial de 4 a 5 voltios y una temperatura de 35 a 40°C.

Aplicación de corriente

El cromado exige, grandes densidades de corriente, por lo que el proyecto de una instalación completa, incluyendo el generador de corriente, debe ser de las mayores proporciones posibles.

En la mayoría de los casos, y durante unos segundos, debe iniciarse el depósito con una densidad de corriente superior a la calculada. Pocos metales resisten la acción corrosiva del ácido crómico; la mayoría de los que se tratan se disuelven rápidamente en él. Así, pues, no deben dejarse en el baño, antes bien, debe disponerse todo de forma tal que la corriente se aplique al mismo tiempo que el artículo entra en el baño.

3.3 EQUIPO UTILIZADO EN RECUBRIMIENTOS DE CROMO.

CUBAS.

Para trabajos experimentales, o en pequeña escala las cubas de vidrio resultan limpias y prácticas. En escala comercial, se requieren cubas metálicas, por ser más económicas y resistentes. El acero suave suministra el mejor material.

Para mantener la temperatura se debe utilizar algún revestimiento, que puede ser un recubrimiento externo de amianto. Si se necesita calentar el baño, se hará mediante mecheros de gas.

Las cubas de acero en muchos casos se recubren interiormente de vidrio, se realiza simplemente yuxtaponiendo sobre las paredes de la cuba placas de vidrio sujetas con grapas de acero. Estas láminas de vidrio cubren la mayor parte de la superficie lateral, pues no se necesita proteger el fondo de la cuba. Su objeto es exponer a un mínimo de ataque la superficie de acero y, además evitar cortos circuitos de la corriente, que podrían establecerse entre los ánodos y las partes de los artículos más próximos a las caras laterales de la cuba. El acero es ligeramente atacado por ácido crómico caliente.

En la práctica, se suele emplear una cuba exterior con agua (baño de agua). Las ventajas de este sistema son:

1. Calefacción uniforme y, por lo tanto, mejor regulación de la temperatura.
2. Eliminación del riesgo de perforar la cuba a causa del contacto directo con la llama.
3. El uso de un serpentín de vapor, sin protección, sumergido en el agua y reemplazando al serpentín revestido de plomo en contacto con el baño de cromar, con lo cual se garantiza la ausencia de ataques corrosivos en el sistema de calefacción.

En virtud de las corrientes muy elevadas que requiere el cromado, las conexiones deben ser mejores que en otros baños, de otra forma habría pérdidas de energía motivadas por el recalentamiento de las conexiones. Se debe asegurar un buen contacto entre los ánodos y las barras de que penden, realizándose las suspensiones mejor mediante pletinas que por gruesos alambres de sección circular, los cuales sólo establecen un pequeño contacto con las barras. Los ganchos de suspensión irán remachados a los ánodos.

ANODOS.

El empleo de ánodos insolubles es una práctica universal, algunos ejemplos de estos metales: acero, níquel y plomo, son casi insolubles en ácido crómico, pero

solamente el plomo o sus aleaciones son usadas porque la reoxidación del cromo trivalente ocurre más rápidamente en el plomo que en cualquier otro metal útil.

Se emplean ánodos de acero o de plomo, aunque suelen preferirse los de este último metal, para procesos de tipo no continuo es más satisfactorio el plomo aleado con un 6% de antimonio que el plomo puro.

El cromo metálico no es utilizable, ni lo será probablemente. Sus propiedades lo impiden, existen dos serias objeciones a su empleo. En primer lugar, está su costo. El cromo metálico se obtiene a partir de óxido crómico. En segundo lugar, el rendimiento anódico del cromo es muy elevado. Se disuelve cuantitativamente. Por lo tanto, teniendo en cuenta que el rendimiento de corriente en el cátodo es del 12.5%, por cada ocho partes en peso de metal que se disolviesen en el ánodo, una parte en peso se depositaría en el cátodo. La solución llegaría a la saturación en poco tiempo y se haría inservible.

Se han ensayado ánodos de plomo. Estos han resultado bastante satisfactorios, excepto que, por su tendencia a cubrirse con una película insoluble y aislante de cromato de plomo, que ofrece una elevada resistencia, exigían frecuentemente limpieza. Se salvó la dificultad sacando los ánodos del baño mientras no estuviesen en uso.

También se probaron los ánodos de acero. Pero éstos tenían la desventaja de ser atacados por la solución, disolviéndose el hierro en forma de dicromato férrico.

En lo que se refiere al tamaño de los ánodos, una gran superficie anódica es origen de bordes quemados, mientras que, con una superficie anódica más pequeña, se consigue una distribución de corriente más uniforme sobre el cátodo. Además el ánodo de menor superficie tiene el efecto de acrecentar el depósito en el centro del artículo, lo que siempre es deseable con grandes superficies planas.

Se han propuesto como ánodos otros materiales. El acero inoxidable es uno de ellos. Con este se podría disponer de un manantial de cromo anódico que incorporase cromo al baño con la misma velocidad que se deposita pero también tendría lugar la perjudicial disolución del hierro. Un plomo que contenga aproximadamente el 8% de antimonio es un buen ánodo.

Se ha puesto de moda la aleación de plomo con 0.2% de teluro a causa de sus excelentes propiedades mecánicas y de su resistencia a la corrosión química.

Los ánodos se pueden situar convenientemente a fin de conseguir la distribución de corriente requerida, y deben tener una superficie de unos dos tercios de la del cátodo.

3.4 TIPOS DE RECUBRIMIENTOS DE CROMO.

TIPOS DE DEPOSITO.

En la aplicación técnica del cromado electrolítico, se pueden obtener tres tipos bien definidos de depósitos, los cuales difieren más marcadamente entre sí que las distintas variedades de la mayoría de los metales electrodepositados. La producción de tales depósitos depende de diversas condiciones.

El carácter del cromo electrodepositado varía dentro de límites muy amplios según la naturaleza del metal base, la temperatura del baño de plaqueado y la densidad de corriente empleada.

Se ha establecido la existencia de tres tipos de depósitos «apagados» ó «escarchados», «brillantes» y «lechosos».

El depósito lechoso es un depósito semimate, y es producido por una baja densidad de corriente. Este depósito es extremadamente delgado, relativamente blando e inadecuado para la mayor parte de las finalidades industriales y no tiene valor comercial.

Los depósitos apagados y los brillantes pueden ser satisfactorios. Aumentando la densidad de corriente, se obtiene este depósito que es, brillante, duro y lustroso, el cual requiere muy poco acabado después de salir del baño.

Si el aspecto brillante y la uniformidad de la superficie no constituyen un requisito, pero en la mayoría de las aplicaciones suele considerarse esencial el depósito brillante que no precisa bruñirse.

Con objeto de que el depósito cromado brillante sea consistente, es imprescindible que todas las condiciones de plaqueado se ajusten y controlen minuciosamente.

La densidad de corriente media óptima para la obtención de un depósito brillante a partir de un baño de una composición dada que funcione a una temperatura depende de la naturaleza del metal que se va a plaquear con cromo.

En el intervalo de densidades de corriente en el que se puede obtener un depósito brillante es más amplio a temperaturas altas que a las bajas. Parece ser que los depósitos de cromo brillantes se obtienen con una gama de densidades de corriente más amplia a partir de soluciones de ácido crómico en las que el ión fluoruro se sustituye por el ión sulfato.

Y para una densidad de corriente aún más elevada, el depósito obtenido es totalmente mate, pero aunque oscuro, es susceptible de pulimento, si bien con algún trabajo.

Con la misma densidad de corriente a diferentes temperaturas es posible conseguir depósitos mates y duros en soluciones frías, los que para un aumento de la temperatura cambian a depósitos brillantes y lustrosos y con una temperatura aún más elevada a depósitos delgados de tipo lechoso. Combinando estos dos factores, se verá que existe una zona dentro de la cual puede conseguirse el depósito lustroso necesario, la que, a su vez, varía con la composición de la solución.

Se aconseja, por lo tanto, comenzar con la solución recomendada y explorar las condiciones hasta conseguir el depósito necesario. Esta experiencia es de mucho más valor que una mera declaración de condiciones para los distintos tipos de baños, hay que explorar las condiciones hasta conseguir establecer las condiciones óptimas de trabajo. Operando así verá uno mismo que para la temperatura de 50°C se necesita una densidad de corriente de 20 A/dm² y que, con unos 45°C, será más útil emplear 10 A/dm².

No existe mejor método para resolver los problemas con los que indudablemente se enfrenta la galvanoplastia, como adquirir los propios conocimientos en una experimentación sistemática.

TIPOS DE CROMADO.

En la práctica es frecuente hacer una distinción entre cromado «brillante u ornamental» y «duro ó industrial». Estos dos tipos de depósitos se producen a partir de soluciones muy similares y casi bajo las mismas condiciones y tienen aproximadamente la misma composición y propiedades. La verdadera distinción principal consiste en que los depósitos ornamentales son muy delgados de ordinario menos de 0.00075 mm de espesor y se aplican sobre una capa protectora de níquel o de acero, latón o cinc, mientras que los recubrimientos cromados industriales tienen generalmente más de 0.025 mm de espesor y se aplican directamente sobre acero y pocas veces sobre otros metales base. La falta ordinaria de brillo en los recubrimientos industriales es causada por su mayor densidad y por la práctica de depositarlos en la parte alta de la escala de densidad de corriente a una temperatura determinada, en la que los depósitos pueden helarse, es decir, endurecerse.

A temperaturas relativamente altas de 85°C y densidades de corriente de 43 a 107 Amp/dm² se producen depósitos de cromo mucho más suaves. Estos depósitos contienen menos óxidos que el cromo brillante ordinario, tienen menos rajaduras y se contraen menos al calentarse. Debido a que son opacos, no

constituyen el cromo brillante y como son suaves, por ejemplo, 400 Brinell en comparación con 900 Brinell para los depósitos normales de cromo, no son especialmente adecuados para resistir en uso severo. Sin embargo se adaptan a trabajos a máquina y están relativamente libre de rajaduras, puede usarse en aplicaciones especiales.

CROMO POROSO.

Poco antes y durante la Segunda Guerra Mundial, se utilizaron extensamente los depósitos electrolíticos del llamado cromo "poroso" en aplicaciones en las que era esencial una buena lubricación, por ejemplo, cilindros y anillos de pistón para motores de avión y motores Diesel. Estos depósitos consistían en capas de cromo aplicadas en tal forma, que producían y acentuaba hendiduras o poros en los que pudiera ser retenido el aceite.

La aplicación de depósitos de cromo duro en revestimientos de cilindros y pistones, aunque satisfactoria desde el punto de vista del galvanoplasta, aún originó alguna molestia por la posibilidad de agarrotamiento, dada la incapacidad del cromo para retener el lubricante. Se consiguió un depósito que contenía pequeños hoyos o canales formando a manera de receptáculos que absorbían el aceite lubricante. Se designó este depósito como cromo poroso, aunque el término no es del todo correcto. Es un hecho generalmente aceptado que los depósitos de cromo presentan, de ordinario, una red finísima de diminutas grietas, las cuales, se hacen más visibles mediante la aplicación de un recubrimiento electrolítico de cobre, por consiguiente, se creó esta porosidad en el depósito mediante mordentado anódico, posterior al recubrimiento, efectuado mediante la inversión de la corriente. Esto condujo a un ataque preferente de las grietas y a la producción de una estructura mucho más definida que consistía en áreas de depósito, comparativamente grandes, separadas por un sistema de grietas, cuya profundidad, sin embargo, no era suficiente para exponer el metal base, pues esto conduciría a su corrosión. Las profundidades permisibles varían de 0.05 a 0.10 mm. El ataque puede realizarse, ya en el propio baño electrolítico, o en otro separado que se reservará para este servicio.

Se han usado dos tipos de cromado poroso, los que se designan como tipo de canal y tipo de punta de alfiler. El tipo primero de depósito produce hendiduras que forman una red alrededor de pequeñas áreas planas o altiplanicies. La medida ordinaria de estas altiplanicies y el ancho de las ranuras puede utilizarse para

Altimir la porosidad de punta de alfiler consiste, en efecto, de un gran número de agujeros ásperos en que puede ser retenido el aceite.

El depósito de cromo se delinea anódicamente en un baño de ácido crómico para ahondar y ampliar las hendeduras. La superficie es finalmente esmerilada para lograr las dimensiones correctas. El tipo de punta de alfiler tiene inicialmente un número mayor de rajaduras finas y se delinea de modo que las hendeduras se mezclen unas con las otras, dejando pequeños agujeros o proyecciones.

CROMO BLANDO.

El depósito de cromo corriente obtenido con fines decorativos es bastante duro, mientras que el cromo que sirve a la mayor parte de los proyectos de ingeniería es de gran dureza, pues alcanza el orden de los 900°, y aún más, en la escala de punta del diamante.

Pueden existir, e indudablemente existen, circunstancias en las que se subordina la dureza a la posibilidad de mecanizar el depósito. En tales casos es de desear un depósito relativamente blando. Pueden determinarse fácilmente las condiciones necesarias para alcanzar tales depósitos. El baño es del tipo corriente:

Acido crómico 200 g/litro
Acido sulfúrico 2.5 g/litro

Al que se hacen adiciones o se permiten acumulaciones de los metales trivalentes, aluminio, hierro y cromo. El hierro y el cromo pueden estar presentes en cantidades de 15 a 30 g/litro cada uno, trabajando a una temperatura de 85°C. En un baño concentrado de ácido crómico, el rendimiento de corriente a esta temperatura sería extraordinariamente bajo, pero se aumenta, aproximadamente, en un 10%, por la presencia de los metales trivalentes. El depósito conseguido con esta solución tenía una dureza de 444 en la escala de punta de diamante, la que se redujo posteriormente a 391 por tratamiento térmico a 150°C durante 24 horas. Las adiciones de aluminio pueden efectuarse disolviendo el hidróxido en el baño caliente, y las de cromo (trivalente) pueden introducirse simplemente por reducción cuidadosa del propio baño empleando glucosa o peróxido de hidrógeno. La apropiada manipulación de los ánodos contribuirá notablemente a esta última operación.

CROMO NEGRO.

Otra modalidad de los depósitos de cromo es el llamado depósito negro, el cual se obtiene a semejanza de los depósitos negros de platinos producidos sobre

muchos electrodos usuales en los laboratorios de Electroquímica, se le dio a este deposito la denominación de "quemado". Se obtuvo a partir de una solución de composición ordinaria, de la que se eliminó el contenido en sulfatos por el método de precipitación con cromato bórico. Fue necesaria una densidad de corriente elevada que se produjo con tensiones de 12 a 16 voltios. Con este fin se mantuvo fría la solución, pero con tan altas densidades de corriente puede ser necesario un enfriamiento artificial. Además, la adherencia del depósito planteó un problema al que se sumó la resistencia al uso, la cual no pareció tampoco demasiado buena.

CAPITULO 4 PROCESO DE CROMADO

4.1 PREPARACION DE SUPERFICIES PARA LA APLICACION DEL CROMADO.

El requisito más importante en la tecnología de los recubrimientos protectores es la limpieza de la superficie a la que éstos se aplican. La naturaleza química y física de una superficie metálica ejerce un efecto muy marcado sobre la calidad de cualquier recubrimiento. La presencia de grasa, aceite, productos de la corrosión, suciedad o de otros cuerpos extraños ejerce una determinada influencia sobre la adherencia, continuidad y duración de los recubrimientos.

La obtención de recubrimientos protectores de alta calidad depende del pretratamiento adecuado de la superficie del metal base.

La preparación de la superficie metálica que se va a recubrir consta generalmente de dos pasos principales, cuyos objetivos son la separación de sustancias orgánicas, tales como los aceites, las grasas, y de materiales orgánicos, como, por ejemplo, cascarilla, productos de la corrosión y materia mineral. En resumidas cuentas, estos pasos se descomponen en procesos de separación de grasa y de cascarilla y tienen por objeto obtener una superficie de la limpieza adecuada para la aplicación de los recubrimientos.

Previamente a todo tratamiento de superficies, por un método cualquiera y especialmente químico o electroquímico, es imprescindible proceder a lo que se denomina una preparación de superficies, que tiene por fin eliminar toda presencia física o química sobre la superficie a tratar, que se puede denominar en general suciedades.

Denominamos presencia física el depósito superficial más o menos adherente de uno a varios cuerpos extraños. Ejemplos, grasas, aceites, arena, escorias, etc., mientras que la presencia química es la transformación química superficial del metal a tratar. Ejemplos: óxidos de aleaciones ferrosas, óxidos de aluminio, óxido verde de aleaciones cuprosas.

Se ve claramente que la preparación de superficies constará de dos partes:

1. Desengrase que eliminará las materias grasas de la superficie.
2. Decapado que disolverá los productos de transformación de superficies.

El lavado no es suficiente, ya que tiene por fin eliminar de las superficies los cuerpos no grasos, más o menos adherentes, arenas, escorias, polvo.

El origen de las suciedades cuyo número es considerable, proviene evidentemente de los diferentes estados de transformación del metal, en piezas terminadas o mejor trabajadas, antes del tratamiento de superficies con el fin de su protección (o de su decoración)

PULIDO.

Este término se utiliza para designar las operaciones que tienen por fin atenuar o eliminar las irregularidades de una superficie. Término general que designa las operaciones que tienen por fin llevar a una superficie a su expresión geométrica mínima (por eliminación de sus irregularidades).

El pulido de las superficies metálicas puede lograrse por métodos electrolíticos o por métodos mecánicos. Al contrario del método electrolítico, que tiene la virtud de que el pulido no produce ninguna distorsión física en la superficie, los procesos mecánicos suelen aumentar la dureza de ésta en una proporción que oscila entre el 30 y el 40%.

El pulido se emplea para obtener superficies lisas y uniformes sobre las que se han de depositar recubrimientos electroplaqueados.

Esta operación puede emplearse también para los acabados superficiales, como, por ejemplo, sobre los recubrimientos de níquel antes de proceder a la aplicación del cromo.

El pulido mecánico se realiza por medio de poleas giratorias, las poleas para pulimentar se fabrican a partir de fieltro, piel de foca, cuero, etc., cuyas superficies exteriores se revisten previamente con abrasivos, tales como esmeril, alúmina fundida o corindón que se fijan a aquellas con cola.

PULIDO ELECTROLÍTICO.

En los años recientes han sido desarrollados diversos métodos para el tratamiento anódico mediante salmueras de metales, que dejan sus superficies brillantes y que pueden por lo tanto sustituir al pulido mecánico. Estos métodos se conocen bajo el nombre de pulido electrolítico. El pulido electrolítico encuentra aplicaciones importantes para abrillantar superficies metálicas tratadas galvánicamente y también como una etapa en la preparación para éstas operaciones, proporcionar una superficie limpia y brillante para ser tratada galvánicamente.

El pulido electrolítico es un procedimiento que consiste en disolver de una manera preferencial las diferentes asperezas superficiales de una pieza.

Consiste en tratar la pieza dispuesta como ánodo en una solución adecuada y en determinadas condiciones.

La pieza actúa como ánodo en una cuba que contiene un electrolito constituido generalmente por una mezcla de ácidos concentrados.

El pulido electrolítico se basa en la disolución anódica de las protuberancias de la superficie metálica, con lo que se obtiene un perfil muy llano o, lo que es igual una superficie muy regular. Pueden emplearse electrolíticos alcalinos o ácidos y se han desarrollado procesos para electropulimentar todos los metales corrientes.

El proceso no afecta a la estructura cristalina del metal, más bien la descubre mejor, con gran ventaja para los metales a depositar, ya que, por anclar mejor sobre los cristales del metal base, se beneficia la adherencia del depósito.

Es preciso que la composición, la temperatura y, sobre todo, la densidad de la corriente anódica del baño se controlen cuidadosamente, ya que, de no hacerlo, se corre el peligro de que la superficie se ataque más que se pule.

El proceso no elimina generalmente los rasguños o los cráteres de profundidad apreciable, aunque si bien, sí los redondea. El resultado neto, es el producir una superficie que sea microscópicamente tersa, y por lo tanto brillante, pero no necesariamente una tersura perfecta o una superficie plana, ya que se encontrarán siempre algunas ondulaciones.

Debido a que la resistencia de la solución y la polarización anódica son relativamente grandes, se necesitan voltajes superiores en los tanques, que los empleados en la mayor parte de las operaciones galvánicas, digamos hasta los 12 volts.

Los baños más frecuentemente usados para el pulido electrolítico, contienen ácidos sulfúrico, fosfórico, crómico, nítrico, cítrico, etc., o bien combinaciones de ellos.

PREDESENGRASE.

Los predesengrases que tienen por fin eliminar de las superficies metálicas la parte esencial de las grasas, sin llegar a su eliminación absolutamente total.

Operación de desengrase que tiene por fin disolver las grasas de una superficie, pero sin eliminarlas totalmente. Ejemplo: El desengrase en tricloroetileno de piezas de aleaciones ferrosas, es un predesengrase.

Existen multitud de fórmulas de soluciones químicas de predesengrase, numerosas de ellas utilizan ahora productos orgánicos: humectantes, detergentes emulsionantes... y son fórmulas propias de los distribuidores.

DESENGRASE.

El método más antiguo y extendido de desengrasado se basa en el empleo de los alcalis, se suelen emplear mezclas comerciales de composición apropiada para los diversos casos que se plantean en la práctica. En orden de importancia, las propiedades de un agente de limpieza alcalino son las siguientes

1. Poder disolvente y elevada alcalinidad.
2. Poder dispersante con respecto a los sólidos.
3. Poder emulsionante para los líquidos.
4. Facilidad de lavado.
5. Tensión superficial bajo y capacidad humectante.
6. Estabilidad.
7. Buena conductividad cuando se trata de procesos electrolíticos.
8. Baja concentración por razones de economía.
9. Atoxicidad.

Por regla general, las composiciones más alcalinas se emplean en la limpieza del acero.

Existe una graduación en el desengrase según el grado de perfección, de tal forma que se divide el desengrase en dos grandes tipos:

1. Los predesengrases que tienen por fin eliminar de las superficies metálicas la parte esencial de las grasas, sin llegar a su eliminación absolutamente total.
2. Los desengrases finales que eliminarán totalmente todo resto de grasa.

Los métodos de desengrase son:

Químicos: En soluciones generalmente calientes y por inmersión, y en función tanto de la grasa como de los metales a tratar, y de los tratamientos ulteriores, por ejemplo:

1. En la oxidación anódica del aluminio puede bastar con un desengrase químico después de un predesengrase, pero si la misma superficie de aluminio está destinada a recibir un electrodeposición, será necesario un desengrase electrolítico.
2. Para piezas tratadas en bombo para zincado o cadmiado .. siempre después de un predesengrase, seguido de un ligero bombeado, puede ser suficiente un desengrase químico para una electrodeposición de espesor ligero.

Con objeto de que el agente de limpieza actúe eficazmente en la eliminación de toda la gama de líquidos y sólidos grasos y de otras sustancias extrañas que pueden estar depositadas en las superficies de las piezas metálicas que se van a recubrir, suele ser costumbre emplear mezclas en las que entran a formar parte

diversas proporciones de distintos compuestos alcalinos. A continuación, examinaremos brevemente las principales características de estos constituyentes.

Sosa cáustica. Este compuesto es el más fuerte de los de tipo alcalino, se emplea extensamente, tanto debido a su elevada alcalinidad, como al hecho de que se consideraba de gran utilidad para la saponificación de aceites y grasas de origen animal y vegetal. Es un agente humectante pobre y difícil de arrastrar por lavado con agua.

Carbonato sódico. El carbonato sódico es un compuesto alcalino moderado y barato que se emplea en casi todos los agentes de limpieza de metales. Sirve de ayuda en las emulsiones de aceite producidas por el jabón y es un detergente muy conveniente.

Fosfatos. El ortofosfato sódico ($\text{Na}_3\text{PO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$) es uno de los componentes más corrientes empleados en los limpiadores de metales. Tiene un poder humectante y una acción emulsionante bastante buenos, contribuye a la acción del jabón y se arrastra muy bien por lavado con agua.

Silicatos alcalinos. Estos son excelentes agentes de desfloculación y poseen buenas propiedades humectantes, emulsionantes y de arrastre por lavado de agua. El ortosilicato es el mejor detergente y se emplea en los agentes de limpieza electrolíticos, así como también en la limpieza por inmersión y por proyección.

Jabón y detergentes sintéticos. El jabón, que es una mezcla de sales alcalinas y de ácidos grasos superiores, es el más antiguo detergente conocido. Los detergentes sintéticos abarcan una variedad de hidrocarburos alifáticos y aromáticos sulfonados. Tanto éstos, como el jabón, disminuyen la tensión superficial, son unos excelentes agentes emulsionantes. Los jabones y los demás agentes tensoactivos se suelen añadir a los limpiadores alcalinos para mejorar sus propiedades humectantes.

La limpieza con disolventes de desengrasado es especialmente útil en la separación de la mayor parte del aceite y de la grasa.

Los hidrocarburos son los mejores disolventes, pero muy inflamables, y los hidrocarburos clorados, buenos disolventes, tienen la desventaja de su toxicidad.

La limpieza con disolventes es conveniente en el caso de los pequeños talleres o de las grandes estructuras para las que no son factibles otros métodos de limpieza, frotando la superficie con el disolvente. También puede sumergirse la pieza en el disolvente líquido caliente. Estos métodos son especialmente valiosos en la separación de grandes acumulaciones de grasa y aceite.

Las emulsiones disolventes se emplean cada vez más como limpiadores de metales. Dichas emulsiones son de dos tipos: estables y de dos fases.

Las emulsiones estables están constituidas por hidrocarburos tales como la nafta o queroseno emulsionados con una pequeña cantidad de agua mediante el empleo de aceite de pino, oleato potásico, o cualquier otro agente emulsionante soluble en el hidrocarburo.

Desengrase electrolítico

Este proceso consiste en un líquido apropiado contenido en una cuba de hierro, la cual actúa de ánodo, se suspenden los artículos de una barra catódica y se hace pasar una intensa corriente.

El desprendimiento de grandes volúmenes de hidrógeno lleva consigo la separación de grasa de la superficie catódica.

La acción desengrasante se debe a diferentes causas. En primer lugar, la electrólisis de estas disoluciones produce sosa cáustica sobre el cátodo. En segundo lugar, está la acción mecánica del gas que, al desprenderse por debajo de la película de grasa, la levanta y arrastra. De hecho, con grandes cantidades de grasa su eliminación es fundamentalmente mecánica y la grasa arrancada flota sobre el baño, de donde puede extraerse fácilmente.

A veces, debido a la relativa pequeñez de los conductores, la corriente es insuficiente.

La ventaja que ofrece esta inversión es la destrucción de toda capa de hidrógeno adherido a la superficie del metal.

Debe evitarse siempre el desengrase electrolítico de las piezas niqueladas si van a ser cromadas inmediatamente, pues ello motivará la pasividad de la superficie de níquel.

Esta operación (seguida de enjuagues, eventualmente ácidos, o decapados) es la que precede inmediatamente a la electrodeposición y determina, independientemente de los factores ligados a las condiciones operatorias de los electrodeósitos, ante todo su adherencia.

Los métodos electroquímicos o electrolíticos son indiscutiblemente los que ofrecen la mayor seguridad cuando se aplican de forma adecuada.

En galvanoplastia el desengrase electrolítico juega un papel preponderante. Han sido precisos los imperativos absolutos que han impuesto los electrodeósitos a espesor y brillantéz, especialmente los de níquel brillante, para que esta operación reciba una atención completa.

En primer lugar se precisan condiciones eléctricas mínimas:

1. La tensión real no debe ser nunca inferior a 7 voltios (sin exceder los 10 voltios), y por tensión real entendemos no la que se mide en los bornes del rectificador que alimenta el baño de desengrase sino la que se define por medio de medidas hechas sobre los ganchos fríos de aportación de corriente anódica y catódica. Un control de tensión eléctrica de trabajo de una forma general, y más especialmente en el desengrase electrolítico debe hacerse a nivel de los ganchos, verificando siempre su temperatura.
2. La densidad de corriente media por dm^2 , que en la mayor parte de los casos no deberá ser inferior a los 12 A/dm² para una tensión de 7 a 8 voltios. Es evidente que para una tensión de 10 voltios, alcanzará de 15 a 20 A/dm².

Si, como es frecuente, el electrolito está previsto para trabajar en frío, normalmente a 15°C, la temperatura no deberá sobrepasar los 22°C. Alcanzado este punto deberá refrigerarse el baño, por alguna de las razones siguientes principalmente:

- El primero es la distancia entre electrodos.
- Volumen del baño demasiado pequeño para la intensidad de paso.
- Cantidad de corriente demasiado elevada.
- Resistencia exagerada del electrolito.
- Ganchos catódicos o anódicos de sección insuficiente.
- Densidad de corriente anódica insuficiente.

Cuando no es posible disminuir la cantidad de corriente, es preferible aumentar el volumen del baño.

DECAPADO.

El decapado es diferente según el metal o la aleación a tratar. En efecto, su fin es disolver o desgastar los óxidos derivados de su o sus constituyentes.

Esta acción decapante se puede efectuar por:

- Decapado químico.
- Decapado electroquímico.

Decapado Acido.

Después de haber sido eliminada la grasa queda el problema de separar las gruesas costras de óxidos o las delgadas películas protectoras del metal, así como todo compuesto químico adherido durante los tratamientos térmicos ordinarios de los modernos procesos de fabricación.

Durante los procesos de revenido, recocido, etc., por ejemplo, todos los metales ordinarios adquieren cascarilla de óxidos de no fácil separación. El tratamiento a seguir para eliminarlas depende ampliamente del metal. en general, pueden establecerse cuatro grupos de metales y aleaciones que requerirán diferentes métodos de decapado o desoxidación. Estos son:

1. Cobre y sus aleaciones.
2. Hierro y acero.
3. Aleaciones de zinc y aluminio.
4. Aleaciones de estaño-plomo.

Ningún tratamiento universal puede proponerse para todos los grupos. Los ácidos a emplear dependen esencialmente de la naturaleza de los metales y de sus óxidos.

Decapado electroquímico.

Prácticamente no se utiliza más que para las aleaciones ferrosas, en una solución de ácido sulfúrico del 30 a 60%. El decapado será anódico o alternativamente anódico catódico, siendo la densidad de corriente del orden de 5 a 10 A/dm².

Decapado Químico (Descascarillado).

El decapado químico se basa en la inmersión del metal en ácido diluido hasta que la cascarilla se haya desprendido o disuelto. En la práctica corriente se utiliza ácido sulfúrico de 5 a 10%, a unos 65 u 88°C. empleando un inhibidor catódico para disminuir el ataque del metal y la fragilización del acero por el hidrógeno.

Enjuague Final.

Antes de proceder a un recubrimiento, debe tenerse especial cuidado en eliminar de la superficie metálica todo residuo de los productos químicos que se emplearon en las operaciones previas de desengrase, desoxidación y pulido. En la limpieza química —baños de inmersión, por ejemplo— se emplearon ácidos a causa de su carácter corrosivo. Tales ácidos se adhieren a la superficie con una tenacidad mucho mayor que la que, de ordinario, pudiera apreciarse.

Desecado.

En esta fase los artículos han de ser liberados de todo vestigio de humedad. La operación se realiza sumergiendo la pieza en agua caliente y secándola después con serrín también caliente. Este material no ha de contener sustancias resinosas.

Otro método de desecado que puede aplicarse ventajosamente consiste en una corriente de aire caliente, la cual elimina la humedad retenida en los resquicios mejor que pueda hacerlo el serrín

4.2 EL NIQUEL COMO DEPOSITO BASE PARA EL CROMO.

DEPOSITOS DE NIQUEL

Electrodeposición de Níquel.

Fue después de 1880 cuando comenzó a practicarse la deposición del níquel, especialmente con fines protectores sobre hierro y acero. Desde entonces, el método ha sido practicado considerablemente, alcanzando, durante los últimos años, una importancia tan merecida como extendida, principalmente a causa de los innumerables trabajos científicos de investigación llevados a cabo con resultados que han permitido una apreciación más completa de las posibilidades ofrecidas por algunos baños que han llegado a ser típicos, de propiedades bien conocidas, y con los que se reemplazaron aquellas soluciones primitivas que, durante muchos años, se habían aplicado, más o menos empíricamente, con resultados lejos de la perfección.

Aunque el cromo comunica un brillo muy atractivo a los artículos que recubre, los de espesor necesario para conseguir una protección adecuada, son tan frágiles que carecen de utilidad. Además, la aplicación de recubrimientos gruesos de cromo es un proceso caro debido al bajo rendimiento catódico del proceso. Por consiguiente, suele ser costumbre emplear un recubrimiento resistente a la corrosión, para el que generalmente se prefiere el níquel. Aparte de sus propiedades químicas favorables, el níquel tiene la ventaja de que si se aplica mediante una técnica de «plaqueado brillante», la superficie tiene el brillo suficiente para que el recubrimiento delgado y duro de cromo pueda suponerse sin que sea necesaria una operación de pulimento previa. En ocasiones, se emplea, un recubrimiento base compuesto de cobre y de níquel.

EL NIQUEL COMO DEPOSITO BASE PARA EL CROMO

El níquel es reconocido como el metal más utilizable como base para el cromado, pues, a la par que suministra una capa resistente a la corrosión, admite sobre él fácilmente un depósito adherente de cromo. Para este objeto, el recubrimiento de níquel requiere propiedades especiales. El níquel electrolítico es, generalmente, duro y frágil, pero aquellos depósitos que han de servir como base

del cromado deben ser más blandos y tenaces, pues han de soportar las tensiones impuestas por el cromo durante su deposición. Tales depósitos tienden menos al descascarillado y son más difíciles de arrancar.

Es bien conocido el éxito del uso del cromado para decoración depende de la aplicación previa de una capa de metal que protegerá al acero u otro metal base de la corrosión, puesto que las capas de cromo son relativamente porosas y de aquí que no eviten la corrosión. La experiencia ha demostrado que las capas de níquel son las más adecuadas para proporcionar este tipo de protección. Los intentos para sustituir el níquel con cobre en recubiertas electrolíticas dieron depósitos con un valor protector inferior. Aún cuando el cobre es todavía frecuentemente usado como capa inicial o intermediaria sobre acero, la tendencia actual consiste tanto en aumentar la proporción de níquel como en el espesor de la capa final de níquel en esta clase de recubrimientos.

Un baño recomendado con este fin es el siguiente:

Sales simples de níquel.....	300 g.
Cloruro de níquel.....	19 g.
Acido bórico.....	12.5 g.
Agua.....	1 g.

Con objeto de asegurar un depósito brillante con el menor costo en el pulimento de acabado, se hace trabajar este baño a una temperatura de 40°C.

Los depósitos de las soluciones ordinarias, aunque capaces de recibir buenos acabados, resultan con frecuencia inadecuados para el cromado ulterior. Algunos de los defectos de los depósitos ordinarios de níquel son:

1. Escasa adherencia, ocasionada por la falta de limpieza.
2. Fragilidad, debida al hidrógeno codepositado.
3. Oxidación de la superficie del mismo.

El baño de cromar comporta algunas propiedades de limpieza, no sólo desengrasando, sino disolviendo rápidamente muchos óxidos metálicos, si bien no es conveniente dejar que el baño efectúe esta misión.

Para la obtención de las propiedades físicas que se exigen en el depósito de níquel hay que fijar la atención, principalmente, en tres factores. Estos son:

1. Temperatura.
2. Densidad de corriente.
3. Acidez.

A elevadas temperaturas, pueden usarse eficazmente densidades de corrientes más altas, con lo que se obtienen depósitos comparativamente más blandos. La

acidez necesita una cuidadosa vigilancia. El mantenimiento de un pH apropiado se consigue, en alguna extensión, introduciendo un poco de cloruros en la solución, para favorecer la corrosión del ánodo e impedir así la formación de ácidos. Por otra parte la presencia de fluoruros en un baño ejerce también como es bien conocido, una buena influencia sobre el valor del pH.

Cantidades iguales de ácido añadidas a dos soluciones de níquel que difieran solamente en que a una de ellas se le añadieron fluoruros, causan un aumento menor de acidez (o menor descenso en el valor del pH) en el baño que contiene los fluoruros. El ácido bórico suministra el grado de acidez requerido, y, por otra parte, actúa como los fluoruros, impidiendo cambios marcados en el valor del pH. Tales reactivos, que ejercen un efecto favorable manteniendo la correcta acidez, han sido ya citados como reactivos compensadores a agentes reguladores.

Antes de efectuar la operación de cromado se debe de suministrar una capa de níquel que sea adecuada para el depósito de cromo.

Una de las ventajas del previo depósito de níquel son, de un lado, el efecto modificador sobre el tono azul del cromo y, por otra parte, el hecho de que, en las partes profundas de las piezas a las que no llega el cromo, dado su débil poder de penetración, el color del níquel será mucho más preferible que el destacado tono, rojo del cobre.

ACTIVADO ACIDO.

Condiciones de los metales de base.

Aún cuando otras condiciones sean favorables, algunas veces es difícil obtener depósitos de cromo uniformemente brillantes, especialmente sobre algunos tipos de níquel. Este problema ha surgido con precipitados de cromo brillantes, de soluciones que contienen ciertos agentes aditivos. Esto también ha surgido cuando una cubierta plana de níquel se ha pulido y, con ello, llega a calentarse tanto que oxida al níquel. Así mismo, puede ocurrir cuando depósitos de níquel pulidos han reposado mucho tiempo antes de ser recubiertos con cromo. En todos estos casos, es necesario activar la superficie de níquel justamente antes de aplicar el cromo.

Los siguientes pasos o combinaciones de ellos pueden ser empleados para activar el níquel. Cada uno de estos posiblemente pueda quitar la película pasiva de óxido del níquel.

1. Lavarlo catódicamente con un baño alcalino
2. Sumergirlo momentáneamente en ácido clorhídrico concentrado.

3. Aplicar un toque de la parte de una película de níquel a partir de un cloruro de níquel altamente ácido.
4. Salmuerear catódicamente en ácido sulfúrico diluido
5. Aplicar una densidad de corriente anormalmente alta o baja en el baño de ácido crómico por unos cuantos segundos antes de ajustarlo a la densidad de corriente normal.

Propiedades de los depósitos de níquel.

Las propiedades físicas del níquel electrodepositado son de especial interés porque hay una gran variedad de propiedades, el control de las cuales crea aplicaciones especiales del níquel, por ejemplo, en electroformación. Aún cuando se han publicado y resumido muchos datos acerca de estas propiedades, se ha dado muy poca información acerca de los efectos de las condiciones de operaciones de cada una de las propiedades. Un informe reciente resumía los estudios hechos por la American Electroplaters Society (Sociedad Americana de Galvanizadores) acerca de los depósitos opacos de níquel. Estos resultados llevan a las siguientes conclusiones acerca de la extensión de estas propiedades y los efectos de las condiciones de operación.

Dureza. Esta varía en los diferentes depósitos de níquel de cerca de 130 a 430. En el baño tipo de Watts, se obtuvo un mínimo de dureza a un pH de 3, obteniéndose depósitos más duros abajo y arriba de este límite. Esta dureza mínima no se observa en otros baños de níquel, por ejemplo, en los baños de todo-cloruro o todo-sulfato. Los depósitos más duros se obtienen con un alto pH.

A un pH de 3, se obtuvo la dureza mínima cuando la densidad de corriente era de cerca de 4 Amp/dm².

Los depósitos más duros de níquel se logran con un baño todo-cloruro o con un baño de acetato del tipo del baño Watts.

A una determinada densidad de corriente y determinado pH en el baño Watts, un aumento en temperatura disminuye la dureza. En un pH de 3 se obtuvo una dureza mínima a 55°C.

Resistencia a la tensión. En general, la resistencia a la tensión es casi paralela a la dureza y va de 3 900 a 11 000 kg/cm².

Ductilidad. La ductilidad, medida por elongación, es casi inversamente proporcional a la dureza y a la resistencia a la tensión.

Resistividad eléctrica. La resistividad eléctrica del níquel depositado es influenciada por el contenido de inclusiones como el óxido y el cobalto. Se presenta un poco en un pH de 3

Propiedades magnéticas. Estas pueden variar con las condiciones del depósito. De aquí que es necesario templar las capas de níquel a 400°C antes de medir su espesor por su atracción magnética.

Estructura. Los depósitos del baño de Watts son de ordinario columnares, mientras que los de los baños todo-cloruro o todo-sulfato son de grano fino.

Composición. Los depósitos de níquel contienen de ordinario oxígeno e hidrógeno, probablemente presentes como compuestos básicos del níquel como $Ni(OH)_2$. El cloruro puede estar presente en los depósitos de todos los baños de cloruro. Estas inclusiones indudablemente tienen influencia en la dureza y resistencia a la tensión.

Efecto del tratamiento con calor. El calentamiento de todos los depósitos de níquel, esto es, a 1000 °C, disminuye su dureza, fuerza de tensión, densidad y resistividad eléctrica y aumenta su ductibilidad.

Acidez de las soluciones de níquel.

La experiencia ha demostrado que un pH de 5.6 a 6.2 satisface las exigencias de un buen níquelado.

Una elevación de temperatura aumenta la acidez, disminuyendo de este modo el valor del pH.

Los cambios de acidez en el baño de níquel son debidas al trabajo irregular de los electrodos.

Pre-desengrase 130.¹

El Pre-desengrase 130 es un producto a base de álcalis y tensoactivos, completamente biodegradable y libre de fosfatos, para ser usados en la limpieza previa de acero, cobre y latón.

El Pre-desengrase 130 tiene habilidad de separar y disolver una gran variedad de grasas rápidamente; su afinidad con muchos aceites solubles en agua o emulsificantes, aunado a sus propiedades de baja tensión superficial, incrementa su empleo en gran variedad de procesos de limpieza.

Los tiempos listados a continuación indican la velocidad con la cuál el Pre-desengrase 130 actúa sobre aceites y grasas.

ACEITE	TIEMPO
Sae 20	20 segundos
Esso	30 segundos
Quaker 460	1 minuto
Sae 130	45 segundos
Texaco 1509	1 minuto
Vantrol 77	1 minuto
Aceite mineral	30 segundos
Quaker Draw 75	30 segundos

Condiciones de operación

	<u>Concentración</u>	<u>Temperatura</u>
Acero	50 - 65 g/l	82 - 93 °C
Cobre y latón	32 - 65 g/l	60 - 82 °C

Poco empañamiento puede observarse sobre cobre ó latón, el cual es fácilmente removido en los subsiguientes decapados o activadores ácidos.

Para piezas de acero es recomendable usar en conjunto el Predesengrase 130 con Electro 239¹, es un desengrase electrolítico altamente alcalino con alto poder secuestrante y humectante que hacen más solubles los óxidos para removerlos fácilmente en el paso posterior tales como las sales ácidas 326¹ en concentración de 120 g/l. ó una combinación de ácido clorhídrico de 10 - 15% Vol. y Sal Ácida 326 - 120 g/l., donde exista problemas fuertes de oxidación.

El mejor ciclo de limpieza para muebles y material tubular

Predesengrase 130	3 minutos	79 - 82 °C	60 g/l.	
Enjuague				
Electro 239 Anódico	1 minuto	79 °C	60 g/l	9 Amp/dm ²
Enjuague				
Activado ácido	1 minuto	T.A.	HCl 15-20 % Vol.	
Enjuague				
Electro 239 Anódico	1 minuto	79 °C	60 g/l	9 Amp/dm ²
Enjuague				
Activado ácido	30 segundos	T.A.		
(HCl 15 - 20 % Vol. ó mezcla de HCl 10% Vol. más Sal Ácida 326 - 120 g/l.)				
Enjuague				
Depósito de níquel				

Segundo ciclo

Predeengrase 130	3 minutos	79 - 82 °C	60 g/l.	
Enjuague				
Electro 239 Catódico ¹	30 seg-1 min	79 °C	60 g/l	9 Amp/dm ²
Electro 239 Anódico ¹	30 seg-1 min	79 °C	60 g/l	9 Amp/dm ²

Enjuague

Activado ácido 1 minuto T.A.

(HCl 15 - 20 % Vol. ó mezcla de HCl 10% Vol. más Sal Acida 326 - 120 g/l.)

Enjuague

Depósito de níquel

Estos ciclos se consideran los mejores para alambres donde existen piezas con soldadura y donde el problema de carbón esta presente.

Desengrase Harshaw 239¹

El Desengrase 239 es un excelente desengrase electrolítico para problemas especiales relacionado a grasas, polvos o aceites difíciles de remover, el 239 remueve fácilmente todos los aceites comunes, además elimina otros contaminantes difíciles de remover de la superficie a tratar.

Este Desengrase es una formulación cuidadosamente balanceada en una combinación de álcalis libre de fosfatos, con agentes acomplejantes tensoactivos, y acondicionadores de agua.

Es excelente para remover grasas en partes difíciles (cuerdas de tuberías, soldaduras, etc.).

Aplicación

Concentración	60 - 75 g/l.
Temperatura	70 - 90 °C.

El Desengrase 239 se puede emplear como un activador para Níquel que se ha pasivado, bajo las siguientes condiciones.

Concentración	45 - 60 g/l.
Temperatura	60 - 65 °C.
Densidad de Corriente	2.5 - 3.5 Amp/dm ²

Desengrase Harshaw 2032¹

Descripción

Es un producto que puede ser usado como electrolimpiador o por inmersión, excelente en las plantas que quiere tener un sólo tanque para usarlo para desengrasar fierro, latón y zamac.

Aplicación.

Para uso general	30 - 60 g/l.
Temperatura	72 - 90 °C.
Para Zamac	30 - 45 g/l.
Temperatura	60 - 72 °C.
Densidad de Corriente	5 - 9 Amp/dm ²

Datos adicionales.

El producto puede ser usado en todos los metales excepto en aluminio. Excelentes propiedades humectantes y buena tolerancia al agua dura. Larga vida y alta capacidad para grasas y aceites.

Activar o decapar.

Sal Acida HJ-1¹

Descripción

Es un producto sólido de fácil disolución, contiene inhibidores que impiden sea atacado el metal aún con un tiempo largo de inmersión.

Se emplea como sustituto de soluciones a base de ácidos para decapar o activar diferentes metales.

Condiciones de operación.

	<u>Concentración</u>
1. Hierro	45 - 60 g/l
2. Cobre y sus aleaciones	40 - 55 g/l
3. Zinc y sus aleaciones	30 - 45 g/l
Ambiente.	

Temperatura

Equipo necesario.

Tinas de hierro forradas de poliéster y fibra de vidrio.

N I Q U E L A D O

Este proceso se utiliza para producir un depósito de níquel brillante en tiempos cortos; se obtienen altos grados de nivelación, excelente conductibilidad y buena aceptación al depósito de cromo.

Este proceso puede ser depositado sobre una gran variedad de materiales, tales como hierro, latón, cobre o plástico.

Composición de la solución.

<u>Material</u>	<u>Rango</u>	<u>Optimo</u>	<u>Baja Concentración</u>
Sulfato de Niquel ($\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)	300 - 450 g/l	325 g/l	110 - 210 g/l
Cloruro de Niquel ($\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)	37.5 - 112 g/l	60 g/l	90 - 150 g/l
Acido Bórico (H_3BO_3)	37.5 - 50 g/l	45 g/l	45 g/l
Zodiac ZD - A ¹	5 - 7 ml/l	7 ml/l	7 ml/l
Zodiac ZD - 100 ¹	30 - 50 ml/l	35 ml/l	35 ml/l
Zodiac ZD - 220 ¹	0.1- 0.5 ml/l	0.2 ml/l	0.2 ml/l
<u>Antiporo</u> ¹			
ZD - 40 ¹ Con agitación de aire	1 - 5 ml/l	3 ml/l	3 ml/l
ZD - 45 ¹ Con agitación mecánica			

Condiciones de operación.

PH	3.5 - 4.5	4	4
Temperatura	50 - 70°C	55°C	55°C
Agitación	Aire/Mecánica	Aire/Mecánica	Aire/Mecánica
Densidad de corriente	4 - 6 Amp/dm ²	5 Amp/dm ²	5 Amp/dm ²

Control del proceso.

Agente de adición ZD - A¹

Se emplea exclusivamente en soluciones nuevas o al efectuar una conversión. Normalmente no se requieren adiciones posteriores a la inicial. Rendimiento del Agente de Adición ZD - A es de 4500 Ampere hora /litro.

Abrillantadores.

Agente de adición ZD - 100¹

El agente de adición ZD - 100 es el agente de control primario que produce las características deseadas del depósito, funciona en cooperación con el ZD -220, la concentración de ZD - 100 deberá ser mantenida dentro de los límites especificados. El rango de concentraciones de ZD - 100 es adecuado para la mayoría de sus aplicaciones mayores concentraciones de ZD - 100 incrementarán la tolerancia de la solución de muchos contaminantes. El ZD - 100 puede ser adicionado a la solución directamente sin diluir, pero se deberá tener cuidado de

¹ Predeengrase 130, Electro 239, Sal acida 326, Electro 139 anódico, Electro 239 catódico, Desengrase Harshaw 239, Desengrase Harshaw 2032, Sal acida H4-1, Zodiac ZD-A, Zodiac ZD-100, Zodiac ZD-220, Antiporo (ZD-40 y ZD-45). Estos son nombres de productos propios de fabricante y se encuentran a la venta en el mercado

hacer una distribución uniforme a través de toda la solución. El rendimiento del agente de adición ZD - 100 es de 5500 Ampere hora/litro.

Agente de adición ZD - 220.¹

Este Agente de Adición es el abrillantador y funciona junto con el ZD - 100 para controlar el grado de brillo y nivelación del depósito, son deseables pequeñas adiciones continuas. Este agente abrillantador deberá diluirse en agua o solución de níquel, en una parte de ZD - 220, por dos de agua. La concentración de ZD - 220 puede controlarse adecuadamente mediante la inspección visual de las piezas procesadas, previendo que la concentración de ZD - 100 esté dentro del rango especificado; se sugiere que se establezca una rutina de adición para mantener las concentraciones del abrillantador bastante cerca del punto óptimo de trabajo. El rendimiento del Agente de adición ZD - 220 es de 4500 Ampere hora /litro.

Antiporo.¹

Normalmente no se requiere el Antiporo o sólo en pequeñas cantidades para prevención del piquete. Con mantener una pequeña concentración de Antiporo, por ejemplo: 0.2% Vol. se asegura una producción libre de poro, bajo la mayoría de las condiciones de trabajo. El Antiporo puede adicionarse directamente a la solución sin diluir. El rendimiento del Antiporo es de 4300 Ampere hora/litro.

Temperatura.

La temperatura de la solución deberá mantenerse dentro de un rango de 50-70°C el uso de un control automático de temperatura, es recomendable para tener un control óptimo. El funcionamiento del proceso Zodiac es mejor en el rango superior de temperatura, ya que hay un incremento en la nivelación y mejora el brillo, permite altas densidades de corriente y se obtiene mayor conductividad, sin embargo a pesar de que los agentes de adición son estables a las temperaturas usadas, los cambios de éste, requerirán un ajuste en el empleo de los agentes de adición, a mayores temperaturas, el consumo de ZD - 220 será mayor.

PH.

El pH de la solución Zodiac 220, deberá mantenerse regularmente dentro de un rango de 3.5 - 4.5. ácido sulfúrico diluido (1 por 10 partes de agua) deberá ser usado para bajar el pH. Cuando sea necesario elevarlo, deberá usarse carbonato de níquel, aplicándolo a través del filtro.

Densidad de corriente.

Con un amplio rango de densidad de corriente, se obtienen depósitos brillantes en el proceso Zodiac.

Precauciones de operación.

La solución no deberá estar en contacto con equipo o material de plomo o sus aleaciones.

4.3 PROCESO DE CROMADO.

PROCESO DE CROMO DECORATIVO.

La siguiente solución de cromo es de tipo convencional con agentes de adición apropiados para conseguir una alta velocidad de deposición y gran poder de penetración y recubrimiento.

Los agentes de adición permiten el uso de menores concentraciones de ácido crómico que las normales, obteniendo un poder de recubrimiento comparable al de los baños más concentrados. Son necesarios uno o dos agentes de adición según la concentración de ácido crómico que tenga el baño seleccionado.

La solución de cromo da un depósito decorativo que puede ser aplicado sobre la mayoría de los acabados de níquel.

Este proceso se puede trabajar con uno ó dos agentes de adición según la concentración empleada de ácido crómico.

Composición de la solución de cromo.

<u>Componentes</u>	<u>Baño diluido</u> <u>Baja concentración</u>	<u>Baño concentrado</u> <u>Alta concentración</u>
Acido Crómico (CrO ₃)	180 - 280 g/l	280 - 400 g/l
Acido Sulfúrico (H ₂ SO ₄)	0.9 - 1.4 g/l	1.5 - 2.1 g/l

Relación óptima.

Acido Crómico/Acido Sulfúrico	190 : 1	190 : 1
Aditivo DC-1 ²	3 - 5% Vol.	3 - 5% Vol.
Aditivo DC-2 ²	2.5 - 3.5% Vol.	No se usa

Condiciones de Operación.

Temperatura	43 - 46 °C (óptimo)	43 - 46 °C
Densidad de corriente	19 - 22 Amp/dm ² (óptimo)	21 Amp/dm ²
Tiempo normal	1 - 4 min.	1 - 4 min.

Composición típica del baño (normal).

Acido Crómico	250 g/l	330 g/l
Acido Sulfúrico	1.2 g/l	1.2 g/l
Relación CrO ₃ /H ₂ SO ₄	190 : 1	190 : 1
(Acido Crómico/Acido Sulfúrico)		
Aditivo DC-1	4.0% Vol.	3.5% Vol.
Aditivo DC-2	3% Vol.	Ninguno

Composición de la solución de Cromo duro.

Aplicación del proceso para Cromo duro.

	Rango	Composición Típica
Acido Crómico (CrO ₃)	210 - 285 g/l	250 g/l
Acido Sulfúrico (H ₂ SO ₄)	0.9 - 1.88 g/l	1.5 g/l
Relación CrO ₃ /H ₂ SO ₄	160 : 1	160 : 1
Aditivo DC-1	3 - 5 % Vol.	4.0% Vol.

Condiciones de operación.

Temperatura	38 - 54°C	50°C
Densidad de Corriente	20 - 60 Amp/dm ²	50 Amp/dm ²

La solución de cromo duro varía considerablemente dependiendo de la aplicación. Soluciones de alta concentración son usadas por su alta velocidad de deposición. Este proceso proporcionará gran versatilidad, puede ser empleado en un gran número de aplicaciones con un mínimo de variaciones en la solución.

En general, la velocidad de deposición del proceso de cromado es 50% mayor que la de soluciones de cromo tipo convencional. El uso de densidades de corriente más altas, permite la velocidad de deposición de 0.5 - 1 milésima/hora.

La composición mencionada anteriormente, se aplica a la mayoría de las instalaciones, mejora el poder de recubrimiento en áreas de baja densidad de corriente, y donde se requiera puede bajarse la concentración de sulfatos o reducir la temperatura entre los rangos especificados. Estas modificaciones, implican reducción en la densidad de corriente, pero debido al incremento en la eficiencia en corriente, solo una ligera pérdida en la velocidad de deposición se observa.

Las propiedades físicas del cromo duro electrolítico son las siguientes:

Peso atómico	52.01
Peso específico	7.138
Punto de fusión	1900 °C
Resistencia específica por cm.	3 85 x 10 ⁸

Por sus características de dureza, resistencia al desgaste, coeficiente de fricción, aumento de velocidad, compatibilidad con temperaturas elevadas y resistencia a la corrosión, el empleo del cromo duro se ha extendido a diferentes artículos de muy variadas formas y usos.

Las siguientes tablas nos muestran la velocidad de deposición del cromo.

TABLA DE VELOCIDAD DE DEPOSICION DE CROMO DURO			
CrO ₃ =250 g/l		SO ₄ =2.5 g/l	
T=50°C			
Densidad de Corriente (Amp/dm ²)	Velocidad de deposición (micras/hora)	Densidad de Corriente (Amp/dm ²)	Velocidad de deposición (micras/hora)
10	5	60	58
15	8	65	63
20	13	70	70
25	18	75	76
30	23	80	82
35	28	85	88
40	34	90	94
45	40	95	101
50	46	100	106
55	52		

TABLA DE VELOCIDAD DE DEPOSICION DEL CROMO														
CrO ₃ =330.0 g/l		SO ₄ =1.2 g/l		Aditivo DC-1=35 ml/l		T=50°C								
Espesor en mm	g/dm ²	Amperes hora requerido	Amperes minuto requerido	Minutos para obtener el depósito a diferentes Amperes/dm ²										
				5.0	7.5	10.0	12.5	15.0	17.5	20	25	30	40	50
0.000254	0.0177	34.4	0.567	6.1	4.1	3.1	2.4	2.0	1.7	1.5	1.3	1.0	0.76	0.61
0.000375	0.0277	51.1	0.856	9.2	6.1	4.6	3.7	3.1	2.6	2.3	1.9	1.5	1.4	0.92
0.000508	0.0366	67.8	1.11	12	8.1	6.1	4.9	4.1	3.5	3.1	2.5	2.0	1.5	1.2
0.000629	0.0455	85.5	1.44	15	10	7.6	6.1	5.1	4.4	3.8	3.1	2.6	1.9	1.5
0.00076	0.0544	102	1.76	18	12	9.3	7.6	6.1	5.2	4.6	3.8	3.1	2.3	1.9
0.00102	0.0732	133	2.33	24	16	12	9.8	8.1	7.0	6.1	5.0	4.1	3.1	2.5
0.00127	0.0912	166	2.88	31	21	16	12	10	8.7	7.7	6.3	5.1	3.9	3.1

Condiciones de Operación.

Para obtener el máximo rendimiento de la solución se debe mantener todos sus componentes entre los límites indicados.

Acido Crómico.

La concentración de ácido crómico se debe mantener entre los límites señalados. Cuando las adiciones de ácido crómico sean importantes, se debe tener en cuenta el ácido sulfúrico que lleva el propio ácido crómico.

La selección de la concentración de ácido crómico es particular en cada caso. En general, una solución de cromo concentrada necesitará menores requerimientos de corriente debido a su mayor conductividad, y tendrá una mayor tolerancia a las impurezas, y a las variaciones de las condiciones de trabajo. Las soluciones diluidas tienen la clara ventaja de menor gasto de ácido crómico y menores pérdidas por acarreo del mismo.

Sulfatos v relación ácido crómico/ácido sulfúrico.

Una alta concentración de sulfatos (baja relación) disminuirá el poder de penetración y aumentará el límite de densidad de corriente. Baja concentración de sulfatos (alta relación) aumentará el poder de penetración, pero disminuirá el límite de densidad de corriente (el punto en el cual empieza el "quemado"). Se sugiere una relación de 190:1.

La concentración de sulfatos se puede elevar con adiciones de ácido sulfúrico y bajar por medio de carbonato de bario. Cuando la concentración de sulfatos tienda a elevarse, indica, en general una introducción de los mismos en la solución, por acarreo de las soluciones anteriores a la del cromo. Los sulfatos deben ser analizados frecuentemente para ajustar su concentración y tener la relación apropiada de ácido crómico/ácido sulfúrico.

Aditivos DC-1 v DC-2²

Los Aditivos DC-1 y DC-2 cooperan con el ácido sulfúrico para dar un mejor poder de penetración, la relación entre éstos Aditivos y el ácido crómico es muy importante. Para conseguir condiciones óptimas de trabajo y una máxima economía, la relación debe ser cuidadosamente mantenida.

Los Aditivos DC-1 y DC-2 no deben mezclarse entre sí.

El control del Aditivo DC-1 se efectúa por medio de análisis volumétricos, la adición del Aditivo DC-2 se efectúa en forma proporcional a las adiciones del

Aditivo DC-1, un 75% de la adición del Aditivo DC-2 por cada parte del Aditivo DC-1.

Aditivo DC-1²

El Aditivo DC-1 se debe de mantener entre los límites señalados. Los límites de trabajo para este agente de adición son muy amplios, sin embargo, la experiencia y la necesidad de cada caso dará la concentración más aconsejable. En general, el efecto de la concentración del Aditivo DC-1 es similar a la de los sulfatos, de manera que bajas concentraciones producen "Quemado" en zonas de alta densidad de corriente, y altas concentraciones del Aditivo DC-1 reducirán el poder de penetración.

El consumo del Aditivo DC-1 varía según las diferentes instalaciones pero se pueden tomar como base las siguientes relaciones:

- Para soluciones diluidas, de baja concentración 2 litros de Aditivo DC-1 por cada 10 kg. de ácido crómico consumido.
- Para soluciones concentradas 1 litro de Aditivo DC-1 por cada 10 kg. de de ácido crómico consumido.

El Aditivo DC-2 no debe usarse en soluciones concentradas.

Aditivo DC-2²

El aditivo DC-2 no ofrece ninguna ventaja en los baños que contienen más de 300 g/l de ácido crómico, y no debería ser usado, sin embargo, en los baños diluidos se aumenta el poder de penetración, similar al de los baños concentrados, añadiendo el aditivo DC-2. Es necesario una concentración mínima del aditivo DC-2 de 2.5% en volumen. Concentraciones mayores de 3.5% en volumen, aunque no son peligrosas, no ofrecen ninguna ventaja.

Los consumos del aditivo DC-2 son proporcionales a los del aditivo DC-1, y se deben de añadir en la proporción de 3/4 partes del aditivo DC-2 por cada parte de aditivo DC-1.

Temperatura

Se debe de mantener entre los límites señalados. Es recomendable el uso de reguladores automáticos de la misma. Para mantener la temperatura idéntica en todo el baño, se sugiere el uso de alguna forma de agitación, mecánica o por aire. Cuando se trabaja a bajas temperaturas habrá tendencia a "quemado" y será necesario reducir la densidad de corriente. Cuando se trabaje a altas temperaturas disminuirá el poder de penetración.

Densidad de corriente.

Los depósitos de cromo, claros y brillantes, se obtienen dentro de un amplio margen de densidades de corriente. Los valores medios variarán con la clase del material a cromar y el tipo y características de la solución sin embargo, es normal trabajar entre 15-21 Amperes/dm² en este rango de operación se pueden cromar una gran variedad de piezas que se quieran procesar. Se sugiere que la densidad de corriente sea la mayor posible que no produzca "quemado".

Tiempo/Espesor.

Para la mayoría de las aplicaciones decorativas el tiempo de cromado, es suficiente de 1 a 4 minutos. En la mayoría de las condiciones de operación podemos obtener con la solución de cromo, un depósito de espesor de 5 millonésimas de pulgada por minuto (0.000005"), un espesor de 0.13 micras por minuto, cromando a 15 Amperes/dm².

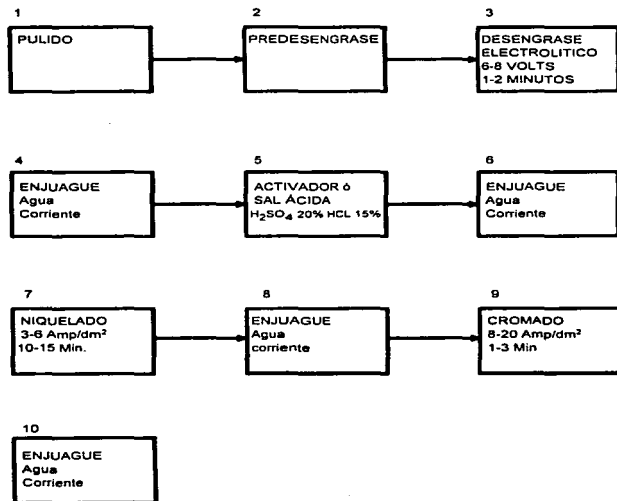
Preparación de la solución para el baño de cromo.

1. Llenar el tanque aproximadamente las dos terceras partes con agua y calentar a 52°C.
2. Añadir lentamente, agitando, la cantidad calculada de ácido crómico.
3. Ajustar la temperatura de la solución de cromo a 43 - 46°C.
4. Añadir la cantidad calculada de ácido sulfúrico requerido, teniendo en cuenta lo que contiene el ácido crómico.
5. Adicionar la cantidad calculada de Aditivo DC-1 y si la solución es diluida adicionar el Aditivo DC-2 necesario.
6. Añadir agua para llevar la solución a su nivel de operación y mezclar completamente, con cuidado.
7. Analizar todos los componentes de la solución de cromo y en dado caso ajustar la concentración.
8. Colocar los ánodos en el tanque y activar (electrolizar) la solución a 6-12 volts por 2 ó 3 horas (usando cátodos de electrólisis ondulados).
9. La solución esta lista para utilizarse.

2

Aditivos DC-1 y DC-2 son agentes de adición que se identifican con estos nombres, y se encuentran a la venta en el mercado.

DIAGRAMA DE FLUJO DE LA LINEA DE GALVANOPLASTIA
DEL PROCESO DE CROMADO



El siguiente cuadro nos sirve para ayudarnos a encontrar con facilidad el defecto que puede aparecer en el baño de cromo, y a la vez sugerir el posible remedio.

DEFECTO	POSIBLE CAUSA	POSIBLE REMEDIO
A. Poco poder de penetración o depósitos con bajo espesor.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Temperatura demasiado alta. 2. Densidad de corriente baja. 3. Bajo contenido en ácido crómico. 4. Alta concentración de aditivo DC-1. 5. Baja concentración de aditivo DC-2. 6. Baja relación ácido crómico/ácido sulfúrico. 7. Malos contactos. 8. Demasiada carga de material. 9. Alto contenido de ácido sulfúrico. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Reducir la temperatura a 43-46°C. 2. Aumentar D. C. a 15-21 Amperes/dm². 3. Ajustar la concentración de ácido crómico. 4. Reducir la concentración de aditivo DC-1. 5. Aumentar la concentración de aditivo DC-2. 6. Ajustar la relación a 190:1. 7. Mejorar los malos contactos del bastidor. 8. Reducir la carga. 9. Adicionar carbonato de bario en la siguiente relación por 1g. de ácido sulfúrico, 2g. de carbonato de bario.
B. "Quemado" en áreas de alta densidad de corriente.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Temperatura demasiado baja. 2. Densidad de corriente demasiado alta. 3. Bajo contenido en ácido crómico. 4. Alta relación ácido crómico/ácido sulfúrico. 5. Bajo contenido de aditivo DC-1. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Aumentar la temperatura a 43-46°C. 2. Reducir D. C. a 15-21 Amperes/dm². 3. Ajustar la concentración de ácido crómico. 4. Ajustar relación a 190:1. 5. Aumentar concentración de aditivo DC-1.
C. Poco poder de penetración o depósitos con bajo espesor.	<p>-Metal pasivado.</p> <p>Exceso de abrillantador en el níquel.</p> <p>-Mala limpieza</p> <p>-Intervalo de tiempo mayor del níquel al cromo.</p>	<p>Eliminar exceso de abrillantador en el níquel filtrando con carbón activado</p> <p>-Checar enjuagues</p> <p>-Operar más rápidamente.</p>
D. Color del depósito no uniforme	<ol style="list-style-type: none"> 1. Metal base/Níquel depositado sucio, o falta de actividad. 2. Bipolaridad durante la entrada de las piezas en el baño de cromo. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Filtrar la solución de níquel Eliminar cualquier film que interfiera Dejar más tiempo en el activado 2. Introducir las piezas con precontacto.
E. Color del depósito, lechoso	<p>Niquelado pasivado.</p> <p>Falta de actividad.</p>	<p>Activar el depósito de níquel en solución de cianuro de sodio(catódico).</p> <p>Eliminar exceso de abrillantador en níquel, con carbón activado.</p> <p>Dejar más tiempo en activado o activar con corriente.</p>
F. Depósito con iridiscencia. (Que tiene los colores del arco iris).	<p>Falta de ácido sulfúrico.</p> <p>Falta de aditivo DC-1.</p> <p>Contaminación de Cloruros.</p> <p>Contaminación de tipo metálica (zinc, níquel, fierro).</p>	<p>Ajustar la concentración de ácido sulfúrico.</p> <p>Ajustar la concentración de aditivo DC-1.</p> <p>Adicionar a la solución 0.5-1.0 gr/l de óxido o carbonato de plata. Hacer pruebas en celada hull, decantar la solución.</p> <p>Dilución de un 25%, verificar la causa de la contaminación.</p> <p>La presencia de fierro se puede eliminar con Fluoruro de sodio.</p> <p>Checar revestimiento de la tina.</p> <p>Oxidación o electroslits.</p>
G. Depósito con manchas mates. Completamente mate. Depósito opaco.	<p>Presencia de cromo trivalente.</p> <p>Dos capas de cromo.</p> <p>Alta concentración en sales.</p> <p>Contacto eléctrico inadecuado.</p> <p>Temperatura demasiado alta.</p> <p>Contaminación metálica.</p>	<p>Checar la corriente.</p> <p>Controlar las concentraciones o diluir la solución.</p> <p>Verificar corriente en barra catódica y ánoda.</p> <p>Limpiar contactos.</p> <p>Reducir temperatura a 43-46°C.</p> <p>Diluir la solución un 25%.</p>

4.4 EQUIPO UTILIZADO EN EL PROCESO DE CROMADO.

TANQUES NUEVOS.

Los tanques deben ser de acero recubiertos con material sintético

Los tanques o cubas deben estar forrados con un material plástico apropiado: P.V.C. es adecuado y satisfactorio. Es preferible el P.V.C. a los recubrimientos de plomo y si se desean usar, se debe de hacer con una aleación de plomo-antimonio al 7% de este último. Con los recubrimientos metálicos existe la posibilidad de corriente estática o fugas de corriente (extrañas o parasitarias), así como de cortocircuitos.

TANQUES USADOS.

Los tanques recubiertos de plomo no se deberían usar, debido a las posibles manchas que suelen tener o que se producen en el depósito y a su vida limitada. Sobre el recubrimiento de plomo se debe colocar uno de plástico apropiado en este caso P.V.C., en los tanques usados se debe revisar periódicamente este recubrimiento y reparar las áreas que sean necesarias.

Los tanques con recubrimiento de plástico deben ser rigurosamente inspeccionados para ver si tienen roturas, y ser reparados si fuera necesario.

Los tanques que anteriormente han contenido una solución de cromo (tipo autoregulable), se deben de limpiar y lavar vigorosamente antes de su uso, para que el catalizador que tienen adherido no interfiera en la nueva solución de cromo.

Serpentines de enfriamiento y calentamiento

Son satisfactorios los serpentines de calentamiento y enfriamiento dentro del baño, de una aleación plomo-antimonio al 7% de preferencia, o de titanio, tantalio o teflón; aunque sus costos se deben tener en cuenta. Los intercambiadores externos se pueden fabricar de titanio, tantalio o teflón vidrio Pyrex o tántalo. Son recomendables si es posible los controles automáticos de temperatura.

Anodos.

Se emplean ánodos de Acero o de Plomo, aunque suelen preferirse los de Plomo. Para procesos de tipo no continuo es más satisfactorio, el Plomo aleado con un 6% de Antimonio que el Plomo puro.

Se recomiendan de preferencia de aleación Plomo-Estaño (5-7% de estaño) ó Plomo Antimonio (Antimonio 5 -7%).

Deben de tener suficiente sección para evitar un sobrecalentamiento cuando trabajan a altas densidades de corriente. La experiencia ha enseñado que los ánodos de sección redonda son completamente satisfactorios. La relación ánodo-cátodo debe mantenerse de 2:1 ó más.

Bombas y Accesorios.

Las bombas deberán estar recubiertas de material sintético apropiado (tal como Hypalon) o construidas de Hastelloy C. Las tuberías y accesorios deben ser de acero recubierto (tal como teflón) o tuberías de un plástico apropiado (P.V.C. o polipropileno).

Equipo Diverso.

Debe llevar un equipo de extracción adecuado para impedir desprendimientos nocivos al ambiente, de ácido crómico.

En muchos casos, son aconsejables serpentines de agitación por aire, para remover toda la solución antes de empezar a trabajar, y mantener una temperatura uniforme en la misma. Estos serpentines se pueden construir de una aleación plomo-antimonio o de plástico apropiado.

Rectificadores.

Deberán suministrar una corriente continua tal, que se pueda trabajar de 6 - 15 V y con una densidad de corriente de 25 Amp/dm². Estos valores son superiores a los de la solución de cromo convencional. Las secciones de todas las conexiones eléctricas, barras y bastidores deben estar calculadas para suministrar continuamente esta corriente eléctrica. Cuando la solución de cromo contiene dos o más bastidores al mismo tiempo, todas las piezas deben entrar y salir de la solución de cromo con baja corriente catódica para evitar el efecto de polarización.

La corriente continua del rectificador debe tener un máximo del 10% de ondulación residual (ripple).

Debe ser de una capacidad suficiente para proporcionar una densidad de corriente de 25 Amp/dm² y de 12-15 volts se requiere que el rectificador tenga como máximo de 5% Ripple. Las conexiones, barras y bastidores deben de ser de una área de conducción eléctrica suficiente para mantener la continuidad de corriente (6.5 cm² /1000 Amperes en área de conducción transversal).

Manipulación de las piezas.

El proceso de cromado exige métodos especiales en la manipulación de los artículos a cromar. Estos cuidados vienen impuestos por la elevada densidad de

**ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA**

corriente aplicada, el bajo poder de penetración y el gran volumen de gas generado.

La elevada densidad de corriente demanda un cuidado especial en la elección de dimensiones adecuadas para los alambres de suspensión y en la forma de asegurar el contacto. Siempre que sea posible, deben ir atornillados o soldados. Para reflectores, anillos y llantas circulares, deben construirse útiles de soporte, o bastidores especiales, disponiéndolos de forma que aseguren el mayor contacto, por lo menos del orden de un 75 u 80% de la circunferencia a la que se ajustan garantizando así una uniformidad del depósito.

Si el artículo no presenta partes en las que pueda ajustarse debidamente la varilla de contacto, será necesario disponer los alambres de suspensión de forma que puedan moverse durante el cromado, a fin de evitar las marcas debidas al efecto «sombra» del cable conductor. Los alambres deben tener la suficiente sección para transportar la corriente sin calentarse. Si hay recalentamiento en los contactos habrá una evidente pérdida de energía, con la consiguiente reducción de corriente útil.

Un pobre poder de penetración aconseja el uso, ya generalizado, de ánodos auxiliares colocados frente a los recesos, salvándose con este recurso muchas dificultades inherentes al cromado.

En otros casos, piezas con bordes agudos deberán tratarse adoptando ánodos con entrantes similares, y los ánodos usuales de plomo se prestan fácilmente a esta adaptación. Tiras dobladas de plomo son muy útiles a este propósito. Ellas se introducen en el baño mediante barras auxiliares que se apoyan transversalmente sobre las barras anódicas ordinarias, pero, por supuesto, envueltas con cinta aislante en los puntos de posible contacto con las barras catódicas. En el cromado de llantas de ruedas suelen disponerse los ánodos de esta forma para su mejor adaptación al contorno circular.

Los huecos profundos u orificios en los artículos traen consigo molestias debidas al gas que se acumula en el interior de ellos y que, al escapar, impide el recubrimiento de una buena parte de superficie en torno a aquéllos. Se aconseja tapar tales huecos con tapones de corcho o de madera. Para otros fines de aislamiento son útiles materiales del tipo de la plastilina y una pasta con minio de plomo y glicerina, mientras que aquellos puntos de primer contacto del alambre conductor con la pieza a cromar se cubren ventajosamente con cinta aislante para prevenir un indebido depósito en tales áreas (quemaduras y arborescencias metálicas). Las superficies interiores se tratan del mismo modo que en el plateado

electrolítico, esto es, utilizando ánodos auxiliares de plomo conformado al artículo, o incluso alambres de hierro, teniendo cuidado de evitar cortos circuitos.

Cuando ha quedado sin cubrir una pequeña porción de superficie, se apela a la rectificación o retoque. El rectificador puede ser una varilla de hierro cubierta con tela de amianto y conectada al polo positivo o barra anódica. La solución de cromar con la que se empapa el tejido aislante es relativamente rica en metal y puede, por consiguiente, servir a esta técnica. En el acabado definitivo con la pulidora, debe tenerse mucho cuidado de tratar estas partes con delicadeza, pues los depósitos retocados son muy delgados.

CAPÍTULO 5 CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES FUNDAMENTALES DE LOS RECUBRIMIENTOS DE CROMO DURO.

Las características y propiedades se consideran bajo dos puntos de vista. El primero muestra las ventajas prácticas y los beneficios derivados de su aplicación. El segundo resalta sus deficiencias, las limitaciones de su empleo y las contingencias inherentes a su aplicación.

Cada una de estas cuestiones debe considerarse bajo dos aspectos: por una parte todo cuanto se refiere al cromo en base al metal con cualidades y defectos peculiares; por otra parte, todo cuanto proviene o deriva del hecho de efectuar el depósito de este metal por vía electrolítica, en baño frío.

5.1 CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES.

A) Ventajas ofrecidas por el cromo en base al metal.

a) Dureza. En la contextura que se le atribuye, se sitúa en la escala mineralógica, por encima del cuarzo. La dureza del cromo depositado es considerable, se estima en las escalas más corrientes, en unas 68 unidades Rockwell C, ó 900 a 1000 unidades Vickers, ó entre 750 y 760 unidades Brinell, esta dureza es característica del propio cromo.

A fin de no dar lugar a conclusiones erróneas y, en consecuencia, a cometer graves errores, creemos necesario insistir en que se trata de la dureza característica del propio cromo, y no de la resistencia a la penetración o hundimiento, del sistema binario constituido por el metal recubierto por su revestimiento. Esta última, es función de los parámetros siguientes: Dureza propia del revestimiento de cromo; dureza propia del metal sobre el cual está depositado, prácticamente siempre menos duro que aquél; espesor de la capa de cromo y carga aplicada sobre el sistema mencionado. Cuando este espesor es mínimo y la carga aplicada resulta elevada, la resistencia a la penetración o hundimiento es inferior a la que expresa la dureza propia del cromo.

Al calentarse cerca de 1200°C todos los depósitos de cromo disminuyen en dureza acercándose a 200 Brinell.

b) Resistencia al desgaste. El cromo, muy resistente al desgaste, sobrepasa en mucho a la mayoría de los aceros endurecidos elaborados especialmente con tal propósito. En comparación con éstos últimos, esta resistencia representa, en servicio corriente en la mecánica clásica, de 10 a 12 veces la de los aceros de herramientas al cromo níquel, e incluso más, y de 4 a 5 veces la del acero nitrurado.

Se observa esta misma resistencia, cuando el cromo debe de hacer frente a los ataques de sustancias no metálicas, como por ejemplo los materiales abrasivos.

El cromo se opone igualmente a los efectos de erosión o cavitación provocados por los fluidos, líquidos o gaseosos, animados de gran velocidad.

El cromo resiste la acción de la mayoría de los elementos agresivos. Si se hace que el cromo adquiera una dureza en exceso de determinado valor, su resistencia al desgaste, lejos de mejorarse, comienza a decrecer. La dureza que es clásico conferirle, es justo aquélla en la que la citada resistencia al desgaste alcanza su máximo.

c) Compatibilidad con elevadas temperaturas. El cromo, admite sin inconvenientes temperaturas ya de por sí muy elevadas, como por ejemplo la del vapor sobrecalentado que suele impulsar las turbinas.

La dureza del cromo se mantiene hasta los 400 ó 500°C, pero más allá de esta temperatura, tiende a disminuir. Cae de 750 a 550 unidades Brinell cuando se mantiene durante muchas horas a 600°C. Bajo los efectos de temperaturas aún más elevadas continúa disminuyendo.

La resistencia al desgaste se mantiene en las mismas condiciones. Pero más allá de la zona de los 400 a 500°C decrece simultáneamente con la dureza de la que entonces resulta casi función directa.

d) Resistencia a la corrosión. El cromo permanece insensible ante un elevado número de elementos agresivos, tanto orgánicos como inorgánicos.

e) Resistencia a la tensión. La resistencia a la tensión de cromo suave de alta temperatura, es mayor que la del cromo duro ordinario.

f) Ductilidad. Todos los depósitos de cromo son muy quebradizos y tienen una elongación de mucho menos del 1%.

g) Contenido de oxígeno. Los depósitos ordinarios de cromo duro contienen considerable oxígeno, probablemente presente como Cr_2O_3 , mientras que los depósitos suaves están casi libres de oxígeno. Las propiedades de los depósitos de cromo están íntimamente relacionadas con su contenido de oxígeno.

h) Densidad. La densidad del cromo suave es notablemente más elevada que la del cromo duro.

i) Resistividad eléctrica. La resistividad eléctrica del cromo suave es más baja que la del cromo duro.

j) Tensión y fisuramiento. Se desarrolla mayor tensión durante el depósito del cromo suave que con el cromo duro. Sin embargo, el cromo duro se fisura más que el suave, porque es más baja su fuerza de tensión.

Para el cromado decorativo brillante y para la resistencia al uso, el cromo duro ordinario, depositado a una temperatura de 40 a 60°C, es generalmente más apropiado. El cromado suave, menos propenso a rajaduras, depositado a temperaturas más elevadas, puede tener aplicación en los casos en que se desea mayor protección contra la corrosión.

B) Ventajas inherentes al depósito por vía electrolítica.

a) Depósito directo. Los revestimientos de cromo duro se depositan directamente sobre el metal que han de recubrir. No se intercala entre uno y otro, con pretexto de asegurar o facilitar la adherencia, el menor rastro de un metal extraño, o de cualquier otra sustancia. Su aportación determina, un sistema estrictamente binario.

b) Adherencia. Esta adherencia deriva de la constitución de un edificio cristalino, como el del cromo, a partir de que constituye el metal a revestir y sobre el cual se verifica una unión de tipo molecular. De no ser así, no existiría la debida adherencia.

Esta adherencia puede caracterizarse como debida a una continuidad de

cohesión que se opone a su separación, y no como una continuidad estructural de los sistemas en cuestión —metal revestido y revestimiento—. puesto que cada uno de ellos posee y conserva su esencia propia sino a una continuidad de cohesión que se opone a su separación

c) Depósito en frío. El depósito se realiza en solución acuosa de ácido crómico, cuya temperatura no excede de 60°C. Esta temperatura tampoco se rebasa ni en los baños de desengrasado a la sosa por vía anódica, ni en los baños de ataque para el decapado de la superficie a revestir —casi siempre sulfúricos— también por vía anódica.

Al no intervenir ningún calentamiento, la pieza tratada no puede sufrir, por este motivo, deformación alguna, la contextura del metal recubierta permanece inalterable. El paso de la corriente bajo la que se procede a las operaciones de revestimiento no le afectan en absoluto.

En estas condiciones, las características mecánicas generales de la pieza en cuestión no varían en absoluto con respecto a las existentes antes de su paso por el baño, tampoco resulta afectada la estabilidad conferida al metal.

d) Revestimiento, y la no transformación que endurece. Se habla frecuentemente de un «endurecimiento» debido al cromado. Esta es una interpretación totalmente errónea. No existe, en efecto, ni una sola partícula del metal tratado en el baño que haya sido «endurecida», en el sentido de que haya sufrido una transformación que aumente su dureza. La contextura del metal permanece inalterable; por lo tanto no puede haberse endurecido.

Los revestimientos de cromo duro difieren esencialmente de cualquier otro procedimiento conocido de endurecimiento superficial, estos implican siempre una transformación estructural que tiene como consecuencia un endurecimiento. Absolutamente nada de esto ocurre en el cromado

5.2 FALLOS, RESTRICCIONES DE EMPLEO Y CONTINGENCIAS.

Si bien deben figurar en los revestimientos de cromo duro las ventajas, no sería correcto silenciar sus fallos, con las restricciones de empleo que de ellos derivan, así como las contingencias que implican su ejecución.

A) Considerado como metal, el cromo duro manifiesta los siguientes inconvenientes.

a) Fragilidad. Lejos de ser tenaz el cromo acusa una cierta fragilidad puede decirse que ésta es una consecuencia de una de sus características más sobresalientes: su elevada dureza. Son rarísimos por otra parte, los cuerpos que, siendo muy duros, no resultan más o menos frágiles, y el cromo no escapa a esta ley general.

Esta sensibilidad crece con el espesor del revestimiento y se manifiesta de forma tanto más peligrosa cuanto más secas y violentas sean las presiones a que se halle sometido, ya que además se ejercen sobre aristas o zonas en voladizo.

Esta fragilidad contribuye por otra parte a disminuir la resistencia a la fatiga de las piezas revestidas, en particular cuando trabajan a presión alternativa.

b) Disminución de la dureza y debilitamiento de la resistencia al desgaste a elevadas temperaturas. Más allá de los 400 a 500 °C el cromo se ablanda considerablemente. Su dureza cae desde las 750 a las 550 unidades Brinell cuando se alcanzan los 600°C y se mantiene esta temperatura durante varias horas. Una mayor elevación de temperatura aumenta tal pérdida de dureza. Conjuntamente con este ablandamiento, su resistencia al desgaste decrece sensiblemente.

c) Fallos frente a ciertos elementos agresivos. Si bien es notorio que el cromo resiste ventajosamente los ataques de un elevado número de elementos agresivos, existen sin embargo varios frente a los cuales sucumbe, unas veces con rapidez, otras más o menos lentamente. Entre los elementos agresivos más activos debemos mencionar especialmente al ácido clorhídrico, en presencia del cual se evapora. Por otra parte se utiliza dicho compuesto para eliminar el cromo de ciertas piezas. El cloro húmedo y buen número de compuestos clorados le atacan violentamente, y lo mismo ocurre con los ácidos halógenos -yodhídrico, fluorhídrico, bromhídrico- el ácido fosfórico, ciertos ácidos alifáticos y aromáticos.

d) Imposibilidad de mecanizar el cromo con cuchilla. Debido a que la dureza del cromo sobrepasa a la del cuarzo, es absurdo pensar que se pueda mecanizar, ni siquiera con cuchilla al carburo, por dura que éste sea. Uno y otro no hacen sino destrozarse mutuamente a la menor tentativa. Cuando es preciso trabajar el cromo, es forzoso recurrir al rectificado con muela.

B) Contingencias que se derivan del depósito electrolítico.

a) Consideraciones relativas a la adherencia. La adherencia se debe a la formación de una estructura cristalina —en este caso de cromo— la cual debe de entrelazarse molecularmente con el metal base, pues de no ser así no se adheriría adecuadamente.

Esta adherencia es adecuada cuando el revestimiento se deposita sobre los metales más usualmente empleados, como son: los aceros al carbono templados o no, los aceros llamados de construcción, al cromo, al níquel o al cromo-níquel, con o sin otros aditivos, tratados o no; los aceros inoxidable clásicos, y los aceros anticorrosivos de alto contenido en cromo; los aceros de herramientas; las fundiciones, preferentemente finas, no porosas, también con o sin aditivo.

En cambio, puede producir inconvenientes cuando se deposita sobre aceros endurecidos superficialmente a la llama, o por corrientes inducidas de alta frecuencia. Existe el riesgo de que se adhiera mal a las fundiciones con excesivo contenido de carbono libre, sobre todo cuando éstas tienen zonas en las que existe una acumulación anormal de este metaloide. No se adhiere en absoluto a las que son porosas, así como a cualquier otro tipo de metales igualmente porosos, como los obtenidos por metalización.

b) Débil poder penetrante de los baños de cromado. El baño de cromado sólo tiene un débil poder de penetración. Es decir, sólo con dificultad puede llegar a cavidades, ángulos entrantes, huecos o rincones complicados o demasiado profundos, sobre todo sino tienen salida. La razón es que las líneas de corriente que actúan sobre la pieza base sirviendo de cátodo el metal antes de producirse el depósito, esquivan sistemáticamente los recovecos. El empleo de dispositivos de anodización apropiados en cada caso particular permite arreglárselas para obligar al cromo a depositarse en lugares en que no lo haría espontáneamente.

c) Aristas y puntas. Las aristas francamente vivas, y con mayor razón las puntas, no se amoldan en absoluto a la formación, tanto en sus proximidades como sobre ellas mismas de un revestimiento correcto en ningún aspecto. La adherencia es muy deficiente y la contextura se halla profundamente distorsionada. Estas puntas o aristas se erizan de proliferaciones y arborescencias sin consistencia, que se desprenden bajo el efecto de un simple golpe, debidas en este caso a la disposición de las líneas de corriente, atraídas rigurosamente por tales aristas o puntas, sobre las que se concentran de modo arbitrario.

Por lo tanto es preciso redondearlas al máximo radio de curvatura permitido por las exigencias impuestas a la pieza en cuestión.

d) Estado superficial requerido por las zonas a revestir. Un revestimiento correcto bajo todos los aspectos sólo puede realizarse sobre una superficie bien lisa, perfectamente sana y sin poros.

Si se realiza el depósito sobre una superficie un tanto rugosa, se eriza en arborescencias, granulaciones, que implican siempre una mala adherencia.

Las irregularidades y anomalías superficiales jamás son atenuadas por el revestimiento, que al contrario, las reproduce y amplifica, con tanta más fuerza cuanto mayor sea el espesor de la capa.

La porosidad del metal base provoca remolinos en el transcurso del ataque, antes de su paso por el baño de depósito.

Por otra parte, la penetración más o menos profunda de los líquidos de los baños de desengrasado, ataque y, en fin del cromado, que los lavados no consiguen siempre eliminar totalmente, son fuente de fenómenos perturbadores que provocan inconvenientes de diverso tipo y distinto orden de gravedad.

La heterogeneidad constitutiva del metal base repercute inexorablemente sobre el revestimiento. Por una parte, ejerce por sí misma una influencia nefasta sobre la contextura cristalina con respecto a cada componente y provoca grietas que van ampliándose sin cesar. Por otra parte, las irregularidades superficiales que originan durante el transcurso del ataque preparatorio, perturban el estado superficial conferido con anterioridad al mismo, con lo que aportan una nueva perturbación a la constitución del revestimiento. Todo ello se acentúa al aumentar el espesor del revestimiento.

e) Salubridad y estabilidad del metal base. Esta doble condición debe respetarse si se quiere estar al margen de cualquier deformación y asegurar la conservación de la contextura y características mecánicas de la pieza en cuestión.

La pieza base está sometida a tres pasos sucesivos de corriente. Sufre, en efecto las siguientes operaciones: desengrasado, generalmente en baño de sosa, bajo la acción de una corriente anódica, ataque, generalmente por ácido sulfúrico, igualmente bajo corriente anódica; y finalmente, deposición del cromo, durante un tiempo que puede ser muy largo, bajo corriente catódica de electrolisis a intensidad relativamente elevada. El paso de estas corrientes, sobre todo de la última, puede provocar en el metal que atraviesan dos tipos de fenómenos, si aquél se encuentra predispuesto a ellos.

Por una parte si el metal tiene propensión a enfermedades tales como segregaciones o precipitaciones internas, las corrientes que la atraviesan acentúan esta propensión. Aparecen entonces llagas, a veces profundas, que el revestimiento de cromo no consigue obstruir; al contrario, las acentúa. Con mayor razón, no debe de someterse al cromado un metal manifiestamente quebradizo. Si, finalmente, se originan precipitaciones, las características mecánicas del mencionado material sufren las consecuencias.

Por otra parte, el propio paso de la corriente puede liberar, si existen en la estructura interna del metal, tensiones residuales persistentes mal contenidas. Por consiguiente, el material en cuestión deberá experimentar un revenido adecuado a fin de conseguir la eliminación de tensiones y su estabilización antes de ser sometido al cromado.

Con respecto a las piezas que se desea recuperar por cromado, si se supone que los esfuerzos a que han estado sometidas han provocado la aparición de tales tensiones es prudente hacerlas sufrir un revenido de eliminación de tensiones y estabilización. Generalmente se le somete durante una o dos horas a un baño de aceite a 180-200°C.

f) Resistencia a la fatiga de las piezas cromadas. El cromado provoca en determinados aceros, una cierta modificación de la resistencia a la fatiga, aún más acusada si la pieza interesada trabaja a tensión alternativa. Son varios los factores que parecen intervenir: principalmente la fragilidad del cromo que recubre el núcleo de la pieza en cuestión, falta un tanto importante cuanto mayor sea el espesor del revestimiento; la presencia más o menos

abundante de hidrógeno incluido que puede afectar tanto al revestimiento como al material subyacente; la naturaleza del mencionado material recubierto, que puede predisponerle a una mayor o menor absorción de hidrogeno los aditivos que se le nayan podido agregar los tratamientos que haya podido sufrir, que también le predisponen en mayor o menor grado a la hidrogenación; su grado de estabilización. La resistencia a la fatiga es una función compleja de las variables ya mencionadas, se puede decir que en la mayoría de los casos en que se observa una disminución del coeficiente de resistencia a la fatiga, un tratamiento térmico en baño de aceite es el más eficaz antídoto, por lo menos en cierto grado, de las deficiencias que pudieran derivarse del cromado, ya que restituye al sistema en cuestión sus características iniciales.

g) Hidrogenación. Cuando se someten al cromado metales sometidos a un temple muy brusco, en particular cuando se trata de aceros no aleados, puede producir una absorción de hidrógeno más o menos importante, no solamente en el transcurso de la operaciones de desengrasado y ataque, realizadas ambas bajo corriente, sino también y sobre todo durante el depósito por electrólisis, que requiere un tiempo relativamente largo. Esta hidrogenación afecta más o menos profundamente a estos metales y la inclusión de este gas produce un acrecentamiento de la fragilidad.

Un calentamiento a 190-200°C durante una o dos horas, preferiblemente en baño de aceite, elimina casi por completo el riesgo de modificar peligrosamente la contextura de la pieza, con esto desaparece el incremento de fragilidad.

En ciertos casos es recomendable, por razones de prudencia, someter a esta operación de desgasificación a las piezas cromadas, en las cuales el temple ha sido muy brusco y que deben trabajar en condiciones especialmente duras, sobre todo cuando están sometidas a flexión alternativa y próximas al límite de seguridad. Es de particular importancia en las piezas en que la seguridad es factor esencial de su función.

Por el contrario, este tratamiento resulta totalmente inútil en las piezas empleadas corrientemente en la mecánica, que no están sometidas a tales restricciones y se hallan calculadas con amplitud bastante para que exista siempre un margen de seguridad suficiente.

5.3 APLICACIONES DEL CROMADO.

Ningún otro recubrimiento electrolítico en el transcurso de la historia electrometalúrgica encontró una aplicación tan amplia e inmediata como el recubrimiento con cromo.

Tres propiedades del depósito son las principales responsables de esta utilidad.

1. Su resistencia a la corrosión en la mayor parte de los ambientes corrosivos, con excepción de los vapores de ácido clorhídrico. Esto le confiere al punto un campo abierto a la aplicación.
2. Su alto grado de pulimentación, con la ventaja adicional del efecto decorativo.
3. Su extrema dureza; el cromo electrolítico es uno de los metales más duros hasta hoy producidos.

Toda clase de artículos metálicos de uso doméstico se someten, a este tratamiento incluyendo marcos y llaves de cañerías. Los grifos, por ejemplo, cuando son acabados, con gran brillo duran tiempo indefinido sin mostrar deterioro alguno.

Los artículos automovilísticos constituyen otro amplio campo de aplicación. El deslustre no se presenta nunca. Los depósitos de polvo y las salpicaduras son fácilmente eliminables frotando con cepillo blando. Los depósitos de cromo suministran, pues, no sólo una bella apariencia sino un servicio durable, razón por la cual se croman, en el automóvil, los paracoches, radiadores y faros.

Los moldes que se usan en la fabricación de objetos de goma, cuando se recubren con cromo electrolítico, son más duraderos, por resistir el ataque de los productos químicos utilizados en la vulcanización. Los moldes de acero utilizados en la producción en serie de botellas resisten más tiempo sin limpiar si se los croman previamente.

Las principales aplicaciones del cromado es en el recubrimiento de artículos de grifería, repuestos de automóviles y aparatos domésticos a los que se desea comunicar un acabado brillante de tipo permanente. En la escala de espesores en lo que se aplica (0.00025-0.0005mm) el cromado proporciona una protección muy escasa frente a la corrosión y, por consiguiente, se plarea siempre sobre una capa subyacente de níquel. Otro sector en el que el electrocromado se utiliza extensamente es en el acabado de planchas de imprenta, herramientas y elementos de máquinas susceptibles de desgaste y en los que se requiere un elevado grado de dureza. En estas aplicaciones industriales el cromo se suele depositar directamente en el metal base en espesores superiores a 0.025 mm.

La elevada reflectividad del cromo ha desembocado en el empleo del plaeado de cromo en los reflectores de los focos de las locomotoras y en otras aplicaciones similares. Aunque el poder de reflexión del cromo pulimentado es bastante inferior al de la plata la aptitud del cromo para no empañarse es lo que ha decidido su empleo en esta finalidad. La superficie del cromo no es tan brillante como la plata, pero su brillo es más permanente.

Los recubrimientos de cromo son resistentes al ataque del vapor, de los derivados del petróleo o de los productos de su combustión.

Los recubrimientos pesados de cromo encuentran cada vez mayor aplicación en aquellos casos en los que las propiedades de dureza, bajo coeficiente de frotamiento contra la mayor parte de los metales y características de resistencia al desgaste son imprescindibles. Además, los recubrimientos de cromo se aplican en espesores que normalmente exceden de 0.075 mm en aquellos casos en los que los metales así protegidos deben hacer frente a condiciones industriales corrosivas. La resistencia a la corrosión depende no solo de la velocidad y de otros factores de la deposición sino, también de la regularidad superficial del acero base sobre el que se deposita el recubrimiento.

Otras muchas posibilidades de aplicación pueden esperarse en este importante desarrollo de los recubrimientos electrolíticos, aplicados a una industria tan importante como la ingeniería mecánica.

Basta con estos ejemplos para mostrar el amplio campo de aplicaciones que en poco tiempo se ha encontrado al depósito de cromo. Este metal, indudablemente, ha hecho crecer con carácter desproporcionado la industria de los recubrimientos electrolíticos.

CONCLUSIONES

Los recubrimientos electrolíticos se aplican para prolongar la duración de los artículos, defendiéndolos contra las influencias corrosivas y el deterioro.

Los depósitos electrolíticos se utilizan principalmente para obtener superficies con propiedades que difieren de aquellas del metal de base sobre el que se aplican. Uno de los propósitos más importantes, es el de mejorar la apariencia y mantener particularmente durante un período de tiempo largo, un aspecto agradable y deseable, libre de manchas y de velo.

En la galvanoplastia comercial no es suficiente solamente cubrir el objeto completamente e inclusive con una uniformidad relativa ya que además es necesario producir depósitos de un metal dado que muestren propiedades tales como tersura, brillo, dureza, ductilidad, adherencia, etc., para que puedan llenar los diferentes cometidos a los que se les designa. El éxito en la aplicación de capas galvánicas depende ampliamente de la habilidad y experiencia del técnico para controlar el carácter de los depósitos, haciendo cambios adecuados en la composición de los baños o en las condiciones de operación.

No es suficiente, producir depósitos que tengan la apariencia y las propiedades deseadas, sino que también debe ser capaces de aplicar estos recubrimientos en tal forma que cubran completamente el artículo mediante la película metálica en tal forma que ésta sea casi completamente uniforme en espesor. Las necesidades económicas obligan a que este espesor sea el mínimo posible, y de que en el resto del metal de base, se deposite el menor número de cristales de depósito.

La consideración más importante, es el conocer la dirección que un efecto producido por una variación dada de los factores que intervienen, pueden producir en el desarrollo del proceso. La mayor parte de estos sentidos son bastante bien conocidos, aunque si bien es difícil predecir el cambio que ocurrirá cuando dos o más factores varían en forma simultánea.

El éxito del cromado no es atribuible a ninguna novedad en lo que respecta a la composición de la solución de plaeado, sino al descubrimiento de que pueden depositarse recubrimientos de cromo brillante a partir de baños de ácido crómico siempre que la densidad de corriente se mantenga dentro de unos límites relativamente estrechos, determinados no solo por la temperatura del baño, sino también, por la naturaleza del metal base.

El recubrimiento electrolítico de cromo ha sido el más utilizado en la industria de la galvanoplastia debido a sus principales características que son:

1. Su resistencia a la corrosión en la mayor parte de los ambientes corrosivos con excepción de los vapores de ácido clorhídrico
2. Su alto grado de pulimentación, con la ventaja adicional del efecto decorativo.
3. Su extremada dureza; el cromo electrolítico es uno de los metales más duros hasta hoy producidos.

En el cromado se ha generalizado la práctica de aplicar un recubrimiento subyacente (generalmente constituido por níquel) con fines exclusivamente protectores y depositar una capa fina de cromo sobre éste, para lograr el aspecto deseado, ya que en la escala de espesores el cromado proporciona una protección muy escasa frente a la corrosión y, por consiguiente, se plaquea siempre sobre una capa subyacente de níquel.

La resistencia a la corrosión depende no solo de la velocidad y de otros factores de la deposición sino, también de la regularidad superficial del acero base sobre el que se deposita el recubrimiento.

Los depósitos de cromo suministran, no sólo una bella apariencia sino un servicio durable.

El cromo se reconoce inmediatamente por su brillo azulado permanente, en contraste con el amarillento del níquel, que rápidamente se hace mate. La superficie del cromo no es tan brillante como la plata, pero su brillo es más permanente.

Este metal, indudablemente, ha hecho crecer con carácter desproporcionado la industria de los recubrimientos electrolíticos.

La información presentada es con el objeto de que se pueda tener una referencia amplia de la importancia del desarrollo de este proceso y sus variantes.

La información y datos han sido recopilados de diversas fuentes, estando dentro de un rango confiable. los datos son muy aproximados a los utilizados por diversas compañías. Todo parecido de los datos aquí proporcionados con algunos datos de algunas compañías, es mera coincidencia.

En el presente trabajo tratamos de presentar los aspectos más importantes en el desarrollo de un proceso de cromado de piezas.

Hacemos énfasis en cada parte del proceso, ya que queremos remarcar de que manera afectan el desarrollo eficiente de este proceso, las características y la forma de realizar cada paso de este proceso.

Esperamos este trabajo sea de gran utilidad en el desarrollo de este proceso, y permita apreciar los beneficios, características y extensas aplicaciones del cromado de piezas.

BIBLIOGRAFIA

- 1.- Ingeniería Electroquímica
Mantell, Charles Letman
Editorial Reverte
- 2.- Galvanotecnia y galvanoplastia
William Blum y George B. Hogaboom
Editorial C.E.C.S.A.
- 3.- Galvanotecnia Técnica y procedimientos
J. Glayman y G. Farkas
Editores Técnicos Asociados. S. A.
- 4.- Recubrimientos protectores de los metales
R. W. Burns y W. W. Bradley
Ediciones Interamericanas
- 5.- Recubrimientos Electrolíticos
Samuel Field y A. Dudrey Weill
Editorial Gustavo Gili, S. A.
- 6.- Galvanotecnia. Datos prácticos
Gianni Mastai
Ediciones Rede
- 7.- Análisis de baños electrolíticos
Kenneth E. LangFord
Aguilar, S. A. de ediciones
- 8.- Recubrimientos electrolíticos brillantes
Enrique Julve Salvadó
Ediciones Cedel
- 9.- Recubrimientos de los metales
Pere Molera Solá
Editorial Marcombo
- 10.- Manual de recubrimientos electrolíticos industriales
E. A. Ollard
Compañía editorial continental. S. A.
- 11.- Manual de los usuarios de revestimientos de cromo duro
Gillet, E.
Editorial Urmo