

PONS, J.; C. LEYVA y B. NÚÑEZ: *Aplicación de dunitas en los procesos de fundición*, Informe Técnico, ISMM, Moa, 1995.

SALCINES C., M.: *Tecnología de fundición*, Ed. Pueblo y Educación, Ciudad de La Habana, 1985.

SEGURA SOTO, R.: *Introducción a la petrografía*, Ed. URMO, Bilbao, 1973.

TITOV, N y Y. STEPANOV: *Tecnología del proceso de fundición*, Ed. Mir, Moscú, 1981.

TORRES, T.: *Tecnología de los refractarios*, Ed. Ciencia y Educación, La Habana, 1971.

VLADIMIROVICH, O. y J. ARIOZA: *Búsqueda, exploración y evaluación geólogo-económica de yacimientos minerales sólidos*, ISMM, Moa, 1989.

**Nuestro
tesoro
natural**

**puede
llegar
a ti**

LIXIVIACIÓN ÁCIDA A PRESIÓN DE LOS MINERALES LIMONÍTICOS

Ing. María Dolores Heredia Kindelán

Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa

RESUMEN:

En este trabajo se caracteriza el proceso de lixiviación de minerales limoníticos a escala de laboratorio, y se determinan algunos parámetros para la lixiviación de la limonita en presencia de colas de serpentina. Se emplea un diseño experimental y métodos de investigación de la cinética de los procesos heterogéneos, obteniéndose las ecuaciones de regresión para la lixiviación del Ni, Co, Fe y Mg con ácido sulfúrico y la ecuación cinética de la lixiviación del Ni.

Desde la puesta en marcha de la fábrica «Comandante Pedro Soto Alba» en Moa, el níquel y el cobalto contenido en los minerales lateríticos se ha recuperado en forma de sulfuro, mediante la lixiviación ácida a presión, la cual garantiza una recuperación del 95 y 98 % del Ni y el Co respectivamente. Al mismo tiempo se pierden más de 200 toneladas de ácido sulfúrico diariamente. Esta tecnología no garantiza el tratamiento de los minerales oxidados de níquel con elevados contenidos de magnesio (más de 1 %) y otros consumidores de ácido sulfúrico, lo que trae como consecuencia una gran acumulación del mineral serpentinitico en el yacimiento Moa.

El mineral serpentinitico, además de ser perjudicial durante la lixiviación por el elevado consumo de reactivo que produce, es de difícil minado por encontrarse en capas más profundas. Se caracteriza por presentar contenidos altos de níquel (hasta un 3 %) y magnesio de un 15 a 16 %, siendo la ley de hierro menor que en la limonita.

Una parte del ácido sulfúrico que se pierde puede ser utilizado para recuperar determinadas cantidades de níquel y cobalto contenidas en el mineral serpentinitico, el cual se emplea en el tratamiento del licor de desecho con vista a disminuir la contaminación ambiental.

El objetivo que este trabajo persigue es dar un uso racional a los recursos minerales de la región, aumentando la eficiencia y productividad de las industrias del níquel.

Aspectos generales

El trabajo recoge parte del estudio de algunas propuestas de variantes al esquema tecnológico de la empresa «Pedro Soto Alba» (ver Figuras 1 y 2).

ABSTRACT:

The acid pressure leaching of limonite ores with serpentine tailings was investigated on a laboratory installation prepared for this purpose. Identification of several process parameters, such as: temperature, acid/ore ratio and feed rate of serpentine tailings feeding was carried out and methods of heterogeneous kinetic processes investigation were used to obtain the regression equations for sulphuric acid leaching of Ni, Co, Fe, Mg and the kinetic equation for the Ni leaching.

En las dos variantes propuestas en este trabajo uno de los objetivos que se persigue con el tratamiento hidrometalúrgico del mineral serpentinitico, previo a la lixiviación, es disminuir el contenido de magnesio. Para el caso de la primera variante se trata de disminuir el efecto nocivo del licor de desecho y recuperar algunos valores metálicos contenidos en el mismo. La segunda variante tiene como objetivo sustituir la pulpa coralina por mineral serpentinitico, el cual, además de ejercer un efecto neutralizante, aporta níquel y cobalto al proceso.

En específico, se estudia en ambas variantes el comportamiento y efecto de la cola de serpentina durante la lixiviación ácida a presión de la limonita, resultando necesaria la caracterización de la lixiviación ácida a presión de la limonita solamente.

Parte experimental

Se utilizó la instalación que se muestra en la Figura 3, en la misma se realizaron pruebas para analizar la influencia de la relación ácido-mineral, y pruebas para analizar la influencia de la temperatura en el proceso, empleando ácido sulfúrico al 98 % y mineral limonítico con la siguiente composición mineralógica (en %): Ni (1,35); Co (0,166); Fe (42,99); Mg (1,24); Mn (1,12) y Al (5,09).

Los experimentos se efectuaron hasta ocupar el 60 % del volumen del vaso de la autoclave, se muestreó cada 15 min, hasta alcanzar los 120 min para estudiar la cinética del proceso. Al mismo tiempo, se empleó un diseño experimental 2

Las pruebas para analizar la influencia de la relación ácido-mineral se realizaron a 250 °C y la relación se varió entre 0,2-0,28. La composición química del licor, de la colas y la extracción de cada elemento en el proceso, se ofrecen en la Tabla 1.

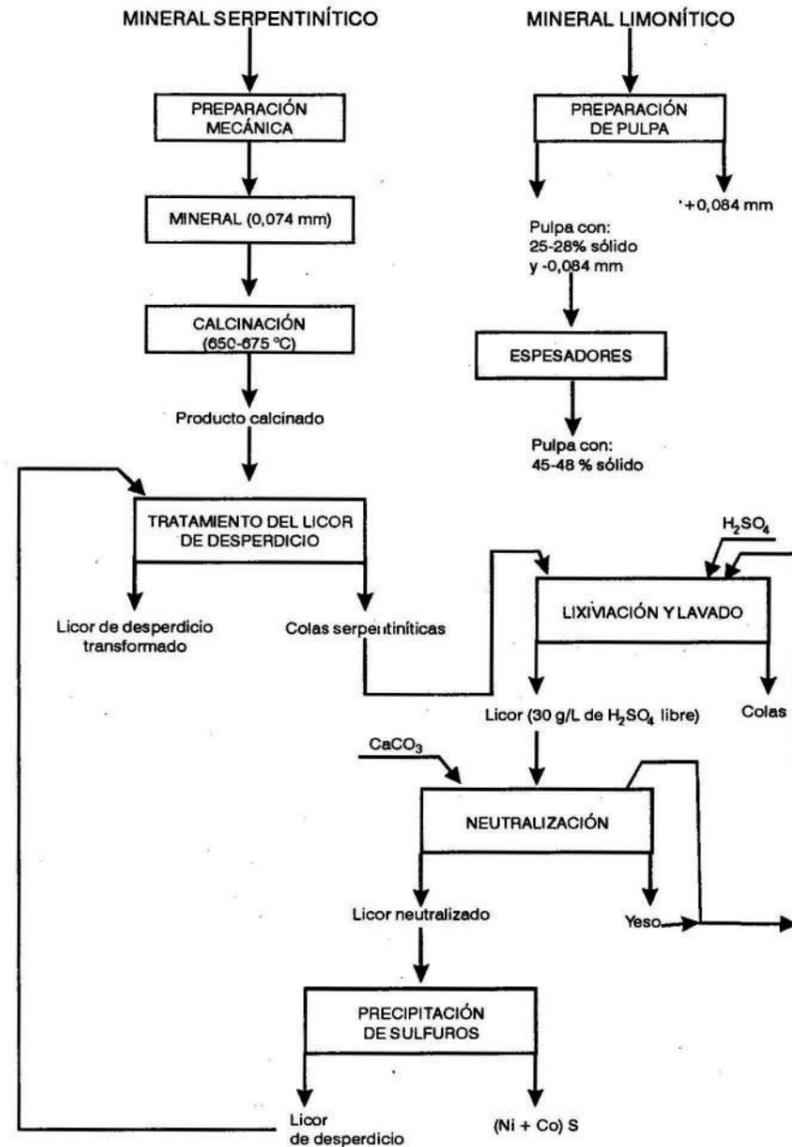


FIGURA 1. Variante del esquema tecnológico del proceso de la empresa «Pedro Soto Alba».

TABLA 1. Resultados de la prueba de lixiviación a los 120 min para diferentes relaciones ácido-mineral y T=250 °C

Relación ácido-mineral	Composición del licor (g/L)					Composición del sólido (%)					Extracción (%)				
	0,2	0,22	0,24	0,26	0,28	0,2	0,22	0,24	0,26	0,28	0,2	0,22	0,24	0,26	0,28
Elemento															
Ni	5,54	5,18	5,89	7,81	7,02	0,29	0,20	0,17	0,09	0,05	78,68	85,85	87,89	94,22	96,42
Co	0,71	0,70	0,80	0,831	0,75	0,055	0,018	0,016	0,010	0,009	82,62	89,64	90,72	93,98	97,76
Fe	0,30	0,78	1,04	0,978	1,00	43,2	44,9	44,6	43,8	44,4	0,16	0,38	0,50	0,31	0,48
Mg	1,92	1,70	2,08	1,76	2,21	0,035	0,053	0,62	0,048	0,60	92,36	88,67	86,89	89,66	87,25
Al	2,14	3,03	2,65	2,95	3,90	4,64	4,68	4,71	4,52	4,58	9,47	12,15	10,99	13,02	13,06
Cr	3,52	0,53	0,60	0,36	0,56	1,90	1,94	1,90	1,91	1,90	3,24	4,94	6,28	4,06	5,85
Mn	1,53	2,38	3,04	2,12	2,99	0,649	0,57	0,54	0,52	0,41	42,46	51,37	53,62	54,53	64,63
Ácido libre (g/L)	15,19	18,00	20,60	18,96	27,51	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

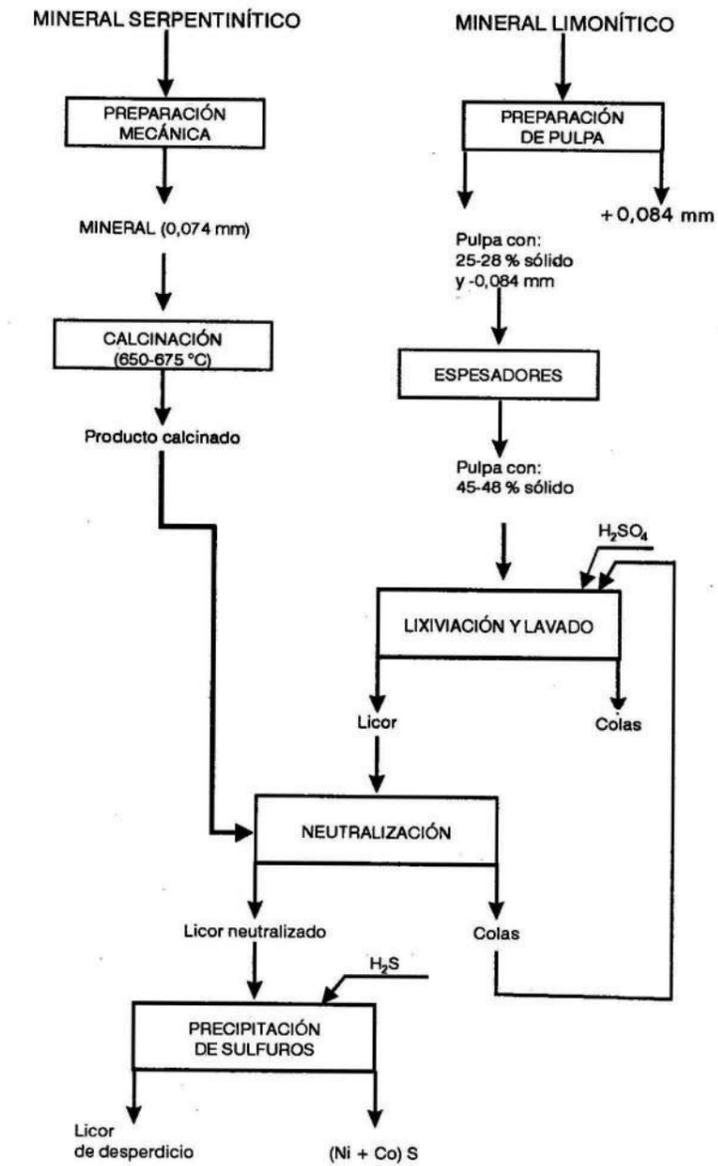


FIGURA 2. Variante del esquema tecnológico del proceso.

El análisis de la influencia de la temperatura se efectuó con una relación ácido-mineral de 0,28 (mejor valor resultante) variando la temperatura en el rango de 150-260 °C (ver Tabla 2).

De los resultados se observó que el mejor valor obtenido de la relación ácido-mineral difería mucho del valor empleado a escala industrial, por lo que se repitieron las pruebas con el mejor valor de temperatura pero realizando una separación rápida de las fases y trabajando con dos valores de relación ácido-mineral 0,26 y 0,28 (ver Tabla 3).

Al comparar los resultados de las Tablas 1 y 3 se observa cómo, al separar las muestras con filtración rápida, queda demostrado que empleando durante la lixiviación una relación ácido-mineral igual a 0,26, se alcanzan índices de extracción por encima de los que se obtienen a escala industrial, por lo que resulta innecesario

utilizar en las pruebas siguientes valores por encima de 0,26, ya que implicaría un gasto mayor de ácido sulfúrico y un mayor grado de lixiviación de otros elementos además del níquel y el cobalto.

Análisis de los resultados

Según el diseño experimental (ver Tabla 4) fueron halladas las ecuaciones de regresión que caracterizan al proceso de lixiviación del Ni, Co, Fe y Mg con ácido sulfúrico al 98 %.

Para el Ni



Ecuación de regresión:

$$Y_{Ni} = 52,287 + 6,9375 X_1 + 35,43 X_2 + 2,1075 X_1 \cdot X_2 \quad (2)$$

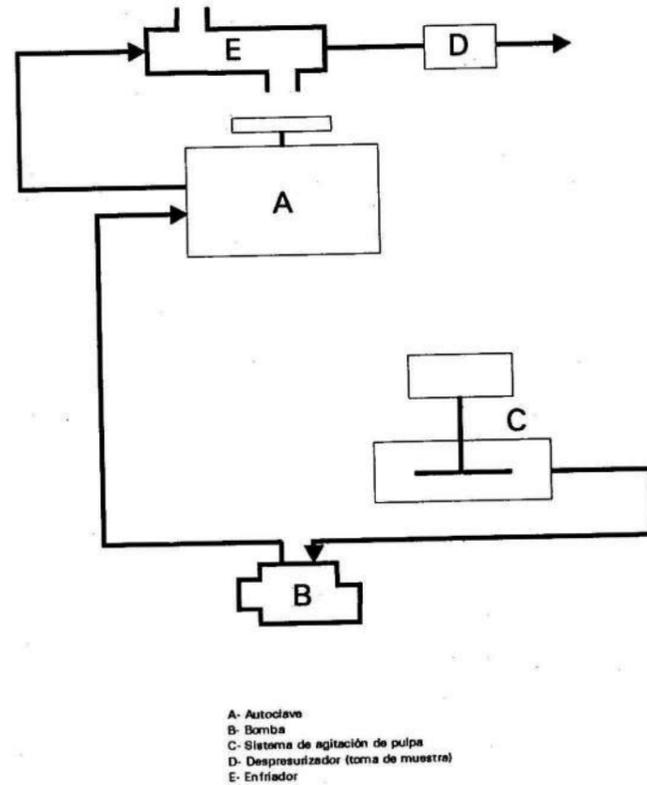


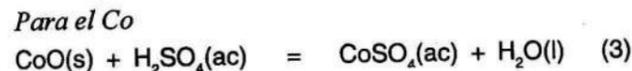
FIGURA 3. Esquema de la instalación experimental.

TABLA 2. Resultados de la prueba de lixiviación a los 120 min para diferentes valores de temperatura. Relación ácido-mineral = 0,26

Temperatura	Composición del licor (g/L)						Composición del sólido (%)						Extracción (%)					
	150	175	200	225	250	260	150	175	200	225	250	260	150	175	200	225	250	260
Elemento																		
Ni	1,52	2,42	3,311	5,99	7,47	6,96	1,175	1,13	0,97	0,38	0,04	0,023	21,68	28,66	29,78	70,3	97,16	98,75
Co	0,233	0,382	0,491	0,694	0,795	0,69	0,142	0,104	0,078	0,018	0,01	0,011	23,03	46,6	54,08	88,02	94,2	93,97
Fe	5,94	4,31	2,59	0,89	0,5	6,37	46,2	49,2	43,9	44	44,8	47,2	3,1	2,25	1,35	0,58	0,26	3,32
Mg	1,81	2,15	1,66	1,99	1,8	2,837	0,069	0,043	0,068	0,038	0,057	0,017	85,79	91,75	85,39	87,21	88	96,6
Mn	1,3	3,29	3,98	3,24	2,87	2,64	0,811	0,62	0,561	0,273	0,55	0,63	34,85	52,82	51,05	58,04	52,97	48,97
Al	11,5	14,9	2,35	-	-	-	3,4	2,34	-	-	-	-	39,89	60,82	-	-	-	-
Cr	0,55	-	-	-	-	-	1,93	1,73	-	-	-	-	10,94	24,38	-	-	-	-
Ácido libre (g/L)	36,2	19,73	27,66	36,4	28,12	33,42	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

TABLA 3. Influencia de la relación ácido-mineral con separación rápida de las fases. Extracción de los metales (%)

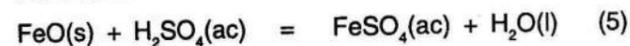
Relación ácido-mineral	Ni	Co	Fe	Mg	Mn
0,26	99,24	96,63	1,29	86,29	62,61
0,28	96,17	96,85	1,41	92,92	82,13



Ecuación de regresión:

$$Y_{Co} = 55,0174 + 4,86 X_1 + 34,6575 X_2 + 2,2525 X_1 \cdot X_2$$
 (4)

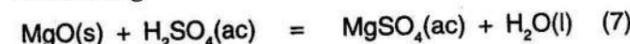
Para el Fe



Ecuación de regresión:

$$Y_{Fe} = 1,69 + 0,565 X_1 - 0,905 X_2 + 0,0144$$
 (6)

Para el Mg



Ecuación de regresión:

$$Y_{Mg} = 82,2775 + 7,0775 X_1 + 10,3625 X_2 + 6,7975 X_1 \cdot X_2$$
 (8)

X_1 : parámetro independiente relación ácido-mineral;
 X_2 : parámetro independiente temperatura (°C);
 Y_{Me} : parámetro dependiente, extracción de metal en la solución acuosa.

De las ecuaciones de regresión se observa que la temperatura es el factor que tiene mayor influencia. Es notable, cómo en el caso del hierro esta influencia es negativa. Para el níquel y el cobalto una variación de la temperatura ejerce mayor influencia en la extracción que para el resto de los elementos analizados en los rangos de trabajo evaluados.

En el análisis de extracción durante la lixiviación a temperatura 250 °C y relación ácido-mineral de 0,26 pudo observarse que a los 90 minutos se alcanzan valores de extracción de Ni y Co mayores de 94 % y muy próximos a los obtenidos a los 120 minutos, lo que indica que a ese tiempo una elevada cantidad de estos metales había logrado pasar al licor. También al mismo tiempo pudo observarse que dentro de la autoclave, al cabo de los 90 minutos, existe una concentración de ácido considerable (aproximadamente 30 g/L).

Con respecto al estudio cinético de la lixiviación del níquel a partir de la limonita en las condiciones señaladas, se determinaron los principales parámetros cinéticos que caracterizan al proceso: energía de activación aparente y orden de reacción respecto al ácido sulfúrico. Estos parámetros se calcularon con el auxilio de las Tablas 2 y 1, con las mismas se obtuvieron las curvas de las Figuras 4 y 5 respectivamente. Se partió, para hacer las curvas, de la expresión de la ley de la velocidad de la reacción de lixiviación del níquel.

TABLA 4. Diseño experimental

No. de corrida	Relación ácido-mineral	T (°C)	£Ni	£Co	£Fe	£Mg
1	0,20	150	12,02	17,81	2,09	58,04
2	0,28	150	21,68	23,03	3,10	85,79
3	0,20	250	78,67	82,62	0,16	92,36
4	0,28	250	96,77	96,85	1,41	92,92

CONCLUSIONES

1. Durante la lixiviación de los minerales limoníticos con ácido sulfúrico al 98 % en autoclaves a elevada presión, y el rango de temperatura de 150 a 250 °C en el interior de la autoclave, una vez alcanzados los 90 y 120 minutos, existe una elevada concentración de ácido sulfúrico libre.
2. Para todos los casos analizados, una vez transcurridos los 90 minutos de iniciado el proceso, se obtienen valores de extracción de Ni y Co elevados y muy próximos a los alcanzados a los 120 minutos.

$$V_{Ni} = k C_{ac}^n e^{-E/RT}$$
 (9)

Esta expresión se transformó de la siguiente forma para obtener el gráfico de la Figura 4.

$$E = \frac{\Delta \lg V_{Ni} \cdot 2,3R}{1/\Delta T}$$
 (10)

Al relacionar la expresión (10) con la Figura 4 se observa que:

$$E = \Delta \lg V_{Ni} / 1/\Delta T \cdot 2,3R = 2,3Rtg \phi$$
 (11)

donde:

- E: energía de activación (J/mol);
- T: temperatura del proceso (°K);
- R: constante de los gases ideales (J/mol K).

De igual forma se trabajó con la expresión (9) y el gráfico de la Figura 5 para obtener el orden de la reacción (n) respecto al ácido sulfúrico, obteniéndose la expresión (12).

$$n = \Delta \lg V_{Ni} / \Delta \lg C_{ac} = tg \phi$$

donde:

C_{ac} : es la concentración del ácido sulfúrico.

Por el gráfico de la Figura 4 y la expresión (11), para el proceso de lixiviación del Ni efectuado en un rango de temperatura de 150 a 200 °C, la energía de activación aparente de 11,47 kcal/mol (47,96 kJ/mol) y para el efectuado en el rango de la temperatura de 225 a 260 °C la energía de activación fue de 3,71 kcal/mol (15,51 kJ/mol)

Por la expresión 12 y el gráfico de la Figura 5 para la lixiviación del níquel en un rango de relación ácido-mineral de 0,23-0,28 se obtuvo n = 0,087.

relación ácido-mineral de 0,26 y en un rango de temperatura de 150 a 200 °C, el mismo está limitado por la reacción química, es decir, ocurre en el régimen

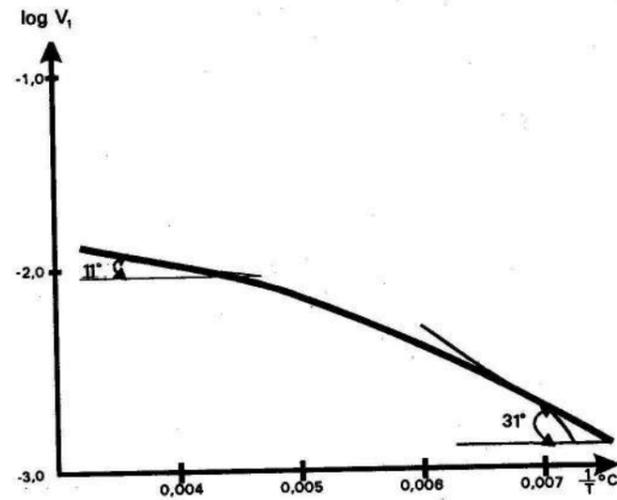


FIGURA 4. Dependencia del logaritmo de la velocidad de la temperatura.

BIBLIOGRAFÍA

- GRANDA IBARRA, O. y E. ALFONSO: *Procedimientos para mejorar la recuperación de los valores metálicos de los minerales de serpentina*, CIPIMM, RT-34024.
- GRANDA IBARRA, O.: *Tratamiento de minerales serpentiniticos para disminuir su contenido de magnesio*, CIPIMM, RT-286.
- HEREDIA KINDELÁN, M. D. y J. SINCHOGWA: *Consideraciones de la lixiviación ácida de la limonita con colas de serpentina*, Trabajo de diploma, ISMM, Moa, 1990.

cinético. Cuando el rango de temperatura oscila entre los 225-250 °C, el proceso está limitado por la difusión de los reactivos disueltos en el licor.

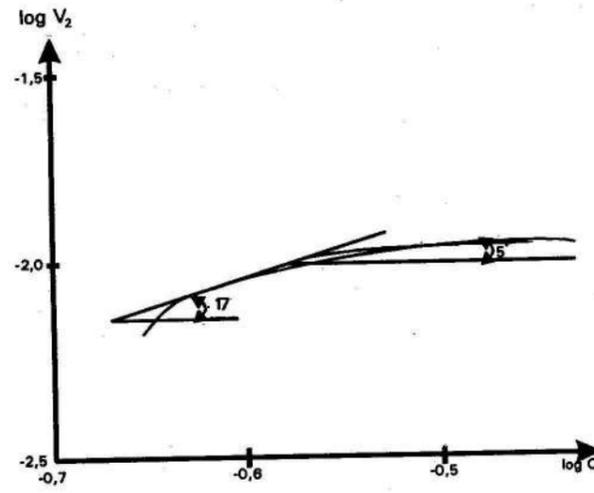


FIGURA 5. Dependencia del logaritmo de la velocidad de la concentración.

HEREDIA KINDELÁN, M. D.; G. SANTIAGO ALFONSO y V. ZALDÍVAR: *Tecnología para la utilización de la serpentina en el proceso ácido de la empresa «Pedro Soto Alba»*, Informe Técnico, CIL, 1991.

ZELIKMAN, A.M.; G.M. VOLDMAN y BELIAEVSKAYA: *Teoría de los procesos hidrometalúrgicos*, Vneshtorgizdat, Moscú, 1992.

SOLDADURA DE TUBOS DE ACERO INOXIDABLE CON EL USO DE EXPLOSIVOS

Ing. Miguel Ángel Caraballo Núñez

Departamento de Mecánica. Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa

RESUMEN:

El trabajo aborda el problema de la soldabilidad de los tubos de acero inoxidable austenítico al cromo níquel, de 326 mm de diámetro y 7,5 mm de espesor, utilizados en la línea de licor de lixiviación de la empresa Moa Nickel S.A. «Pedro Soto Alba». Se plantea el uso de explosivos para lograr la unión metalúrgica de tramos de tubos con cargas de alta velocidad, garantizando la ausencia de corrosión intercrystalina que caracteriza a este tipo de acero cuando se emplean los procedimientos comunes de soldadura.

ABSTRACT:

This work describes the solution of the weldability problem of stainless steel austenitic pipes chromium-nickel type, with 326 mm of diameter and 7,5 mm of thickness, used in the liquor line of lixiviation in the Moa Nickel S.A. «Pedro Soto Alba» Company. It is established the use of explosive to obtain the metallurgical union of pipes stretches with high speed explosive charges and warrant the absence of the intercrystalline corrosion phenomenon that appears in this material when traditional fusion welding method is used.

El garantizar la unión metalúrgica de tramos de tubos de acero inoxidable austenítico al cromo níquel 316 L, en condiciones competitivas desde el punto de vista económico, sin que se vean afectadas las propiedades físico-mecánicas y la composición química de estos aceros, representa en la actualidad un reto tecnológico y una necesidad de la industria cubana del níquel.

Los tubos de acero inoxidable austenítico, utilizados por la Compañía Moa Níquel S.A. «Pedro Soto Alba» en la línea de licor de lixiviación, se encuentran expuestos a la acción de una pulpa ácida (pH aproximado de 2,6) rica en sulfato de níquel y cobalto, que se caracteriza, entre otras cosas, por acelerar el proceso de corrosión del metal utilizado en las tuberías para su trasiego.

Al emplear los métodos clásicos de soldadura en los materiales referidos, se observan problemas de soldabilidad que limitan la vida útil de las instalaciones, entre estos sobresalen los siguientes:

1. Tendencia al agrietamiento en la zona de influencia térmica atribuida a la formación de una película de silicato alrededor de los granos de austenita.
2. Formación de una fase intermetálica sigma, que ocasiona la fragilidad de los aceros con concentraciones elevadas de cromo.
3. Precipitación de carburos de cromo lo cual ocasiona la corrosión intercrystalina.

Este último aspecto, de mucha importancia en las condiciones de referencia, se fundamenta en el criterio de que la velocidad de formación de los carburos, que es pequeña a baja temperatura, crece en el rango entre 600 y 800 °C. Debemos recordar que para lograr la fusión en

estos aceros se requiere sobrepasar este intervalo y alcanzar una temperatura de 1 400 a 1 430 °C, y que además su conductividad térmica es aproximadamente un 40-50 % menor que la de los aceros al carbono, por lo que retienen el calor durante un período mayor. El carburo formado en la zona de influencia térmica, absorbe el cromo en las proximidades del borde del grano austenítico, formando un carburo rico en cromo y ocasionando una decromización local adyacente a estos carburos. Cuando el contenido de cromo disminuye a valores inferiores al 12 % (límite de inoxidable), esta zona pobre en cromo es propensa a la corrosión.

Aquí se exponen los resultados de un reciente estudio que ha permitido adaptar a nuestras condiciones las experiencias de investigadores canadienses, durante la década del 80, en tuberías de diámetros intermedios (Batham, Loyer y Dorling; 1987), y que ha posibilitado evitar el fenómeno de la corrosión intercrystalina al utilizar explosivos para lograr la soldadura.

Conformación con explosivos, previo al proceso de soldadura

Antes de acometer el proceso de soldadura se requiere conformar el extremo de uno de los tubos a soldar, de manera tal que el expansionado que se produzca permita que el extremo cilíndrico del otro tubo a soldar penetre en el primero la longitud requerida según la geometría del paquete explosivo para la soldadura.

La operación de conformar el extremo del tubo se realiza utilizando explosivos y una matriz diseñada al efecto (Figura 1).



visítenos

