

Efecto del sistema de agitación sobre la codepositación de alúmina en recubrimientos de niquelado químico compuesto.

Francisco Prieto García
 Centro de Investigaciones Químicas
 Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo
 Carretera Pachuca-Tulancingo km 4.5, Pachuca de Soto, C.P. 42076, Hidalgo, México

Ana María Bolarín, Miró, Félix Sánchez de Jesús, María Aurora Méndez Marzo
 Centro de Investigaciones de Materiales y Metalurgia
 Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo
 Carretera Pachuca-Tulancingo km 4.5, Pachuca de Soto, C.P. 42076, Hidalgo, México
 (Recibido: 25 de noviembre de 2004; Aceptado: 24 de febrero de 2005)

Los recubrimientos de niquelado obtenidos con el sistema de suspensión de las partículas de Al_2O_3 mediante agitación mecánica, se presenta como el método que genera mejores resultados, ya que presenta mayor % en peso de partículas de alúmina. Para este sistema, el aumento de la velocidad de agitación produce un incremento en el número de partículas codepositadas además de una distribución más homogénea y mayor dureza en toda la superficie recubierta. El mejor recubrimiento se obtuvo para 10 g/l de concentración de alúmina y una velocidad de agitación de 1450 rpm. El sistema de suspensión con aire genera recubrimientos heterogéneos de la distribución de partículas, lo cual lleva a irregularidades en sus propiedades. Sin embargo, un incremento en el caudal de aire produce aumento en el número de partículas codepositadas, consecuentemente mayores microdurezas y mayores pesos de recubrimientos. El mejor caudal resultó ser de 76 ml/seg. El uso de un agente dispersante para la suspensión de partículas de alúmina es una buena opción debido a que los recubrimientos tienen distribuciones homogéneas de partículas. La mejor concentración de dispersante utilizada fue de 0.0875 g/l.

Palabras claves: Niquelado químico; Codepositación; Alúmina; Recubrimientos

Electroless Ni-P composite coatings were obtained using three different techniques, in order to keep suspended alumina (Al_2O_3) particles, into the electroless bath. A mechanic system result better than air system than dispersant agent. For each case, it was used different concentration of alumina particles. In mechanic system, increases in stirring rate increases the number of co-deposited particles and provides a better distribution on the coated surface, which implies high hardness. The best coating was obtained with 10 g/l of alumina at 1450 r.p.m. The air system provides heterogeneity in properties on the composite coating. Increases in air flow increases the number of co-deposited particles, the best conditions was 76 ml/s. The use of a dispersant agent is a good option in order to obtain a homogeneous particle dispersion. The best concentration was 0.0875 g/L.

Keywords: Electroless nickel plating; Co-deposition; Alumina; Ni-P composite coating

1. Introducción

El niquelado químico compuesto ha sido uno de los métodos más empleados en la protección de superficies metálicas. Este tipo de niquelado es un recubrimiento con adición de algún material sólido que se codeposita con el recubrimiento Ni-P y varía en función de las características que se deseen para el recubrimiento final [1]: resistencia a la corrosión, al desgaste, dureza, rugosidad, etc.

Las partículas sólidas que se codepositan, tienden a sedimentar por efectos de la gravedad; para evitar esto se utilizan métodos diversos como pueden ser; la agitación y suspensión de partículas por aire o ultrasonido y la circulación o reflujos del baño, entre otras.

Por otra parte, debido a la incorporación de partículas duras la rugosidad de las superficies se incrementa ya que debido a su tamaño sobresalen de la superficie. Por ello el acabado superficial del sustrato, el tamaño de las

partículas, su distribución, porcentaje en masa del depósito y espesor del recubrimiento, son variables que se deben controlar durante el proceso de codepositación.

En los niquelados químicos compuestos la resistencia al desgaste es un factor importante que depende a su vez de la dureza y tamaño de las partículas que se incorporan, de la matriz y fracción de la fase dispersada, la lubricación y el acabado superficial [2]. Por ejemplo a mayor tamaño de partícula codepositada, disminuye el desgaste de los recubrimientos.

Algunos recubrimientos de niquelado químico compuesto han sido reportados, por ejemplo; con teflón entre 20-25% en volumen [3], para piezas sometidas a altas fricciones por deslizamiento, con partículas ultra finas de diamante, que aportan una dureza excepcional al material, alta resistencia a; la abrasión, al impacto y al desgaste [4]. Otro tipo de recubrimiento de niquelado químico compuesto es con nitruro de boro, con estos se obtienen, sin reducir la dureza,

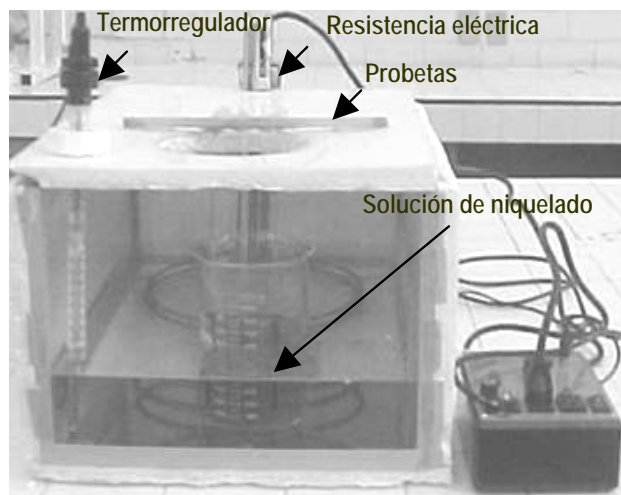


Figura 1. Baño utilizado para el niquelado químico compuesto.

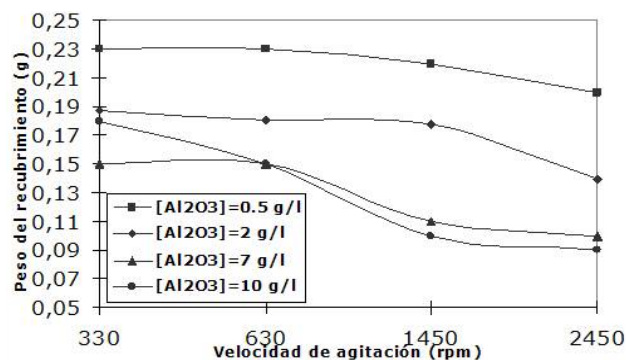


Figura 2. Efecto de la velocidad de agitación y concentración de alúmina en la solución sobre el peso del recubrimiento.

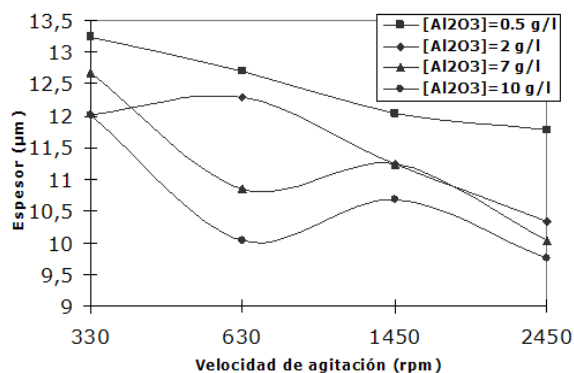


Figura 3. Efecto de la velocidad de agitación y concentración de alúmina en la solución en el espesor del recubrimiento.

bajos coeficientes de fricción, los contenidos de nitruro de boro varían entre 6 y 8 % en peso [5].

2. Detalles experimentales

2.1 Preparación de las probetas

Como sustrato se utilizaron probetas de acero de bajo carbono cortadas en dimensiones de 5 cm x 2 cm x 0.07 cm. El corte se realizó con una cortadora de precisión Buehler (modelo Isomet-2000), limados sus bordes, perforadas por uno de sus extremos y lavadas con acetona. Las muestras se electropulieron con solución de carbonato de sodio al 4.5 % m/m en una pulidora Buehler (Electromet.-4), durante 60 minutos a 0.8V, 5A y 25°C; posteriormente se sometieron a enjuague, lavado y secado y finalmente pesadas. Para los análisis químicos, las probetas se sometieron a un decapado en solución ácida de una mezcla de ácido clorhídrico concentrado (75 ml) y ácido sulfúrico concentrado (50 ml), aforados a 500ml. Proceso que se realizó introduciendo las probetas en la solución durante 5 minutos a temperatura ambiente.

2.2 Formulación de la solución de niquelado

Para la preparación de la solución se mezclan los reactivos en las siguientes proporciones: 600ml de agua desionizada, 30g de sulfato de níquel hexahidratado, 20g de hipofosfito de sodio monohidratado, 5g de ácido propiónico, 25g de ácido láctico, 30g de acetato de sodio y 4 mg/l de plomo en granalla. Todos los reactivos puros para análisis (ppa) y de la marca Sigma Aldrich.

La solución de niquelado se mantiene a un pH controlado de 4.6 conseguido con adición de una solución buffer de ácido acético-acetato de sodio; a este pH se logra una velocidad de deposición óptima [6]. Se adiciona polifosfato trisódico como agente dispersante para conseguir modificar la carga superficial de las partículas de alúmina a codepositar y evitar que sedimenten.

2.3 Partículas a codepositar

Se emplearon partículas de alfa alúmina (α -Al₂O₃, HC) de la marca Buehler con tamaño medio de 1 µm, con una dureza en la escala Mohs de 9 y con una densidad de partícula de 3.98 g/cm³.

2.4 Baño para el niquelado químico

En la figura 1 se muestra el sistema utilizado para desarrollar estos recubrimientos, cuyas partes son;

Celda para el baño de agua (transparente), resistencia eléctrica y termorregulador; la solución de niquelado contenida en un vaso de precipitado se coloca en el centro del baño en tanto la resistencia que calienta el baño de agua la rodea.

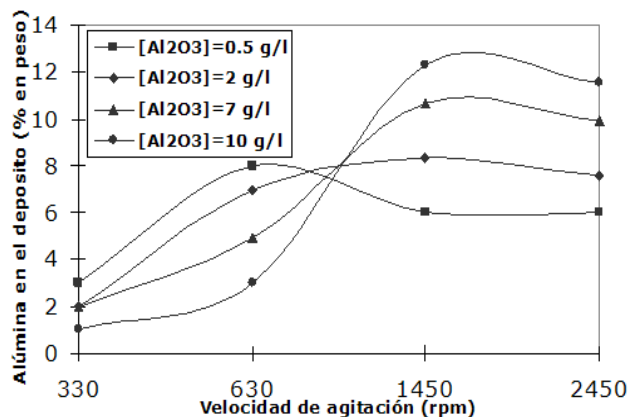


Figura 4. Efecto de la velocidad de agitación y concentración de alúmina en la solución en el porcentaje en peso de alúmina en el recubrimiento.

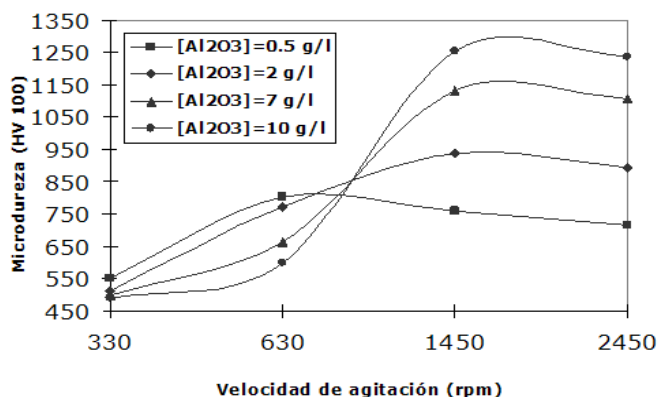


Figura 5. Efecto de la velocidad de agitación y concentración de alúmina en la solución en la microdureza del recubrimiento.

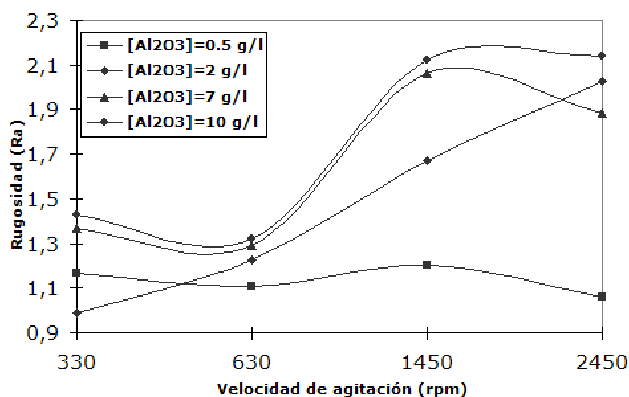


Figura 6. Rugosidad comparada con la velocidad de agitación.

2.5 Sistemas de agitación para la suspensión de alúmina

Se utilizaron tres sistemas para la agitación de la suspensión de alúmina: a) suspensión con agitación magnética utilizando un agitador magnético que se colocó en la parte inferior y exterior del baño de agua, b) suspensión con agitación por aire, mismo que fue introducido en el baño de niquelado mediante un conducto tubular de vidrio con perforaciones y conectado a una bomba de aire de peceras y c) suspensión con dispersante que fue obtenida por disolución del agente tensoactivo (polifosfato trisódico) en el baño de niquelado. En la Tabla 1, se muestran las condiciones experimentales para los ensayos en los tres sistemas; para cada ensayo se utilizaron tres probetas.

2.6 Caracterización de los recubrimientos

Para caracterizar los recubrimientos; se pesaron y de un corte transversal, montado en baquelita, se midió el espesor y la dureza; se utilizó un microdurómetro de marca Buehler (Ecomet-4A), a 200X de amplificación. La morfología se evaluó con un microscopio electrónico de barrido (MEB) (JEOL, JMS6300), con un dispositivo para microanálisis por espectroscopia de dispersión de energía (EDS, por sus siglas en inglés) y cámara fotográfica. La composición química se obtuvo por espectroscopia de emisión atómica con plasma acoplado inductivamente en un equipo Perkim Elmer (Óptima 3000X). La rugosidad se midió con un rugosímetro Mitutoyo (SJ-401). El parámetro empleado para definir la rugosidad de los recubrimientos es la rugosidad promedio (Ra), que estima el promedio de las alturas de picos y rallas del contorno superficial [2], expresado en μm , el valor se obtuvo para barridos de 1 cm.

3. Resultados y discusión

3.1 Sistema de suspensión por agitación magnética (mecánica)

Los substratos se cortaron de placas de acero fabricadas por laminación en frío, tienen dureza promedio de 70.6 HV y rugosidad de 1.9 Ra.

Los resultados graficados en la figura 2, corresponden a medias aritméticas del incremento de peso del recubrimiento como función de la velocidad de agitación y a diferentes concentraciones de Al₂O₃. Se observa que a mayores concentraciones de sólidos a codepositar, menor es el peso del recubrimiento. Así mismo, para velocidades mayores de 1450 rpm decae el peso de recubrimiento. Este comportamiento se debe a dos efectos; en el primero, el incremento en la velocidad de agitación lleva a una disminución del espesor del recubrimiento, lo cual genera una disminución en peso, porque es menor la cantidad de recubrimiento depositada. Y otro, es resultado de la presencia de mayor cantidad de partículas de alúmina que

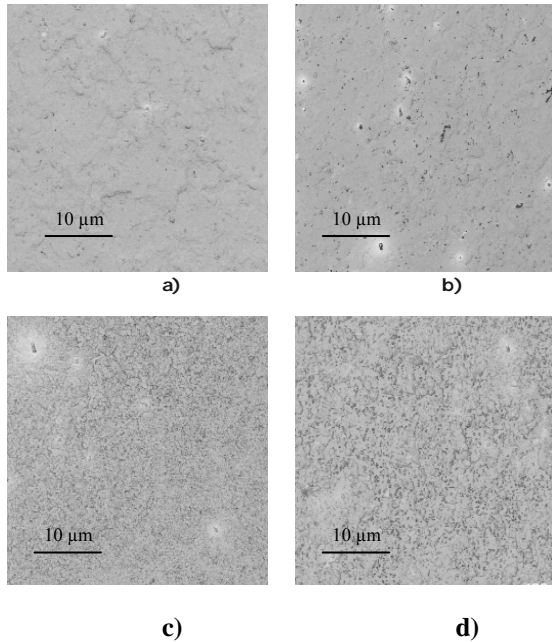


Figura 7. Morfologías de los recubrimientos obtenidos a diferentes velocidades de agitación mecánica para $[Al_2O_3]=7 \text{ g/l}$. a) $v=330 \text{ rpm}$, b) $v=630 \text{ rpm}$, c) $v=1450 \text{ rpm}$ y d) $v=2450 \text{ rpm}$, a 1000X.

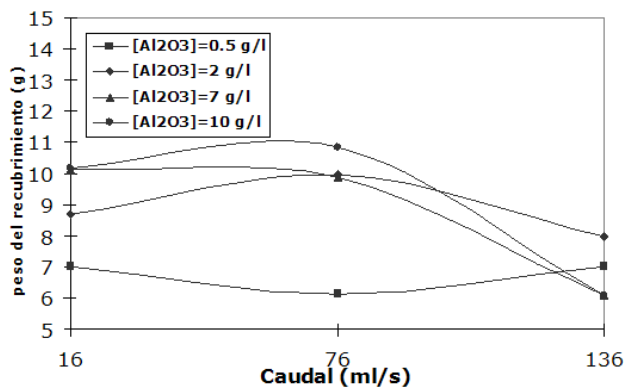


Figura 8. Efecto del caudal de aire y la concentración de alúmina en la solución en el peso del recubrimiento.

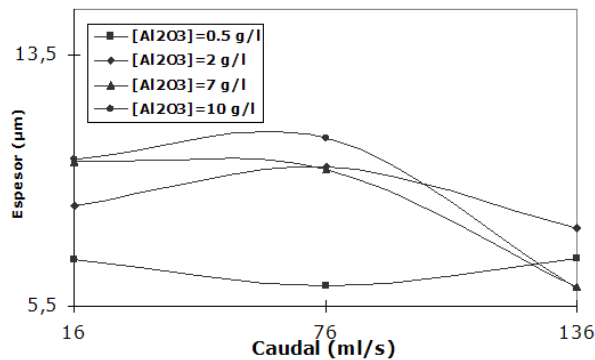


Figura 9. Efecto del caudal de aire y la concentración de alúmina en la solución en el espesor del recubrimiento.

provoca una disminución en el peso, independientemente del espesor del mismo, debido a la diferencia de densidad entre los dos materiales (las densidades del Al_2O_3 y el Ni-P es de 3.97 y 7.85 gr/l respectivamente). El incremento de alúmina disminuye el peso del recubrimiento. En la figura 3, se observa el comportamiento del espesor del recubrimiento con respecto de la variación de la velocidad de agitación para diferentes concentraciones de alúmina en la solución. Hay un comportamiento general relacionado con el obtenido en la gráfica de la figura 2; disminuye el espesor del recubrimiento con la velocidad de agitación. Si bien la disminución no es muy grande, ésta se produce independientemente de la concentración de alúmina en el baño. Resultado diferente al propuesto por otros autores [7], quienes sostienen que la velocidad de agitación del baño produce un incremento en la velocidad de convección y difusión del baño, que provoca a su vez un aumento en la reacción de los iones de níquel, una mayor movilidad de las partículas hacia la superficie de la pieza de trabajo y además se eliminan más fácilmente los productos de la reacción de reducción del níquel. Condiciones que - se dan en el caso de baños de Ni-P sin la adición de partículas duras. En recubrimientos compuestos, donde la presencia más numerosa de partículas al incrementar la velocidad de agitación mecánica, aumenta la capacidad del sistema para mantener las partículas en suspensión, dificulta el mecanismo químico de depositación, lo cual está en correspondencia con lo señalado por otros autores [7].

En la figura 4, se muestra el efecto de la velocidad de agitación y el porcentaje de la alúmina en el recubrimiento. En ésta se aprecia que para cualquier concentración de alúmina en la solución se incrementa el porcentaje en peso de partículas en el recubrimiento al aumentar la velocidad de agitación, hasta que alcanza un máximo, el cual es diferente para cada concentración (por ejemplo para la concentración de 0.5 g/l de Al_2O_3 en el baño, el valor máximo de alúmina en el recubrimiento se obtiene para velocidades de 600 rpm aproximadamente), y a partir de este instante la proporción de alúmina en el recubrimiento se mantiene constante o disminuye ligeramente.

El incremento en la proporción de alúmina en el recubrimiento se debe a que al aumentar la velocidad, el número de partículas que el sistema es capaz de suspender es mayor. El valor máximo para cada caso se relaciona a la diferente capacidad de cada solución para mantener en suspensión el máximo número de partículas. Así, la velocidad óptima de depositación está determinada por la cantidad de partículas adicionadas.

La ligera disminución a partir de este máximo se debe a la generación de mayor turbulencia por el incremento en la velocidad de agitación, que puede llegar a dificultar levemente la codepositación de partículas, debido a que ésta se produce mediante mecanismos puramente físicos.

En la figura 5 se muestra el efecto de la velocidad de agitación sobre la microdureza del recubrimiento a las diferentes concentraciones en la solución sobre la microdureza del recubrimiento. A velocidades muy bajas,

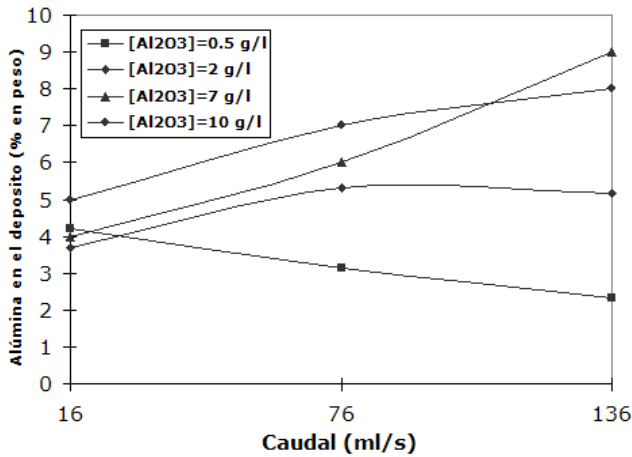


Figura 10. Efecto del caudal de aire y la concentración de alúmina en la solución en el porcentaje de alúmina en el recubrimiento.

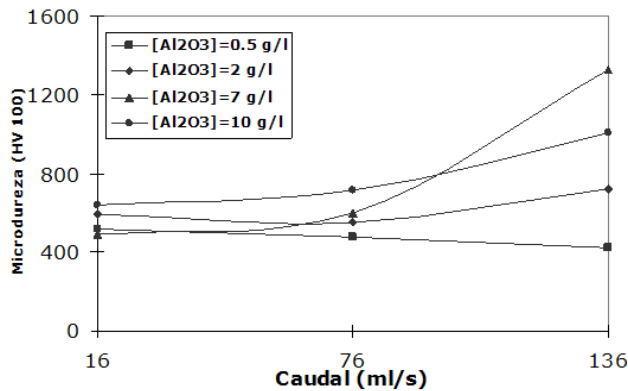


Figura 11. Efecto del caudal de aire y la concentración de alúmina en la solución en la microdureza del recubrimiento.

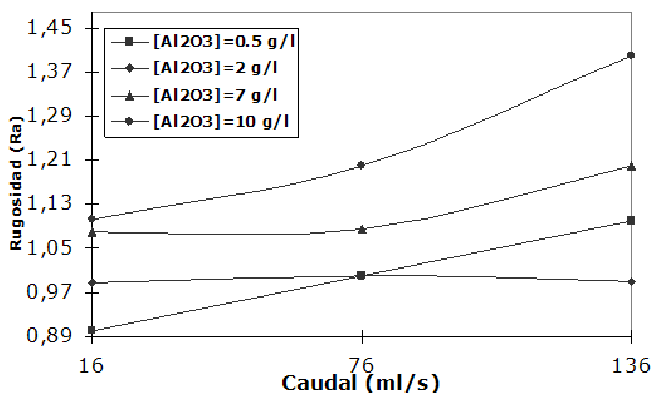


Figura 12. Efecto del caudal de aire y la concentración de alúmina en la solución en la rugosidad del recubrimiento.

las microdurezas obtenidas son de 500 a 600 HV₁₀₀₀, lo cual indica que esos recubrimientos son casi puros de Ni-P [8], mientras que al incrementar la proporción de alúmina, la dureza incrementa notablemente, debido a que este material posee una microdureza de 2100 HV₁₀₀₀.

En la figura 6, se muestra el efecto de la velocidad de agitación mecánica sobre la rugosidad del recubrimiento para las concentraciones de alúmina en la solución. Como se observa, la velocidad de agitación incrementa los valores de rugosidad para las concentraciones altas, hasta llegar a un punto donde la rugosidad comienza a decrecer. Para la concentración de partículas más baja, se observa que la rugosidad es inestable, pero es notable que tiende a disminuir cuando se aumenta la velocidad de agitación. Este comportamiento se atribuye a que a mayor presencia de alúmina en el recubrimiento la rugosidad tiende a aumentar. La rugosidad también depende de la forma de distribución de las de las partículas en el recubrimiento. Lo anterior es posible ya que en el depósito existe una cantidad mayor de alúmina; también podemos observar que como se va incrementado la velocidad de agitación la rugosidad comienza a decrecer esto refleja que existe un punto en el que el depósito de alúmina es máximo para cada concentración.

La figura 7 contiene micrografías obtenidas por MEB, en las cuales se observa el efecto de las diferentes velocidades de agitación sobre la morfología de los recubrimientos obtenidos con el sistema de suspensión mediante agitación mecánica. Como se puede observar, para cada una de las micrografías, existe diferente número de partículas, que se aprecia como mayor a mayores velocidades de agitación.

3.2 Sistema de suspensión por agitación con aire

En la figura 8, se muestra el efecto del caudal de aire para diferentes concentraciones de alúmina sobre el peso del recubrimiento depositado. Se observa que el incremento en el caudal de aire provoca una disminución del peso, lo cual se hace más evidente para concentraciones elevadas de alúmina en la solución. Este comportamiento se debe a que al incrementar el caudal de aire, aumenta el número de partículas en suspensión en el baño y consecuentemente, la probabilidad de que éstas se codepositen con el recubrimiento de Ni-P disminuye el peso del recubrimiento, debido a que la alúmina es menos densa que el Ni-P. Efecto mayor en el caso de las concentraciones más altas de partículas en solución, debido a que se incrementa el número de partículas en suspensión. En la figura 9, se presentan los resultados del efecto del caudal de aire sobre el espesor del recubrimiento para diferentes las concentraciones de alúmina en la solución. Se observa un incremento en el espesor cuando se aumenta la concentración de partículas, lo cual se asocia a una mayor cantidad de partículas codepositadas (mayor volumen). Por otro lado, para una misma concentración de partículas, se aprecia un ligero aumento en el espesor de los recubrimientos al incrementar el caudal de aire. Esto es

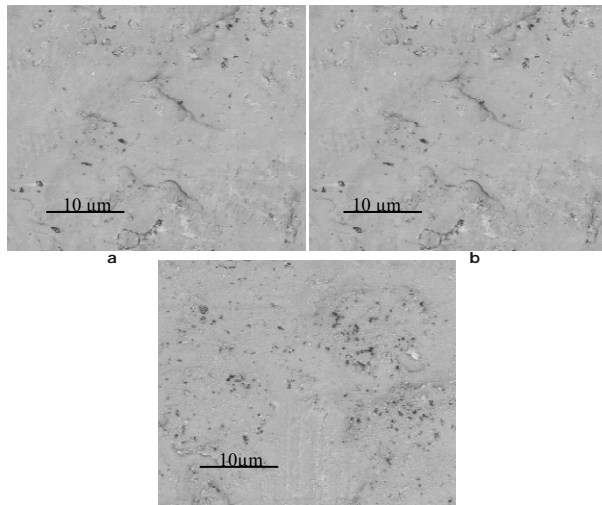
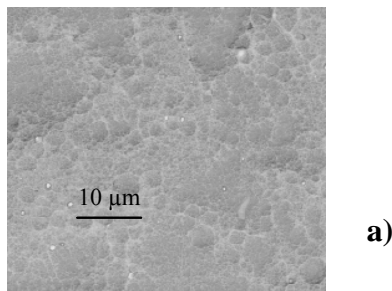
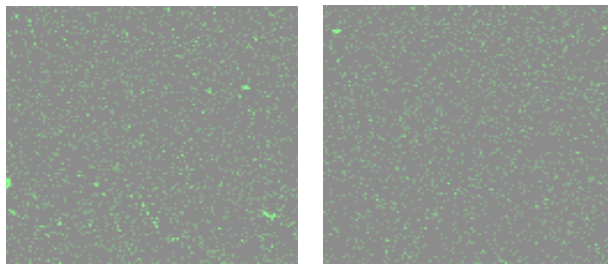


Figura 13. Morfologías a 1000X de los recubrimientos obtenidos a diferentes caudales de aire para $[Al_2O_3]=7$ g/l. a) 16 ml/seg, b) 76 ml/seg y c) 136 ml/seg.

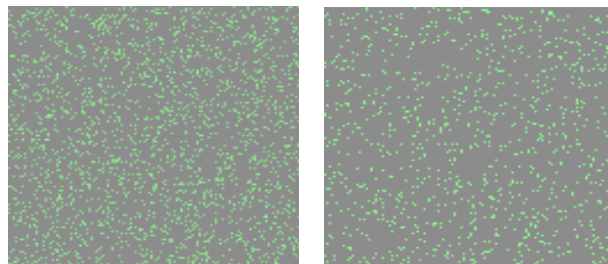


a)



b)

c)



d)

e)

Figura 14. a) Aspecto superficial del recubrimiento obtenido con el uso de dispersante $[(Na_3PO_4)_n]=0.08$ g/l. En escala X1000. b, c, d y e) Mapeo de aluminio de recubrimientos obtenidos con diferentes proporciones de agente dispersantes: b) 0.0435 g/l, c) 0.0875 g/l, d) 0.175 g/l y e) 0.525 g/l. En escala 1000X.

explicable ya que la agitación con aire genera un mayor efecto convectivo que mejora la transferencia de calor y a su vez facilita el fenómeno de difusión iónica en la superficie del material.

En la figura 10, se muestra el efecto del caudal de aire y la concentración de alúmina en la solución sobre el porcentaje de la alúmina en el recubrimiento. En el gráfico se puede apreciar que al incrementar el caudal de aire, se consiguen recubrimientos con un mayor número de partículas codepositadas a excepción del que se obtiene cuando la concentración de Al_2O_3 en la solución son bajas (0.5 g/l a 2 g/l).

Este incremento es consecuencia, para concentraciones más elevadas de alúmina en el baño, al incremento en la capacidad de suspensión al elevar el caudal de aire. Sin embargo, para la concentración más baja, se presenta una disminución del número de partículas codepositadas con el incremento del caudal, lo cual se puede aceptar considerando que este incremento de caudal genera turbulencia en la solución, ya que se ha sobrepasado el valor de caudal necesario para mantener en suspensión las partículas que contiene la solución, lo cual provoca un movimiento desordenado de las partículas suspendidas, dificultando de este modo el mecanismo de codepositación.

En la figura 11 se muestra como el incremento en el caudal mejora prácticamente para todos los casos la microdureza del recubrimiento. El comportamiento que se muestra en la figura del efecto del caudal de aire sobre la microdureza es una consecuencia directa de la presencia o no de partículas de alúmina en el recubrimiento, así, a mayor concentración de Al_2O_3 , será más duro el recubrimiento y viceversa.

En la figura 12 se observan las características obtenidas en rugosidad dependiendo del caudal de aire. La rugosidad está muy afectada por el número de partículas en el recubrimiento, siendo proporcionales estos dos parámetros, pero en general, no se observan cambios bruscos en la rugosidad con el caudal. La rugosidad es un parámetro que se relaciona también con el sistema de movimiento de la solución, los sistemas muy agresivos producirán recubrimientos menos uniformes. En la figura 13 se muestran las micrografías de algunos de los recubrimientos obtenido mediante el empleo de aire como sistema de suspensión de las partículas de alúmina en la solución.

Nuevamente las microestructuras apoyan los resultados, particularmente en este caso, se observa que a medida que incrementa el caudal de aire, incrementa la proporción de alúmina en el recubrimiento (zonas más oscuras de la micrografía). También de la observación se extrae que la morfología que presenta este tipo de recubrimientos es aparentemente discontinua, se llega a apreciar micro porosidad del recubrimiento y distribución heterogénea de las partículas.

3.3 Sistema de suspensión por adición de agente dispersante

Para esta parte del estudio, se seleccionó la composición de 7 g/l de alúmina en el baño, debido a que conociendo el comportamiento del agente dispersante para una concentración dada, se puede deducir el comportamiento a otras concentraciones. Se realizaron 5 ensayos modificando la concentración del dispersante: 0.04, 0.09, 0.17, 0.35 y 0.52 g/l, con la finalidad de encontrar la concentración óptima de dispersante para mantener la mayor cantidad de partículas de alúmina suspendidas en la solución.

Los resultados mostraron una disminución inicial del peso con el incremento de la concentración del dispersante, pasando por un valor mínimo, que corresponde a una concentración de dispersante de 0.08 g/l y luego incrementa nuevamente. Lo anterior se debe a variaciones

en el contenido de partículas del recubrimiento, las cuales poseen menor densidad y provocan una disminución del peso, por lo tanto, el mínimo tendrá que corresponder con el punto de mayor concentración de partículas de alúmina en el recubrimiento.

Con respecto a la variación del espesor con la concentración de dispersante, los resultados indicaron que no existe gran variación de este parámetro, obteniendo apenas una dispersión del espesor de $\pm 0.5 \mu\text{m}$, lo cual indica que el espesor no está siendo afectado por la concentración de dispersante o expresado de otro modo, la presencia del dispersante no afecta sobre el mecanismo de depositación de Ni-P.

El comportamiento del porcentaje en peso en el recubrimiento de la alúmina con respecto a la concentración de dispersante, mostró que a concentración de 0.0875 gr./l se encuentra el punto con mayor porcentaje

Tabla 1. Condiciones para los ensayos experimentales.

Referencia del baño	Tipo de agitación	Velocidad de la agitación	Concentración de Al_2O_3 en la solución (g/L)
1		330	
2		630	
3		1150	0.5
4		2450	
5		330	
6		630	
7		1150	2.0
8		2450	
9	MAGNÉTICA	330	
10		630	
11		1150	7.0
12		2450	
13		330	
14		630	
15		1150	10.0
16		2450	
17		16	
18		76	0.5
19		116	
20		16	
21		76	2.0
22		116	
23	AIRE	16	
24		76	7.0
25		116	
26		16	
27		76	10.0
28		116	
29		0.0435	
30		0.0875	
31	TENSOACTIVO	0.1750	7.0
32		0.3500	
33		0.5250	

de alúmina. Fuera de ese punto, el porcentaje de alúmina en el recubrimiento disminuye por ambos lados, especialmente a concentraciones inferiores de dispersante.

A valores máximos de espesores, no disminuye la cantidad de alúmina depositada dado que el dispersante es el valor óptimo que garantiza la mayor cantidad de alúmina, pero pueden estar presentándose dos efectos: un incremento en la cantidad de reactivos en solución y es posible que a elevadas concentraciones de dispersante, éste interactúe con los componentes de la solución; en ambos casos el resultado es de obstaculizar el mecanismo de deposición, y específicamente sobre la codepositación física de la alúmina.

Con el sistema de suspensión con agente dispersante, los mejores resultados de microdureza fueron para concentraciones de dispersante cercanas a 0.08 gr/l. Lo anterior está directamente relacionado con la presencia de alúmina en el recubrimiento. De manera análoga ocurre para la rugosidad, encontrándose el mejor resultado para esta misma concentración del dispersante.

En la figura 14, se muestra el aspecto superficial del recubrimiento a concentraciones del dispersante de 0.08 g/l y mapeos de aluminio. El aspecto morfológico que muestra el recubrimiento, es el típico de un recubrimiento de Ni-P obtenido sin la codepositación de partículas. Sin embargo, los mapeos revelan la cantidad de alúmina superficial en el recubrimiento (es diferente al total obtenido mediante análisis químico) obteniendo un mayor contenido de alúmina cuando se emplean concentraciones de dispersante de 0.0875 g/l (figura 14 d). Las micrografías no muestran grandes diferencias entre los recubrimientos, exceptuando aquel en que la proporción de dispersante es de 0.0435 g/l, en el cual el mapeo indica que es muy poca la alúmina superficial depositada.

De manera general, si se examinan todos los resultados experimentales, parece existir una relación entre la proporción de Al_2O_3 en el recubrimiento y la microdureza, lo cual se hace evidente al comparar las figuras que muestran estos dos resultados, independiente del sistema empleado para mantener en suspensión las partículas en la solución. A pesar de lo anterior, esta relación no es directamente proporcional, lo cual se debe posiblemente a que el valor de microdureza no sólo depende de la presencia de alúmina, sino que depende de sus características morfológicas y de la distribución de ésta en el recubrimiento.

Este mismo efecto se aprecia entre la proporción de Al_2O_3 en el recubrimiento y la rugosidad, siendo las mismas causas las que lo generan. Aunque en este caso, se ha de

incorporar el efecto del sistema de suspensión, que produce en cada caso un acabado superficial diferente, debido a que el mecanismo de reacción se ve ligeramente alterado.

4. Conclusiones

El sistema de suspensión de partículas de Al_2O_3 con agitación mecánica es el que presenta mayor % en peso de partículas de alúmina. El aumento de la velocidad produce un incremento en el número de partículas codepositadas además de una distribución homogénea, obteniendo una mayor dureza en toda la superficie recubierta y menor rugosidad. El mejor recubrimiento fue el de 10 g/l en la solución con una velocidad de agitación de 1450 rpm. El sistema de suspensión con aire produce recubrimientos más heterogéneos y presenta más irregularidades en sus propiedades físicas. Un incremento en el caudal de aire produce aumento en el número de partículas codepositadas, así como mayores microdurezas y menores pesos (por diferencia de densidades). El mejor recubrimiento fue a una concentración de 10 g/l a un caudal de 76 ml/seg. El uso de un agente dispersante para la suspensión de partículas de alúmina es una buena opción debido a que genera recubrimientos con distribuciones de partículas más homogéneas. El mejor resultado de concentraciones de dispersante utilizado fue de 0.0875 g/l.

Referencias

- [1] Adair, J. H.; Casey, J. A.; Randall, C. A. and Venigalla, S. Science. The American Ceramic Society, USA, **54**, 277 (1995).
- [2] ASM Handbook, **18**, 473 (1992).
- [3] <http://www.surfacetechnology.com/cdc.htm>.
- [4] <http://www.Microplating.com>.
- [5] Huang, G. S.; Tao, L.; Zhou, G. X.; Huang, L. Electroless nickel-phosphorus plating process, electroplating and finishing. SOLARBRITE Co. LTD., **20**, 15 (2001).
- [6] Monitor, S. M.; Saatch, V. *The effect of agitation on electroless nickel-phosphorus-molybdenum, Disulfide composite plating, Metal Finishing*. 104 (1997).
- [7] Montiel Cázares, I. Efecto del porcentaje de partículas de alúmina en la resistencia al desgaste de recubrimientos compuestos de niquelado químico. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo (2001).
- [8] Sánchez de Jesús, F.; Hernández Quintero, A. *Desarrollo de un recubrimiento químico con adición de partículas duras sobre aceros*. Tesis de Licenciatura. U.N.A.M. (1995).
- [9] Stallman K. *Galvanotechnology* (Prentice Hall, 1994).