

ONDA A COLOR

La Calculadora del color ONDA, está orientada a las aplicaciones físicas y geológicas.

Aplicación

- Cómputo de las longitudes de onda pureza del color y capacidad de reflejo, conocidas sus coordenadas.
- Confección del gráfico Internacional del color (pantalla papel)

Facilidades

- Interacción directa con el gráfico (usuarios VSA)
- Cálculo de la longitud de onda del color conocidas sus coordenadas
- Cálculo de la pureza del color
- Cálculo de la capacidad de reflejo

Se puede utilizar para:

- Piedras preciosas y semipreciosas
- Metales
- Líquidos coloreados
- Minerales y rocas
- Y en tantos objetos como malcos existen después de analizados con el espectrofotómetro de luz visible

Especificaciones Técnicas

Nombre: ONDA

Versión: 3.0

Sistemas operativos: PC-DOS (MS-DOS) 3.30 o posterior

Sistema de cómputo: IBM PC, XT, AT

Memoria RAM: 512 KB o ms

Monitor: CGA, VGA, EGA (VGA es el óptimo)

Moose: Compatible Microsoft



¡Contáctenos!

Instituto Superior Minero Metalúrgico (ISMM)
Las Coloradas, Moa
Holguín, Cuba
CP. 83320
© Copyright 1991, 1992. Todos los derechos reservados

CALCULO DE LAS TENSIONES RESIDUALES PROVOCADAS EN LA SOLDADURA POR EXPLOSION EN EL TITANIO CON EL ACERO 20K

Ing. Benito Casals García
Ing. José Montero O'Farril

Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa

RESUMEN: Se estudia matemáticamente la variación del valor de las tensiones residuales que aparecen en la intercarra de dos planchas soldadas por explosión, una de acero 20K y la otra de titanio técnico. El procedimiento está basado en el desbaste sucesivo del espesor del acero 20K que está comprimido por el titanio en probetas paralelepípedas. Los valores de tensiones son muy altos, llegando a ser próximos a los límites de fluencia para cada material. Se analiza cómo varía este valor de tensiones con la relación de espesores de las planchas antes de soldar. Se considera la magnitud y distribución de las tensiones internas longitudinales, creadas por los distintos factores de explosión. Para un trabajo posterior de deformación en frío, es imprescindible un alivio de tensiones.

ABSTRACT: Mathematically studied is the variation of the value of the residual stresses that appear between the faces of two metal plates being welded by explosion, one of steel 20K and the other of technical titanium. The procedure is based on the successive hewing of the thickness of steel 20K which is compressed by titanium in pipettes parallelepiped. The values of stresses are high, reaching next to the creep limits for every material. Analyzed is, how varies this value of stress with the relation to the thickness of the metal plates before welding. Considered is, the magnitud and distribution of the longitudinal internal stresses, created by different factors of explosion. For the posterior work of deformation in cold, the relief of the stresses is indispensable.

INTRODUCCION

El problema del cálculo de las tensiones residuales que aparecen en un metal deformado por cualquier procedimiento ha sido estudiado por numerosos investigadores, más en metales simples y menos en metales compuestos (bimetales). Los bimetales hechos por medio de una explosión requieren de una atención especial para futuros trabajos de fabricación de piezas y equipos. Si a la hora de realizar un nuevo proceso de deformación plástica no ha sido dado un tratamiento para un alivio de tensiones, los resultados pueden ser catastróficos. El hecho de la aparición de las tensiones residuales en las intercaras de dos metales plaqueados con la energía de una explosión está atribuido a las deformaciones en forma de olas que sufren ambos metales producto del gran choque mecánico entre ambas planchas, así como el calor que es generado por éste y la temperatura que es transmitida a éstas en las inmediaciones de la explosión. También se puede asegurar que, aunque la velocidad de enfriamiento es muy alta, la diferencia del coeficiente de dilatación influye en la aparición de estas

tensiones, y con ellas la deformación de ambas planchas ya unidas.

Asumiremos por el momento que la plancha considerada es un problema de hiperstaticidad de una viga sometida a una carga uniformemente distribuida y que se va a flexionar debido a las tensiones provocadas por la deformación. Si el conjunto a soldar es dispuesto en una base de arena, entonces se puede considerar la igualdad entre el radio de curvatura de las planchas y la ecuación de la línea elástica de una viga flexionada; teniendo como premisa el conocimiento de que estamos en presencia de una deformación plástica permanente.

Debido a la necesidad que tienen los ingenieros metalúrgicos de fabricar recipientes para la industria química, alimenticia, etc., a partir de planchas bimetalicas plaqueadas con explosivos se han desarrollado numerosos métodos para medir cuantitativamente las tensiones residuales después de la explosión, así como su posterior disminución.

PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

Se obtuvieron cinco probetas de 200 mm de largo y 20 mm de ancho con un espesor de aproximadamente 13 mm; para ello se utilizó una fresadora con una sierra recta de dos milímetros de espesor.

Antes de soldar, las planchas estaban perfectamente rectas, después de la soldadura el compuesto bimetalico experimentó una deformación máxima en el centro de la longitud, el titanio en la parte comprimida y el acero en la parte traccionada.

Con un micrómetro de profundidad con una base recta de 100 mm y después de haber enumerado las probetas se midió su deformación inicial. Se montó la probeta en el soporte (mordaza) de la máquina, teniendo una superficie recta debajo de la probeta y se aplicó una fuerza con la

propia mesa en su movimiento vertical hasta ponerla totalmente recta. A medida que se retiraba espesor y se aflojaba la probeta ésta recuperaba una nueva deformación de violencia. Este método está basado en la disminución de la inercia de la probeta.

ASPECTOS MATEMÁTICOS DE LA DEFORMACIÓN DE LAS PLANCHAS

La curvatura de la línea elástica está expresada matemáticamente según:

$$\frac{1}{R} = \pm \frac{f'''}{(1 + f'^2)^{2/3}} \quad (1)$$

donde:

- R: radio de curvatura
- f: deformación lineal (flecha)

Esta expresión sin embargo es la ecuación exacta, que para los cálculos de ingeniería no se tiene en cuenta el término porque en la mayoría de los casos es muy pequeño. Luego, relacionando el radio de curvatura con el momento flector que provoca la deformación sin muchos errores se puede decir que:

$$f_p = \frac{qL_0^4}{8EI\beta^3} \frac{\cos h^2(\beta L_0) + \cos^2(\beta L_0)}{\sin h(\beta L_0) \cos h(\beta L_0) + \sin h(\beta L_0) \cos(\beta L_0)} \quad (3)$$

donde:

- f_p : deformación en el centro de la plancha
- L_0 : longitud inicial de la plancha

$$\beta = \sqrt[4]{\frac{K}{4EI}}$$

k: coeficiente que depende del tipo de apoyo

Si se toma una muestra de esta plancha deformada, y se realiza el procedimiento experimental, entonces la característica de los apoyos cambia y la flecha se puede calcular según (1):

$$f_{máx} = \frac{5}{384} \frac{qL_0^4}{EI} \quad (4)$$

$$I = \frac{bS^3}{12} \quad (5)$$

$$E = \frac{E_{acero} S_{acero} + T_{Ti} S_{Ti}}{S} \quad (6)$$

Para el cálculo de las tensiones residuales entonces planteamos:

$$\sigma = \frac{M}{W} \quad (7)$$

W: módulo de resistencia

$$W = \frac{bS^2}{6} \quad (8)$$

El momento flector máximo

$$M_{máx} = \frac{qL_0^2}{8}$$

$$\frac{1}{R} = \frac{M}{EI} \quad (2)$$

donde:

- M: momento flector
- E: módulo de elasticidad
- I: momento de inercia

Lo que quiere decir que la variación de la curvatura ocurre en el plano del momento si este último pasa por uno de los ejes principales de la sección.

La deformación lineal en el centro de la plancha inmediatamente después de la explosión, teniendo en cuenta las características del yunque, está dado por la expresión:

luego:

$$\begin{aligned} M &= \frac{6qL_0^2}{8bS^2} \\ W &= \frac{6L_0^2}{8bS^2} \cdot \frac{384f_{máx}ES}{5L_0^4 \cdot 12} \\ &= \frac{24f_{máx}ES}{5L_0^2} \end{aligned}$$

entonces:

$$\sigma = \frac{24f_{máx}ES}{5L_0^2} \quad (9)$$

$$T_{Ti} = 12,11 \times 10^4 \text{ MPa}$$

$$E_{acero} = 21 \times 10^4 \text{ MPa}$$

Poniendo el radio de curvatura R en función de f en cada probeta se puede calcular el momento flector según la fórmula (2).

En la figura 1.a) se representa el esquema de una probeta paralelepípeda de espesor S_0 , en la que se van a eliminar capas de material (20K) de espesor uniforme, de manera que su espesor pase a ser S_1, S_2, S_3 , etc.

Si la probeta tiene tensiones internas, cualquiera que sea su distribución estará inicialmente en equilibrio, pero al ir eliminando capas con sus respectivas tensiones, el equilibrio inicial se romperá y la probeta tendrá que deformarse elásticamente hasta alcanzar una nueva situación en la que tanto la fuerza como el momento resultante se anulen.

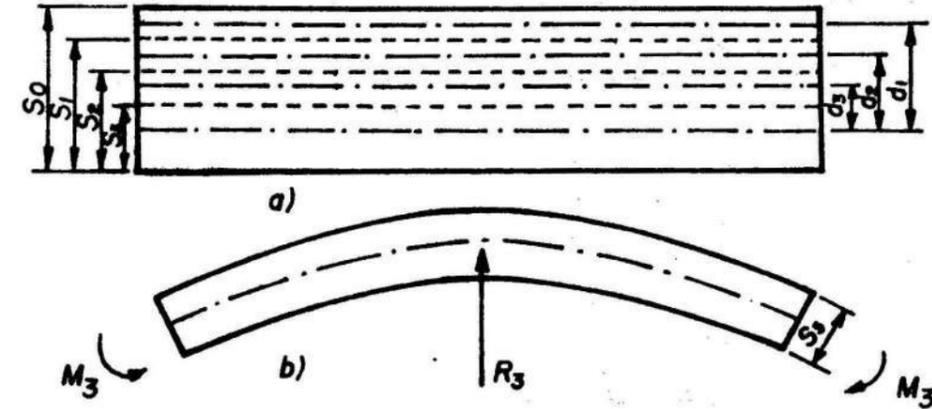


FIGURA 1. Probeta para la determinación de la distribución de las tensiones residuales longitudinales.

Así, por ejemplo, podemos relacionar mediante la fórmula (2), el radio de curvatura R_3 (figura 1.b), que se mide en la probeta una vez retiradas las tres primeras capas, con el valor del momento M_3 ejercida por las tensiones alojadas en la intercara del compuesto bimetalico de espesor S_3 .

Pero este momento M_3 se puede calcular en función de las tensiones que inicialmente albergaban las capas de material eliminadas.

Sea F_i la fuerza que resulta de multiplicar la tensión longitudinal media, σ_i de la capa i por la sección de dicha capa de acuerdo con la fórmula:

$$F_i = \sigma_i (S_i - 1 - S_i) D \quad (10)$$

donde:

- S_i : espesor de la probeta una vez retiradas i capas
- b : ancho de la probeta

Se supone que en cada capa actúa una tensión media, σ_i , uniformemente distribuida.

Teniendo en cuenta que al principio existe un equilibrio de momentos, el momento M_3 de las tensiones longitudinales alojadas en esta zona de la probeta, de espesor S_3 , será igual y de sentido contrario al momento de las fuerzas F_i de las capas eliminadas con respecto al eje medio de dicha zona.

En general, tendremos que el momento flector M_i que ejercen las fuerzas correspondientes a las i capas eliminadas, con respecto al plano medio de la parte restante de la probeta de espesor S_i , vendrá dado por:

$$M_i = - \sum F_j d_j \quad (11)$$

donde:

d_j (figura 1.a) es la distancia desde el eje de la capa i al plano medio de la parte restante de la probeta de espesor S_j .

El radio de curvatura R_i observado tras retirar i capas está relacionado con el correspondiente momento M_i mediante la ecuación:

$$\frac{1}{R_i} - \frac{1}{R_0} = \frac{M_i}{EI_i} \quad (12)$$

donde:

- R_0 : radio de curvatura inicial
- I_i : momento de inercia de la zona restante de la probeta

Mediante el cálculo de los radios de curvatura a partir de la medida de f que presenta la probeta al ir eliminando capas sucesivamente, podemos calcular mediante la ecuación (12), los correspondientes valores de M_i , que llevados a la ecuación (11) nos permitirán el cálculo de las F_i . Obsérvese que en la sumatoria de la ecuación (11) figuran las fuerzas F_i correspondientes a capas anteriores y por tanto calculadas previamente.

Por último, el valor de F_i obtenido se sustituye en la ecuación (10) para calcular la tensión σ_i de la capa que se termina de eliminar.

Para poder llegar hasta el final se desarrolló un programa que a partir de los radios de curvatura R_i calculados permite determinar, mediante el proceso de iteración indicado, los valores de las tensiones correspondientes a cada capa.

El programa está confeccionado en Pascal (versión 6), puede ser ejecutado en IBM o compatibles. Tiene facilidades de edición para los datos iniciales. Para cada desbaste se calculan las tensiones máximas y mínimas. Los interesados en dicho programa pueden solicitarlo a los autores.

RESULTADOS Y DISCUSION

Tomando de la tabla 1 el juego de valores correspondiente a la probeta No. 3, obtenemos la tabla 2; cuyos valores de tensiones máximas y mínimas han sido grafica-

dos (figura 4), reflejando las capas de acero 20K eliminadas. En todos los casos analizados con la ayuda del programa llegamos a un mismo resultado.

Para diferentes pares de metales después de la soldadura por explosión se revela la aparición de grandes tensiones residuales (figura 2), que según [2] y [4] se obtuvieron en la unión de dos aceros. Eso depende de la deformación

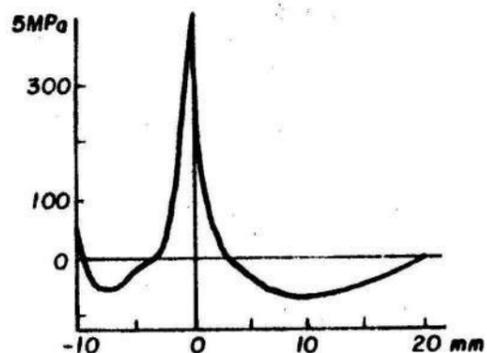


FIGURA 2. Valores de las tensiones residuales para dos aceros unidos por explosión.

En general las tensiones residuales que pueden aparecer en una soldadura de dos planchas con mayor o menor energía de la explosión puede ser expresada como:

$$\sigma_{exp} = \sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3 + \sigma_4 \quad (13)$$

donde:

- σ_1 : Tensiones que dependen del calentamiento.
- σ_2 : Tensiones que dependen del endurecimiento por deformación plástica.
- σ_3 : Tensiones que dependen de la diferencia del coeficiente de dilatación lineal de los materiales.
- σ_4 : Tensiones que dependen de la rigidez de la unión.

También es cierto que es muy difícil medir las partes de esta ecuación, pero es posible utilizando el método de calcular las tensiones residuales totales.

Se puede afirmar que la rigidez de la unión es determinable por la relación de los espesores que se sueldan. A menos relación tanto mayor será la tensión en la plancha que se proyecta.

Si $S_1/S_2 \leq 1$ entonces aparecen altas tensiones en la plancha volante. Al aumentar S_1 las tensiones disminuyen y cuando hacemos $S_1/S_2 = 1$ el esquema de distribución se hace simétrico.

Se deduce que para la disminución de las σ_{exp} desfavorables es necesario crear las tensiones adicionales σ_s de valor contrario.

TABLA 1. Resultado del proceso de desbaste del acero en las probetas biméticas

No	sin desbaste		1º desbaste		2º desbaste		3º desbaste		4º desbaste								
	espesor mm		f0	f1	f2	f3	f3	f4	f4	f4							
	Ti	Ac									Ac1	Ac2	Ac3	Ac4	Ac4	Ac4	
1	2.71	9.35	0.710	7.48	0.790	0.810	4.57	0.835	0.840	3.99	0.865	0.915	0.9	2.82	0.94		
2	2.84	9.57	0.905	7.18	0.75	0.785	6.08	0.775		5.18	0.915			3.84	0.985	1.025	1.00
3	2.84	9.53	0.700	7.92	0.835	0.84	7.0	0.85		6.09	0.865			5.18	0.93	0.905	0.935
4	2.82	9.50	0.885	6.9	0.915	0.937	5.88	0.960		5.08	0.986			4.08	0.992		
5	2.86	9.70	0.76	8.7	0.84	0.855	7.0	0.910		5.50	0.945			4.0	0.990		

plástica y el calentamiento de los metales que se unen en el proceso de choque.

Los valores de las tensiones cerca de la frontera de unión es casi igual al valor de la tensión de fluencia del material (límite elástico $R_{po,2}$).

$$\sum \sigma = \sigma_{exp} + \sigma_s \quad (14)$$

Es posible crear a σ_s haciendo un gradiente de temperatura antes de la explosión entre las planchas que se sueldan. Para evaluar la influencia del gradiente de las temperaturas podemos decir:

- calentando una plancha, la temperatura de la otra antes de la soldadura no varía,
- después de la unión las temperaturas son iguales a la temperatura del inicio,
- la relación $S_1/S_2 \leq 1$, influye para que la curvatura de las planchas no se suceda.

Por eso:

$$\sigma_s = \epsilon E \quad (15)$$

donde:

- ϵ : deformación relativa
- E : módulo de elasticidad

Usando (14) y (15) es posible evaluar la influencia del calentamiento.

Es evidente que se necesita a toda costa disminuir las tensiones residuales que aparecen cuando en nuestro caso $S_1/S_2 \leq 1$ porque de otra manera para la fabricación de recipientes a presión no tiene sentido usar valores de la relación de los espesores que sobrepasan el valor de 0,2-0,3.

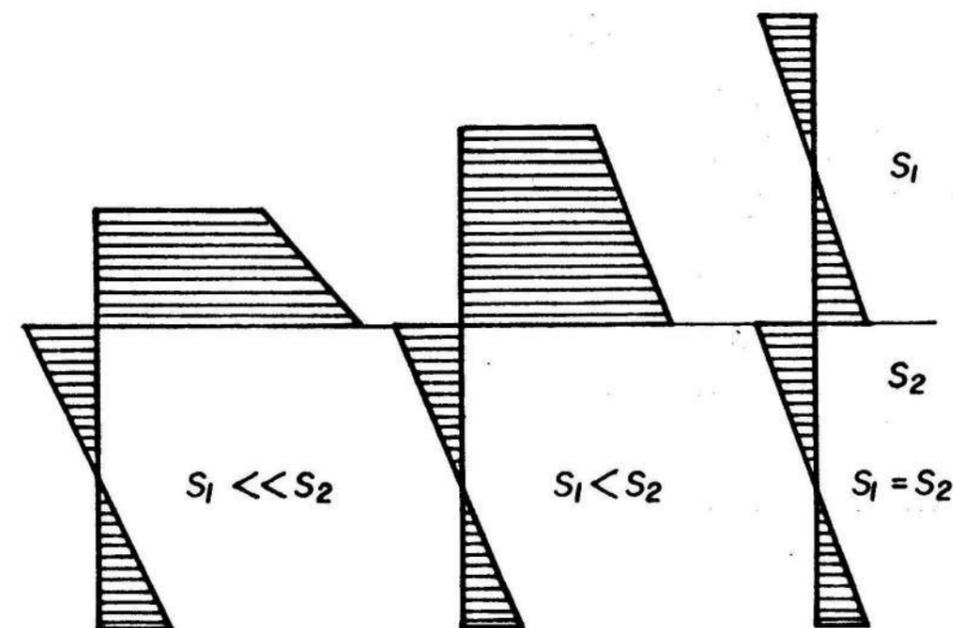


FIGURA 3. Influencia del espesor relativo de la plancha volante en el esquema de distribución de las tensiones residuales.

TABLA 2. Valores de las tensiones máximas y mínimas en cada desbaste

Desbastes	0		1		2		3		4	
	$\sigma_{máx}$	$\sigma_{mín}$								
Titanio	52.885	35.074	49.717	28.349	49.531	27.910	49.314	27.312	48.879	25.815
Acero	52.424	-26.212	55.986	-27.993	62.838	-31.419	71.476	-35.733	81.904	-40.952

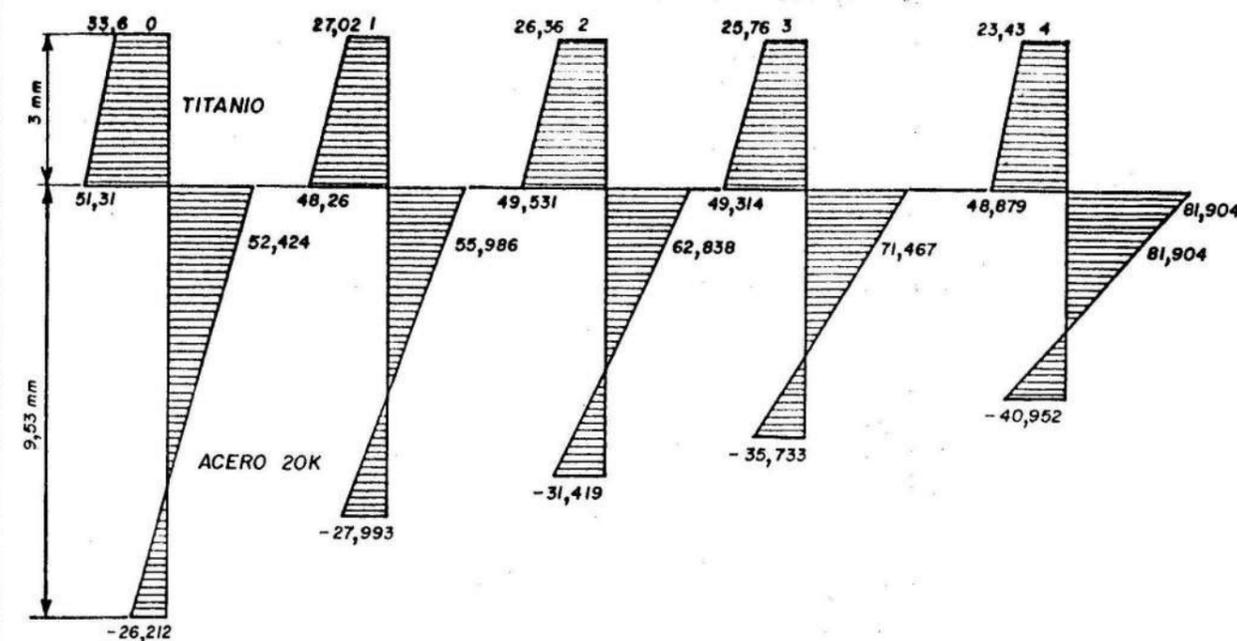


FIGURA 4. Gráfico que representa la distribución de tensiones residuales después de la soldadura.

CONCLUSIONES

Como en la zona de la intercara el acero 20K está comprimido por el titanio se hizo el ensayo de compresión para éste dando el límite elástico entre 400-500 MPa y el ensayo de tracción para el titanio estando entre 450-550 MPa; en ambos casos estos valores están muy cercanos al valor de las tensiones residuales que aparecen en el corte 4 para $S_{acero} = 5,18$ mm; esto nos infiere que ambos materiales están a punto de fluir.

Durante el sucesivo desbaste se pone de manifiesto un incremento de la flecha en las muestras; si esto no sucediera es porque hay que tener un cuidado especial a la hora de la distribución de la carga encima de la plancha que se proyecta.

Las deformaciones son de carácter plástico debido al elevado nivel de las tensiones.

En el caso del segundo desbaste del acero las tensiones en éste ya sobrepasaban su límite de elasticidad, el valor de las mismas fue de 560 MPa.

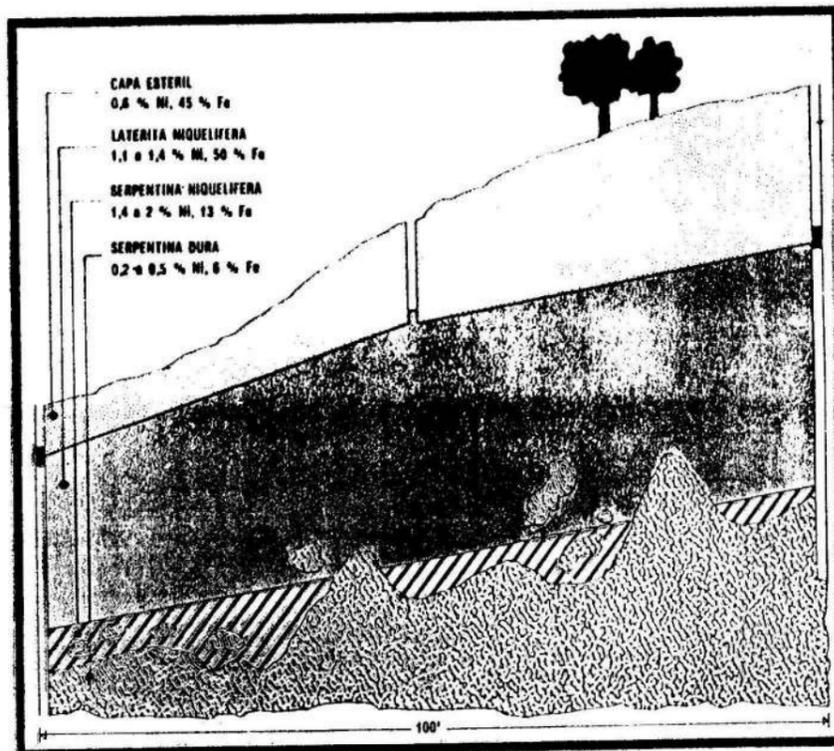
También en el cuarto desbaste se obtuvo inmediatamente una flecha $f = 0,93$, al cabo de 24 horas, $f = 905$, y para 120 horas $f = 0,935$, para el cálculo utilizamos la última medición.

Para un trabajo posterior de deformación de estas planchas debe ser empleado un tratamiento de alivio de tensiones, en el caso específico del titanio hay que protegerlo en una atmósfera para evitar su posterior contaminación.

REFERENCIAS

1. BELLO, J. M.: Revista de metalurgia, CENIM, enero-febrero, 1992.
2. GELMAN, A. C.: Plaqueado del acero por explosión. Ed. Construcción de Maquinarias, Moscú, 1978.
3. KONON, Yu. A.: Soldadura por explosión. Ed. Construcción de Maquinarias, Moscú, 1987.
4. PAKATAEV, E. P., y otros.: "Tensiones internas en la soldadura por explosión" en Producciones Soldadas, Número cuatro, 1980.
5. STIOPIN, P. A.: Resistencia de materiales. Ed. Mir 4ta edición Moscú, 1977.

Los yacimientos de lateritas niquelíferas de Nicara se presentan como mantos residuales, resultantes de la intemperización de la serpentina, y en la mayoría de los casos yacen en lugares que tienen una elevación comprendida entre 150 y 300 metros. El minado se realiza "a cielo abierto".



Perfil típico de un depósito de mineral oxidado de Níquel en el noreste de Cuba.

DETERMINACION DE LA COMPONENTE CASUAL DE LA VARIABILIDAD DE LA MENA EN LOS BLOQUES DE EXTRACCION DEL YACIMIENTO LATERITICO DE MOA

Dr. Santiago Bernal Hernández*
Ing. Elena Cardero Cardero**

* Centro de Investigaciones de la Laterita
** Instituto Superior Minero Metalúrgico

RESUMEN: Es propuesto un método de determinación de la función de correlación para el modelo bidimensional de la variabilidad de la calidad de la mena, el cual considera las particularidades específicas de la información geólogo-topográfica en los bloques de extracción del yacimiento laterítico de Moa. Se muestra lo incorrecto del procedimiento de encontrar la función de correlación espacial por los métodos tradicionales que están orientados al modelo unidimensional de la variabilidad. Se establece la presencia de una relación de correlación espacial considerable de los componentes fundamentales controlados en los bloques meníferos del yacimiento, lo que permite elevar la efectividad de la dirección de la calidad de la mena en el proceso de extracción.

ABSTRACT: A method to correlation function determination in the variability bidimensional model is proposed, which considers the specific particularities of the geologic and topographic information of Moa deposit. The presence of a spatial correlation relation of the main controlled components in the extraction blocks is established, which allow to raise the effectivity in the ore quality direction in extracting process.

La elevación de la fiabilidad en la dirección efectiva de los trabajos de extracción en la cantera Moa deben basarse en la aplicación de modelos matemáticos correctos, los cuales describen la variabilidad natural de la calidad de la materia prima mineral o de la potencia de los bloques mineros. En la cantera Moa actualmente se controlan los contenidos Ni, Co, Fe y potencia (P), por lo que los modelos deberán describir la variabilidad de estos índices. En lo sucesivo, designaremos al componente arbitrario controlado a través de X.

En el caso general se recomienda utilizar modelos del siguiente tipo:

$$X(P) = X_d(P) + \hat{X}(P) \quad (1)$$

donde:

$X_d(P)$ - tendencia (trend)

$\hat{X}(P)$ - función casual central isotrópica

P- punto arbitrario del bloque minero

De (1) se deduce que:

$$\hat{X}(P) = X(P) - X_d(P) \quad (2)$$

Los bloques mineros en el yacimiento Moa habitualmente tienen forma cuadrada con lados de longitud de 300 m. En ellos existen 81 excavaciones de la exploración de explotación, es decir, para el bloque se tiene un volumen comparativamente pequeño de datos iniciales, por eso es

suficiente buscar la componente determinística en formas simples, por ejemplo, en forma de polinomios de segundo orden como máximo. Los cálculos muestran que para el yacimiento Moa en calidad de trend, se puede utilizar el valor medio \bar{X} del componente X en cada bloque, lo que no influye sustancialmente en la exactitud de los resultados del pronóstico.

La componente casual puede describirse con ayuda de la función de correlación exponencial $K_x(\bar{r})$, la cual considera el carácter anisotrópico de la variabilidad.

$$K_x(\bar{r}) = K_x(x,y) = D_x \text{Exp}(-\alpha_{m\acute{x}} A X^2 + B Y^2 + 2 D X Y) \quad (3)$$

donde:

D_x - dispersión del componente X

X y Y- proyecciones del vector desplazamiento \bar{r} entre los dos puntos analizados del bloque en el eje de coordenadas.

$$A_1 = \frac{1}{q^2} \cos^2 \gamma + \text{sen}^2 \gamma \quad (4)$$

$$B_1 = \frac{1}{q^2} \text{sen}^2 \gamma + \cos^2 \gamma \quad (5)$$

$$D_1 = \left(\frac{1}{q^2} - 1 \right) \cos \gamma \text{ sen } \gamma \quad (6)$$

$$q = \frac{\alpha_{m\acute{x}}}{\alpha_{m\acute{i}n}} \quad (7)$$