

Evaluación del empleo de aceros de bajo contenido de carbono en la fabricación del cuerpo de cilindros oleohidráulicos.

V. Gómez Rodríguez, R. Goytisol Espinosa, J. J. Cabello Eras, W. Francisco Martín.

Centro de Estudio y Desarrollo de la Oleohidráulica y la Neumática
Universidad de Cienfuegos Carretera a Rodas , km. 2, Cienfuegos.
E-mail: jcabello@fmec.ucf.edu.cu

(Recibido el 12 de octubre del 2002, aceptado el 11 de enero del 2003).

Resumen.

En el trabajo se realiza una evaluación del empleo de aceros de bajo contenido de carbono en la fabricación del cuerpo de cilindros oleohidráulicos de producción nacional. Se estudia la influencia del cambio de material en la calidad superficial, la resistencia al desgaste y el comportamiento desde el punto de vista de la corrosión.

Palabras claves: Cilindros oleohidráulicos, resistencia superficial, corrosión, acero.

1. Introducción.

En investigaciones anteriores [8] se realizó un análisis de la relación entre las dimensiones radiales requeridas por los cilindros oleohidráulicos, en particular los utilizados en la industria azucarera y la presión a que estos trabajan, estableciéndose que las mínimas dimensiones se logran cuando se cumple la relación:

$$P = \frac{[\sigma]_t}{4}, \text{ MPa}$$

Donde:

P - Presión de trabajo del sistema, MPa.

$[\sigma]_t$ - Esfuerzo de tracción admisible MPa.

Como parte del estudio realizado se estableció que los valores más razonables de la relación de diámetros

$\alpha = \frac{D_i}{D_e}$ se encuentran entre 0.5 y 0.85, que fue la

referencia para emitir recomendaciones sobre el rango de presión de trabajo entre 16 y 45 MPa para cilindros con cuerpo de acero 45 y entre 12 y 30 MPa para cilindros de acero 20. Con lo que se demuestra que el empleo del acero 20 garantiza una adecuada resistencia a la explosión del tubo para este rango de presiones.

Tradicionalmente en la Empresa Oleohidráulica de Cienfuegos se ha construido el cuerpo de los cilindros hidráulicos de acero 45 y las tecnologías de fabricación

de los mismos han sido elaboradas sobre la base del empleo de ese material.

La experiencia de la utilización de aceros de bajo contenido de carbono ha sido negativa provocado por la elevada plasticidad del acero y los inconvenientes que esta particularidad implica en los procesos de maquinado del tubo, en particular en las operaciones de mandrinado profundo y rodillado.

Hasta el momento no se ha desarrollado un estudio que implique la evaluación de la sustitución, en la fabricación de la camisa del cilindro, del tradicional tubo de acero 45 por otro de un acero de menor contenido de carbono. Se han producido series de cilindro en los que se ha utilizado el acero 35 en la manufactura de las camisas y se ha demostrado la posibilidad de su empleo.

Algunas empresas líderes en el mercado mundial utilizan aceros de propiedades mecánicas inferiores al acero 45 (0,45% C) y muy similares a las del acero 20 (0,20% C) en la fabricación del cuerpo de los cilindros hidráulicos que comercializan[1,2,3,].

Evidentemente antes de recomendar la utilización de tubos de acero de bajo contenido de carbono para la fabricación del cuerpo de los cilindros oleohidráulicos es necesario realizar análisis complementarios. El objetivo principal de este trabajo radica en la evaluación de la utilización de aceros de bajo contenido de carbono en sustitución de los aceros tradicionales, desde el punto de vista de la resistencia superficial del cuerpo y de la resistencia a la corrosión.

2. Desarrollo.

Evaluación de la resistencia superficial del acero de bajo carbono.

La evaluación de la resistencia superficial se efectuó a partir de la determinación de la dureza en el cuerpo del cilindro, la comparación de la resistencia al desgaste entre los tubos de diferentes materiales mediante la determinación de la constante de resistencia al desgaste y la evaluación de la corrosión en los materiales propuestos. Cada prueba fue realizada a probetas tubulares de acero con denominaciones 20, 35 y 45. La determinación de la dureza se efectuó a cuatro probetas de cada material practicándose cinco mediciones en el espesor del tubo y tres en la superficie rodillada (Figura 1).

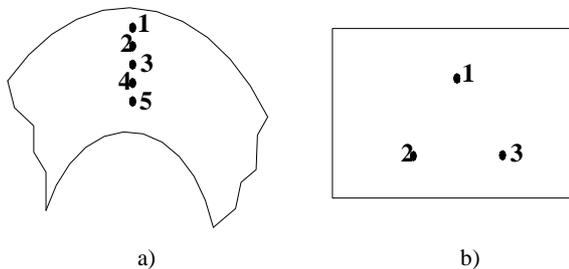


Figura.1. Distribución de las mediciones realizadas en el tubo.
a) Mediciones en el espesor del tubo.
b) Mediciones en la superficie rodillada.

La diferencia de la dureza promedio entre el acero 20 y los aceros 35 y 45 presupone una menor resistencia al rayado y al desgaste, pero podría incidir favorablemente en la durabilidad de los sellos (tabla 1), aspecto que merece ser estudiado con más profundidad. El comportamiento de la dureza superficial en el acero 20 luego del rodillado aumenta en un 5.3 % o sea, en mayor proporción que en los acero 35 y 45 que aumentan la dureza superficial en un 2.8 % y 2.5 %

respectivamente lo que se explica por la mayor plasticidad que posee el acero 20.

Evaluación de la resistencia al desgaste del acero de bajo carbono

Se efectuó también la evaluación comparativa de la resistencia al desgaste de los aceros usados tradicionalmente y el acero 20, determinándose la constante de resistencia al desgaste seco metal – metal basado en la relación entre el trabajo de fricción que realiza un desgastador especialmente preparado sobre la superficie metálica y el volumen de material desgastado [4], o sea, se procedió a evaluar la resistencia al trabajo de fricción por unidad de volumen.

La valoración de la resistencia al desgaste se efectuó mediante el diámetro de la huella dejada sobre la superficie metálica por la acción de un desgastador de punta esférica en rotación manteniendo constante la frecuencia de rotación y la carga aplicada sobre el desgastador.

En este trabajo [4] se plantea además que la constante de resistencia al desgaste, dependiente únicamente del material a examinar, se determina por la expresión:

$$\beta = \frac{32DFf\mu\Delta t}{3d^3} \tag{1}$$

Donde:

- β – Constante de resistencia al desgaste, J/m³.
- μ – Coeficiente de fricción.
- f – Frecuencia de rotación, min⁻¹.
- F – Fuerza que ejerce el vástago sobre la probeta, N.
- D – Diámetro de la esfera, mm.
- d – Diámetro de la huella, mm.
- Δt – Tiempo de permanencia, s.

Tabla 1. Resultados de las mediciones y valores promedios de las durezas por acero.

Material	Probeta	Dureza del material del tubo HV					Dureza media HV	Dureza superficie rodillada, HV			Dureza media HV
		1	2	3	4	5		1	2	3	
Acero 20	1	201	227	201	227	206	205	219	219	216	216
	2	179	221	189	199	167		219	216	215	
	3	173	233	194	225	192		215	219	215	
	4	196	236	206	216	218		219	215	219	
Acero 35	1	197	224	209	203	186	218	224	226	224	224
	2	191	221	221	216	194		225	226	226	
	3	193	240	256	247	253		223	224	223	
	4	210	227	235	216	225		225	224	226	
Acero 45	1	229	232	235	234	238	233	238	238	241	239
	2	229	232	235	234	237		243	240	239	
	3	230	234	235	234	239		238	240	239	
	4	230	233	235	234	238		240	236	244	

Para comparar la resistencia al desgaste de un material con respecto a otro, teniendo en cuenta las exigencias planteadas y asumiendo que para los aceros el coeficiente de fricción es el mismo, se relaciona la constante de resistencia al desgaste de un material con respecto al otro por la siguiente expresión:

$$\frac{\beta_0}{\beta_i} = \left(\frac{d_i}{d_0} \right)^3 \quad (2)$$

Donde:

β_0 – Constante de resistencia al desgaste del material 1, J/m^3 .

β_i – Constante de resistencia al desgaste del material 2, J/m^3 .

d_0 – Diámetro de la huella del material 1, mm.

d_i – Diámetro de la huella del material 2, mm.

De donde se infiere en que proporción un material se desgasta con respecto a otro.

La evaluación se efectuó a cuatro probetas de cada material manteniendo en cada caso una frecuencia de rotación de 250 rpm y aplicándose una fuerza de 147 N sobre el vástago que sostiene la esfera durante 10 segundos. Los diámetros de las huellas se determinaron con una lupa Brinell y con ellos se calculó el diámetro medio (Tabla 2).

Tabla 2. Diámetro medio de las huellas (mm) y constante de resistencia al desgaste de cada acero.

	Material		
	Acero 20	Acero 35	Acero40
Diám. medio	1.2	1.12	1.03
β , J/m^3	3.77×10^{10}	4.58×10^{10}	5.97×10^{10}

De donde la razón entre las constantes de resistencia al desgaste de un material respecto a otro son las siguientes:

$$\text{Acero 20 frente a acero 45: } \frac{\beta_{45}}{\beta_{20}} = \left(\frac{d_{20}}{d_{45}} \right)^3 = 1.58$$

$$\text{Acero 20 frente a acero 35: } \frac{\beta_{35}}{\beta_{20}} = \left(\frac{d_{20}}{d_{35}} \right)^3 = 1.23$$

De los resultados anteriores se puede concluir que la resistencia al desgaste del acero 20 frente a los aceros de grado 35 y 45 es inferior lo que podría representar una menor durabilidad del cuerpo del cilindro pero debe tenerse en cuenta que la dificultad fundamental de durabilidad del cilindro está provocada por el deterioro prematuro de los sellos y esto puede favorecerse si se tiene en cuenta que los sellos entrarán en contacto con

una superficie de dureza inferior, lo que puede ser estudiado en futuras investigaciones.

Además, la tendencia mundial se dirige a la utilización de sellos labiales con los que el sellado se obtiene por medio de los bordes flexibles que entran en contacto con las paredes del cuerpo del cilindro superándose el efecto de sellado de los sellos convencionales, porque la deformación de sus labios, efectuada por la presión, produce un sello estanco sobre las paredes que es capaz de asumir las pequeñas holguras que pudieran aparecer por el desgaste de la camisa con material de acero 20.

Evaluación de la resistencia a la corrosión del acero de bajo carbono.

Por otra parte, la resistencia a la corrosión es otro de los factores que se tuvo en cuenta al evaluar el acero 20 para la fabricación del cuerpo. La demostrada naturaleza electroquímica de los procesos de corrosión, especialmente de los que tienen lugar a la temperatura ambiente o inferiores a los 100 °C (frecuente en la mayoría de los procesos industriales) ha permitido la aplicación de los métodos electroquímicos a la polarización, basado en la determinación de la resistencia de polarización R_p mediante la determinación experimental del voltaje de polarización y la corriente eléctrica.

El fundamento del método se basa en polarizar el electrodo a valores bajos de potencial, para lograr la simplificación de la ecuación de Stean y Geary⁷

$$I_c = I_{cor} e^{\frac{\alpha z F E_c}{RT}} - e^{-\frac{\beta z F E_a}{RT}} \quad (3)$$

Donde:

I_{cor} – Intensidad de corrosión

α y β – Coeficientes de transferencia

z – Número de oxidación del metal

F – Constante de Faraday

R – Constante de los gases

T – Temperatura

Conociendo la intensidad de corrosión I_{cor} se puede obtener la velocidad de corrosión⁷ V_c .

$$V_c = \frac{0.327Mi}{z\rho} \quad (4)$$

Donde:

M – peso atómico del metal

i – densidad de la corriente

ρ – densidad del metal

Se utilizaron electrodos de acero 20 de 99 mm² de área, electrodos de acero 35 de 88,35 mm² de área y

electrodos de acero 45 de 94,5 mm² de área, teniendo en cuenta las recomendaciones descritas en la bibliografía [5]. El medio electroquímico utilizado fue agua destilada acidificada a ph=3 y con conductividad de 650 µs/cm.

En la Tabla 3 se encuentran los valores obtenidos de voltaje y corriente eléctrica para los materiales

ensayados. A partir de las ecuaciones (3) y (4) se confeccionó un programa de computación para obtener los resultados mostrados en la Tabla 4. Los resultados obtenidos (Tabla 4) corroboran lo esperado. La diferencia entre las velocidades de corrosión de los aceros no aleados como es el caso de los aceros estudiados aquí no es significativa.

Tabla 3. Valores de corriente y voltaje de las pruebas de corrosión.

Acero 20				Acero 35				Acero 45			
Ia, µA	Ea, mV	Ic, µA	Ec, mV	Ia, µA	Ea, mV	Ic, µA	Ec, mV	Ia, µA	Ea, mV	Ic, µA	Ec, mV
0	-606	0	-607	0	-622	0	-620	0	-631	0	-625
2	-604	-2	-609	2	-619	-2	-624	2	-628	-2	-629
4	-601	-4	-612	4	-617	-4	-626	4	-626	-4	-631
6	-598	-6	-614	6	-615	-6	-628	6	-624	-6	-633
8	-596	-8	-617	8	-613	-8	-630	8	-622	-8	-636
10	-595	-10	-620	10	-612	-10	-633	10	-621	-10	-639
12	-544	-12	-622	12	-610	-12	-634	12	-619	-12	-640
14	-593	-14	-624	14	-608	-14	-636	14	-617	-14	-642
16	-592	-16	-626	16	-607	-16	-638	16	-618	-16	-646
18	-588	-18	-628	18	-606	-18	-640	18	-617	-18	-649
20	-587	-20	-630	20	-605	-20	-642	20	-615	-20	-652
22	-585	-22	-632	22	-604	-22	-647	22	-614	-22	-653

Tabla 4. Resultados del cálculo de la prueba de corrosión.

Material	R _p , Ω	I _{cor} , A	V _c , mm/año
Acero 20	1261.30	2.06 x 10 ⁻⁵	0.241
Acero 35	1000.00	2.60 x 10 ⁻⁵	0.342
Acero 45	881.25	2.95 x 10 ⁻⁵	0.364

El acero 20 muestra una velocidad de corrosión uniforme menor que los aceros 35 y 45 lo que concuerda con la teoría de que a medida que aumenta la pureza en hierro del acero se incrementa la resistencia a la corrosión [6] pudiendo concluir que al no existir dificultades con respecto a la corrosión en las camisas manufacturadas de acero 35 o acero 45 la sustitución de este material por acero 20 no implica problemas de corrosión adicionales.

Conclusiones.

1. El empleo de acero 20 garantiza una adecuada resistencia a la explosión del tubo para presiones entre 12 MPa y 30 MPa.
2. La resistencia al rayado del acero grado 20 es inferior a la de los acero grado35 y grado 45 a causa de su menor dureza, propiedad que mejora relativamente después del rodillado.
3. La falla fundamental de durabilidad del cilindro está provocado por el deterioro prematuro de los sellos y esto puede favorecerse si se tiene en cuenta que los sellos entrarán en contacto en la nueva propuesta con una superficie de dureza inferior.
4. El cuerpo de acero de grado 20 tiene una resistencia a la corrosión mejor que los utilizados

convencionalmente para su manufactura lo que descarta problemas de corrosión adicionales.

Bibliografía.

1. Tecnocrom S. A. Catálogo online. Especificaciones <<http://www.tecnocrom.com.ar/cil-especificaciones.htm>> [Consulta: 20 diciembre 2002]
2. Elementos para circuitos oleodinámicos. España. Olesa S.A (Catálogo de cilindros hidráulicos y bombas de pistones oleohidráulicos).—50p.
3. Manual de Oleohidráulica y Neumática. Madrid: Editorial Blume.
4. Peraza, L. Estudio de la nitruración gaseosa de un sistema de aleaciones de hierro gris-estaño./ Leonides Peraza.-- Cienfuegos: ISTC, 1990. Tesis para optar por el grado de C Dr.
5. Francisco, N. Guía de estudio de tratamiento de agua y corrosión. Práctica de laboratorio No. 3 "Determinación de la velocidad de corrosión.-- Cuba, 1979.-- P. 57 – 67.
6. Herbert, H. Uhlie. Corrosión y control de la corrosión./ H. Uhlie Herbert. – España: Ediciones URMO, 1970.—393p.

7. Domínguez J.A. y colaboradores. Introducción a la corrosión y protección de los metales. ENPES. Ciudad de la Habana, 1987. la relación de los diámetros del cuerpo de los cilindros oleohidráulicos. Ingeniería Mecánica (artículo en revisión).
8. Gómez Rodríguez, V., Cabello Eras, JJ. y Goytizolo Espinosa, R. Optimización tricriterial de

Low carbon steel evaluation for oleohydraulic cylinders manufacturing.

Abstract.

In this paper, an evaluation of the use of low carbon steel used to manufacture the hydraulic homemade cylinders body is carried out. The influence of change of material in surface quality, the wear resistance and the behaviour from the corrosion point of view, are studied.

Key words: Oleohydraulic cylinders, superficial strength, corrosion, steel.