

Comportamiento de los aceros inoxidable AISI 304, AISI 329 y AISI 420 sometidos a desgaste erosivo

Behaviour of AISI 304, AISI 329 and AISI 420 stainless steels subject to erosive wear

R. Reinoza C.
Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Mecánica, ULA
Mérida 5101, Venezuela.
reinoza@ing.ula.ve.

G.F. Rodríguez V.
Centro de Ingeniería y Desarrollo,
Querétaro-México.
vilomara@cidesi.mex

J.L. Suárez
Centro de Investigaciones Metalúrgicas
La Habana-Cuba.

Resumen

En el presente trabajo se estudia el comportamiento de los aceros inoxidable del tipo AISI 304, AISI 329 y AISI 420, ante el efecto del desgaste erosivo. Los tres materiales fueron sometidos a desgaste a dos velocidades de impacto de las partículas y a cuatro ángulos de incidencia de las mismas. Los resultados de los ensayos muestran la influencia de la velocidad sobre la intensidad del desgaste en cada uno de los aceros. El comportamiento de cada uno de los aceros ante el desgaste erosivo está definido por la estructura de cada una de ellos y las velocidades de impacto de las partículas erosivas. A la velocidad de 38 m/s y a los ángulos de incidencia de 30° y 45° la menor resistencia la muestra el acero AISI 420, pero a los valores comprendidos entre 60° y 90° la menor resistencia al desgaste la manifiesta el acero inoxidable austenítico. A la velocidad de 76 m/s la menor resistencia al desgaste la presenta el AISI 329, para cualquier valor del ángulo de incidencia.

Palabras claves: Desgaste erosivo, aceros inoxidable, microestructura

Abstract

The present work studies the behaviour of AISI 304, AISI 329 and AISI 420 stainless steels types under erosive wear. The three materials were submit to erosive wear with two particle impact speeds and four incidence angles. The test results show that the speed influence over the erosion for each steel. The behaviour of the stainless submits to erosion wear is defined by the structure of each one and impact speed of the impact particles. For a speed of 38 m/s and a impact angle of 45° and 90°, the lowest erosion resistance is shown by the AISI 420 stainless steel type, but for 60° and 90° impact angles, the lowest erosion resistance is shown by the AISI 329 stainless steel. . For 78 m/s impact speed, the lowest erosion resistance is shown by the AISI 329 stainless steel, independently of the particles impact angle.

Keywords: Erosive wear, stainless steel, microstructure.

Introducción

El desgaste erosivo en cuerpos sólidos es causado por la acción de deslizamiento o impacto de sólidos, líquidos, gases

o combinaciones de estos. La erosión por chorro es causada por partículas sólidas impulsadas por una corriente de gas o aceleradas por ciertas fuerzas y su ángulo de incidencia influye substancialmente y puede cambiar el mecanismo de

desgaste.

El efecto de la microestructura y las propiedades de los materiales impactados en el desgaste erosivo han sido estudiados en menor intensidad que los efectos generados por el tamaño y la velocidad de impacto de las partículas erosivas. Finnie et al. (1967) observaron que la resistencia a la erosión sufre un incremento lineal con el aumento de la dureza Vickers, de un metal de estructura cúbica de cara centrada recocido, cuando se usaron ángulos pequeños de incidencia. Observaron, que los metales cúbicos de cara centrada recocidos muestran una resistencia a la erosión superior que los cúbicos de cuerpo centrado de igual dureza.

Cristman y Shewman (1979), reportaron que una aleación de aluminio 7075-T6 de alta resistencia posee una resistencia a la erosión menor que un aluminio puro blando, ambos bajo la acción de impactos simples oblicuos e impactos múltiples normales.

Hein y Shewman (1983) estudiaron el mecanismo de la remoción del material causado por el impacto de una partícula de un acero AISI 1060, tratado térmicamente a durezas de 12, 45 y 60 RC. En la estructura blanda del acero observaron que las partículas esféricas de carburo de tungsteno, incidiendo a un ángulo oblicuo, penetraron dentro de la superficie del material generando rebordes que fueron fracturados por el esfuerzo cortante, mientras que a ángulos de incidencia grandes, la estructura fue lo suficientemente dúctil para fluir sin pérdida substancial de material. En el acero de estructura dura, las partículas que inciden en ángulos oblicuos penetraron relativamente poco en la superficie, pero a ángulos grandes de incidencia se formaron las bandas adiabáticas de corte, las que al ser cortadas conducen a la pérdida de masa por astillamiento del material. Hallando que la pérdida de material mas baja por desgaste, de la estructura mas dura, fue a un ángulo de incidencia de 15° y la máxima intensidad de desgaste en todas las estructuras ocurrió a un ángulo de incidencia de 90°.

Milichencko y Alexandrov (1975) en ensayos de desgaste erosivo, de algunos de los aceros inoxidable más usados comercialmente, encontraron que de los aceros inoxidable al cromo presentaron la menor resistencia a la erosión fue el de 13 % de Cr, que posee una estructura ferrítica con una pequeña cantidad de martensita de revenido. El mayor desgaste fue observado en la fase ferrítica y ocurre como producto de la deformación plástica y el desarrollo de micro-grietas tanto en el interior como en los límites de grano. Una alta resistencia al desgaste erosivo fue reportada en los aceros inoxidable endurecidos por precipitación.

En los ensayos realizados por Kuklit et al. (1987) en varios aceros (14 436, 14 209, 422 921, 17 248, 12 014) sometidos a diferentes tratamientos térmicos, en cobre al 99.9 % de pureza y en Al₂O₃, usando arena de fundición y varios ángulos de incidencia y dos velocidades de impacto (50 y 90 m/s), observaron que la mayor resistencia al desgaste del Al₂O₃ ocurrió a un ángulo de incidencia de 15°, disminuyendo al aumentar el ángulo de incidencia y haciéndose mínima a un

ángulo de 90°. En los aceros 19 436 y 14 209, observaron un comportamiento semejante mostrando una pérdida de peso máxima a un ángulo de 75°, ya que su estructura martensítica es frágil y dura. El acero 42 2921 muestra una mejor resistencia al desgaste que el 17 248 a los ángulos de incidencia de 15 y 45 grados, pero una mayor pérdida de peso que los dos aceros anteriormente mencionados, a partir de ángulos de incidencia de 45° muestran una tendencia a incrementar la resistencia al desgaste, comportamiento característico de los materiales dúctiles. Este comportamiento fue observado con mayor claridad en el cobre y en el acero 12 014. Estos autores concluyeron que la estructura de los materiales influye en la relación existente entre la pérdida de peso por desgaste erosivo y el ángulo de incidencia de las partículas.

Rodríguez et al. (1997), en ensayos de desgaste erosivo, con arena de silicio de granulometría 4x10⁻⁴ m, en un acero inoxidable de estructura martensítica (serie AISI 420), templado y revenido a diferentes ángulos de incidencia de las partículas y a dos velocidades de impacto, hallaron que la máxima intensidad de desgaste ocurrió a un ángulo de 45 grados y aumentó al incrementar la velocidad de impacto.

Procedimiento experimental

En el presente trabajo fueron usados tres aceros inoxidable de estructura austenítica (AISI 304), austeno-ferrítica (AISI 329) y martensítica (AISI 420), tratados térmicamente. El acero inoxidable AISI 304 fue calentado hasta 1050° C por un lapso de una hora y enfriado en aire. El acero AISI 329 fue llevado hasta temperatura de 1080° C y mantenido por una hora y enfriado en aire. El acero de estructura martensítica fue calentado a la temperatura de 1000°, con una permanencia de treinta minutos y templado en aceite y un posterior revenido a 280° C con permanencia de una hora y posterior enfriamiento en aire. La composición química, las propiedades mecánicas a tracción y dureza de cada uno de los aceros inoxidable usados están mostrados en la Tabla 1.

Tabla 1. Composición química en % en peso, propiedades mecánicas a tracción y dureza de los aceros inoxidable empleados.

Material	AISI 304	AISI 329	AISI 420
----------	----------	----------	----------

C	0.060	0.200	0.385
Si	0.450	0.750	0.660
Mn	1.390	1.000	0.490
P	0.035	0.400	0.200
S	0.100	0.030	0.600
Cr	18.340	25.000	15.320
Ni	8.350	3.500	0.024
σ_y (MPa)	234.668	506.759	906.759
σ_u (MPa)	573.634	647.939	1410.805
Dureza Vickers	190	221	464

Los ensayos fueron realizados en un acelerador centrífugo a velocidades de impacto de 38 m/s y 76 m/s usando como partículas de impacto arena sílice de 4×10^{-4} m de granulometría. Se emplearon como muestras de ensayo placas de $15 \times 20 \times 10^{-3}$ m y 4×10^{-3} m de espesor con una rugosidad superficial, para cada uno de los materiales ensayados, de 0.4 μm y a ángulos de incidencia del abrasivo de 30, 45, 60 y 90 grados, se emplearon para cada corrida de cuatro muestras una cantidad de abrasivo de 5 Kg, al finalizar el ensayo, se determinó para cada una de las muestras el peso final, la pérdida de peso ΔP , la rugosidad aritmética final R_{af} , la intensidad de desgaste I ($I = \Delta P/t$), donde t es el tiempo de duración del ensayo, en este caso fue de 30 minutos, la resistencia al desgaste ($R_d = 1/I$).

Análisis de los resultados

La Fig. 1 muestra el comportamiento de la resistencia al desgaste en función del ángulo de incidencia a una velocidad de impacto de las partículas de 38 m/s, para cada una de estructuras estudiadas. En esta figura se observa que para los ángulos de incidencia de 30 y 45 grados la mayor resistencia al desgaste la muestra el acero inoxidable de estructura austenítica, alcanzando la mínima resistencia el martensítico. La menor resistencia se observa en el acero austenítico para un ángulo de incidencia de 60° mientras que los aceros de estructura austeno ferrítica y martensítica muestran una resistencia al desgaste semejante. Para un ángulo de incidencia de 90° , el acero de estructura martensítica muestra la menor resistencia y la estructura austenítica la mayor.

El comportamiento mostrado por las tres estructuras para los cuatro ángulos de incidencia se debe, posiblemente, al comportamiento elástico-plástico de cada una de las estructuras. La energía cinética que poseen las partículas del abrasivo al chocar con la superficie del material impactado, una parte se transforma en energía de deformación, la cual es absorbida por el material y la otra porción es disipada. La capacidad de absorción de energía de deformación de un material depende de su capacidad de deformarse tanto en el rango elástico como en el rango plástico y esta propiedad está relacionada con

la dureza del mismo, a mayor dureza menor habilidad para deformarse.

La mayor resistencia al desgaste mostrada por las estructuras austenítica y austeno-ferrítica a los ángulos de incidencia de 30 y 45 grados respectivamente con relación a la mostrada por la estructura martensítica, puede deberse a la menor habilidad de esta estructura para deformarse en frío y al desgaste generado por el producto de una rápida fractura de la superficie a pesar de poseer una alta dureza, que es una propiedad que ayuda a la resistencia al desgaste.

El acero inoxidable de estructura austeno-ferrítica posee una dureza superior que el acero de estructura austenítica, pero en estado de ductilidad, debería haber mostrado una resistencia al desgaste superior o al menos igual que la estructura austenítica.

Basándose en el principio de la habilidad del material de absorber energía se podría explicar el comportamiento tanto del acero de estructura austenítica como la del acero de estructura bifásica.

El acero inoxidable de estructura austenítica es un material que presenta un rápido endurecimiento por deformación a causa de la posible transformación en la capa superficial de la muestra de la austenita en martensita (Columbier, 1968). La presencia de la martensita en el acero inoxidable austenítico debería indicar que la resistencia al desgaste de este material debe alcanzar el mismo valor que el del acero de estructura inicialmente martensítico, pero la diferencia observada entre estos dos aceros puede deberse a la presencia de un substrato dúctil por debajo de las capas de martensita en el acero de estructura austenítica que conserva su capacidad de absorber la energía de deformación y el desgaste ocurre por la fractura de la capa de martensita a medida que las partículas chocan de manera consecutiva, repitiéndose el proceso de manera consecutiva.

Para el caso del acero bifásico, que posee una fase austenítica y una ferrítica estaría ocurriendo por distorsión de la red cristalina y no estuviese ocurriendo una transformación de su fase austenítica en martensita, lo que traería como consecuencia una capa superficial de menor resistencia al desgaste.

El comportamiento atípico mostrado por el acero inoxidable AISI 304 al ángulo de incidencia de 60 grados podría ser ocasionado por su mecanismo de endurecimiento por deformación. El comportamiento mostrado por las tres estructuras para el ángulo de incidencia de 45 grados, donde ocurre el desgaste máximo, corresponde al clásico comportamiento de los aceros. Para el ángulo de incidencia de 90 grados, el comportamiento corresponde a las características de dureza de cada material ya que a este ángulo se produce un efecto puramente compresivo.

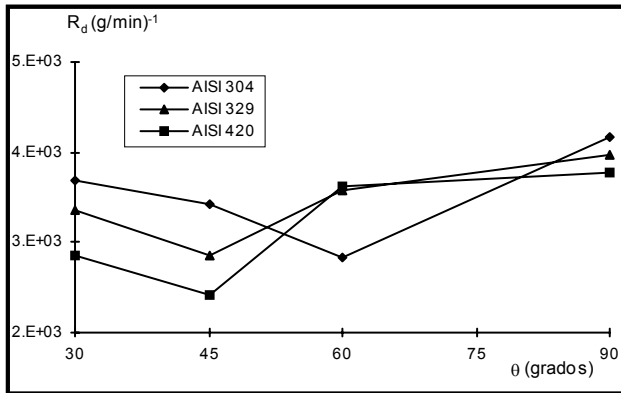


Fig. 1. Resistencia al desgaste R_d en función del ángulo de incidencia θ , para una velocidad de impacto de 38 m/s.

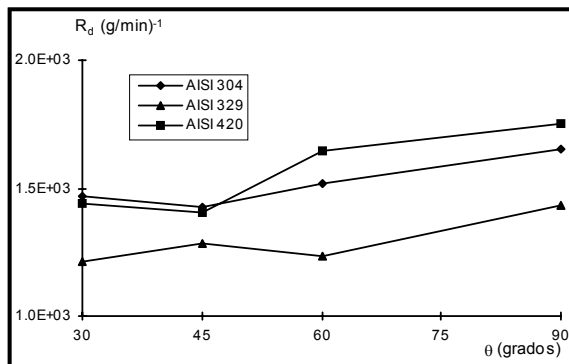


Fig. 2. Resistencia al desgaste R_d en función del ángulo de incidencia θ , para una velocidad de impacto de 76 m/s

En la figura 2. se observa que el aumento de la velocidad de impacto generó una disminución de la resistencia al desgaste en cada uno de los aceros inoxidable y en mayor intensidad en el acero de estructura austeno-ferrítica, la cual alcanza la menor resistencia al ángulo de incidencia de 30 grados. En general a esta velocidad de impacto, el acero austeno-ferrítico muestra la menor resistencia para los ángulos de incidencia de 30 y 60 grados y una resistencia intermedia para los ángulos de 45 y 90 grados.

El comportamiento de la estructura austenítica al igual que en la velocidad de impacto de 38 m/s, se debe a su capacidad de endurecerse por deformación mediante la posible transformación de la austenita en martensita en las capas superficiales, pero su tendencia a la formación tiende a disminuir al aumentar la rapidez de deformación, lo que explica la menor resistencia al desgaste de esta estructura con respecto a la estructura martensítica para los ángulos de incidencia de 60 y 90 grados.

Conclusiones

El aumento de la velocidad de impacto de las partículas

incidentes genera una disminución de la resistencia al des

gaste erosivo de los tres aceros inoxidables evaluados.

La mayor resistencia al desgaste tanto para la velocidad de impacto de 38 m/s como para 78 m/s es alcanzada para el ángulo de incidencia de 90 grados.

Para los ángulos de incidencia de 30 y 45 grados el acero inoxidable de estructura austenítica muestra la mayor resistencia al desgaste en ambas velocidades de impacto, mientras que para el ángulo de 60 grados y a un impacto de 38 m/s las estructuras bifásicas y la martensita muestran la mayor resistencia.

El mejor comportamiento mostrado por el acero de estructura austenítica para los ángulos de incidencia de 30, 45 grados, para ambas velocidades de impacto puede deberse a su capacidad de endurecimiento por deformación mediante la transformación de la austenita en martensita en la capa superficial y la permanencia de un sustrato dúctil austenítico capaz de absorber energía.

Bibliografía

- Christman, T. y Shewman, P. G. 1979. "Erosion of a Strong Aluminium Alloy". *Wear*, 52, pp. 57-70.
- Columbier, J. y Hochmann, J. 1968. *Aceros Inoxidables y Refractarios*. Ediciones Urmo, España.
- Finnie, I. Wolar, J. y Kabil, Y.H. 1967. "Erosion of Metals by Solid Particles", *J. Mater*, 2, pp. 682-702.
- Hein, L.K. y Shewman, P.G. 1983. "Effects of Hardness on the Solids Particles Erosion Mechanisms in AISI 1060 Steel". *Wear*, 89, pp. 291-302.
- Kuklik, V., Vooel, M. Y Suchámk, J. 1987. "Vli Struktury na Velikost Eroziivního Opetrebeni a na Hosnotu Rychlostního Exponentu", *Strojirenstri* 37, cls. 4, pp. 242-245
- Milichenko, S.L.y Alexandrov A.G. 1975. "Resistencia Hidroabrasiva de los Aceros Inoxidables". Problemas de Fricción y Desgaste, *Conferencia Científico Técnica sobre Tribología*, De. Técnica, Kiev, pp. 111-115.
- Rodriguez, G. Suarez, J. y Reinoza, R. 1997. "Comportamiento de los Aceros Inoxidables ante solicitudes Tribológicas de Abrasión y Erosión", II Congreso Iberoamericano de Ingeniería Mecánica. La Habana-Cuba.