

Análisis de variables que afectan la dureza superficial de un acero HSS utilizado para producir lámina rolada en caliente

Roberto González, Francisco Martínez, Sandra Sanmiguel, Rumualdo Servín y Emilio Camporredondo

R. González, F. Martínez, S. Sanmiguel, R. Servín y E. Camporredondo
Universidad Tecnológica de la Región Centro de Coahuila. Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica.
Carretera 57 Norte Kilómetro 14.5, Tramo Monclova Sabinas, 25710 Monclova, Coahuila de Zaragoza
Universidad Autónoma de Coahuila México. Ciencias de ingeniería y tecnología. Monclova, Coahuila de Zaragoza
utrcc_mi@yahoo.com.mx

M. Ramos., V.Aguilera., (eds.) .Ciencias de la Ingeniería y Tecnología, Handbook -©ECORFAN- Valle de Santiago, Guanajuato, 2014.

Abstract

Hot strip is one of the most used metalworking process employed to produce steel, where the hardness in the work rolls is the most critical variable; in the development of this work, there were a series of hardness and metallographic tests, that were made from a sample that was extracted from the shell (layer) from a work roll, which is used in the hot strip mill process., The roll was made of High Speed Steel (HSS). The following research consists to establish a relationship between surface hardness with grain size, the percentage of microporosity and ratio and carbides.

According to the results obtained during the macrohardness tests, it can be conclude that the high values of hardness of 60HRC to 66HRC correspond to the same areas where the degree of microporosity is the lowest values of 0% to 1%, and density of carbides are entitled to the highest values of 6% to 10%.

Making an analysis of these three variables can be confirmed the hypothesis, which states that the hardness is a function of the density and morphology of carbides, the alloy elements and microporosity.

Introducción

Los aceros rápidos son aleaciones base Fe basadas en el sistema Fe-C-X donde X representa un grupo de elementos de aleación fuertemente carburígenos como el Cr, W, Mo y/o V.

La aleación química de estos cilindros se diseña para obtener productos con una dureza muy elevada, capaz de resistir las acciones mecánicas del servicio.

Los trenes de laminación en caliente realizan la reducción de los desbastes de acero desde un espesor de 200 mm hasta alcanzar un espesor de aproximadamente 2-3 mm.

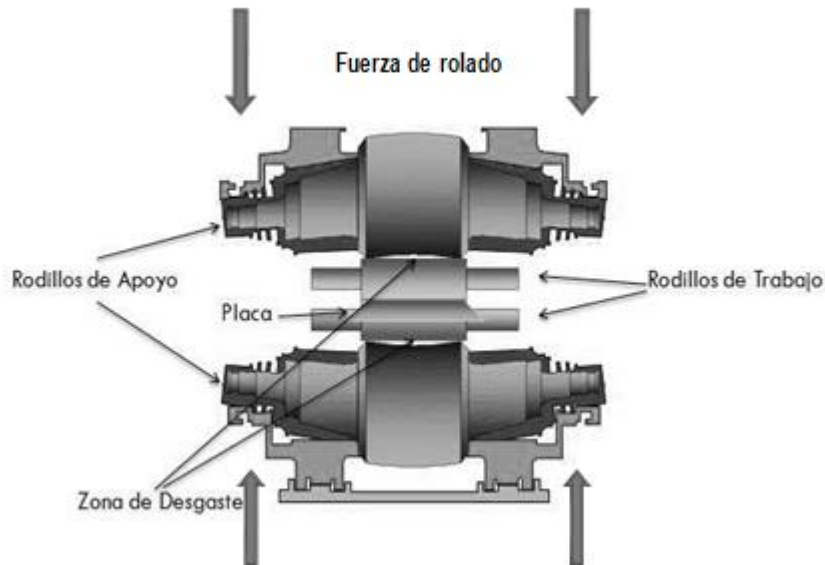
Un molino de laminación en caliente por lo general tiene seis castillos, que utiliza cuatro rodillos, dos de trabajo y tienen contacto directo con la lámina, dos rodillos de apoyo, estos tienen contacto con los rodillos de trabajo como se muestra en la figura 2.1.

A un conjunto de castillos de laminación, que conduce a un producto terminado a través del paso sucesivo por cada uno de ellos, se le conoce como molino tándem.

Los rodillos de laminación son una de las herramientas más costosas en el proceso de laminación, es por eso que resulta interesante controlar el consumo de rodillos, eficientando al máximo el rectificado de estos después de cada campaña de laminación.

En la Figura 23, se puede apreciar la representación gráfica del desgaste que se produce debido al contacto mecánico, así como la presión que se ejerce sobre el cuerpo del rodillo y por consecuencia la dureza superficial.

Figura 23 Representación de la zona de desgaste generada por el contacto mecánico entre los rodillos y la lámina



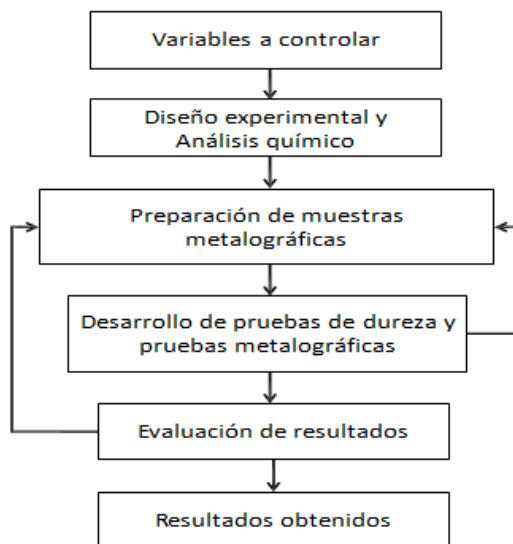
Los rodillos de laminación requieren de un mantenimiento preventivo después de cada campaña de laminación, este consiste en inspeccionar superficialmente para verificar que no existan grietas que pudieran propagarse durante la operación hasta que el rodillo sufra un accidente.

23 Metodología

El desarrollo del estudio se llevó a cabo con las siguientes actividades, se muestra a detalle en el diagrama de flujo representado en la Figura 3.1, y se describe detalladamente a continuación.

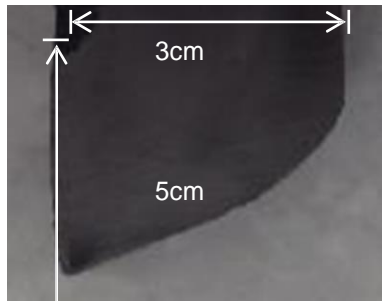
La preparación de las muestras, así como dureza superficial y el análisis químico metalúrgico se desarrollaron de acuerdo a los estándares establecidos en las normas ASTM correspondientes para cada caso en particular.

Figura 23.1 Diagrama de flujo de las actividades desarrolladas para este trabajo



El proyecto inicia con la selección de variables a controlar, posteriormente se obtiene la muestra utilizada en esta investigación, dicha muestra fue extraída de la cascara (capa) de un rodillo de trabajo de laminación en caliente que mide 68plg de largo (Tabla o ancho de cuerpo) y 32plg de diámetro, para extraer la muestra se utilizó un esmeril de corte abrasivo controlando la temperatura de calentamiento debido al corte y evitar alteraciones metalográficas, y por medio de un golpe desprender el material HSS que se utilizó para el desarrollo del estudio. El proceso de fabricación del rodillo fue por medio de un vaciado centrífugo dúplex, por lo que se considera la validación del proyecto a escala industrial. Debido a la técnica que se utilizó para extraer la muestra la geometría obtenida es de forma irregular, en la Figura 3.2 se representa gráficamente la forma final de la muestra. La parte más corta que mide 3cm corresponde a la superficie del rodillo, el cual es el área que estuvo en contacto directo con la lámina rolada, la parte lateral izquierda de la muestra mide 5cm y corresponde a la profundidad del material duro (Capa) que se obtiene en el proceso de vaciado centrífugo del rodillo.

Figura 23.2 Imagen de la muestra de acero HSS antes de la preparación para análisis



Para el desarrollo experimental se identificaron las áreas a analizar en la muestra, se hizo una subdivisión de las dimensiones de 3cm de ancho por 5 cm de alto, considerando espacios de aproximadamente 5mm, obteniéndose campos cuadrados de aproximadamente 25mm^2 , los cuales se analizaran metalográficamente para determinar la densidad de la microporosidad, y la densidad de carburos, el tamaño de grano y la macrodureza en cada campo de la muestra. La parte superior izquierda donde se ve quebrada la muestra no se tomó en cuenta para las pruebas

El análisis químico de la muestra de acero HSS se llevó a cabo en un Espectrómetro de luz visible. Para determinar la composición química de la muestra el método utilizado fue basado en la norma ASTM-E45, Método A (comparación), ASTM E-112, ASTM E-18.

La preparación metalográfica inicialmente se realizó en la desbastadora, en el cual se utilizaron lijas de 80, 180, 320, 600, 800, 1000 y 1200; posteriormente se procedió a pulir la muestra, en el cual se utilizó alúmina y pasta de diamante de $0.05\mu\text{m}$ sobre paños de marca LECO, hasta obtener una muestra con un acabado espejo.

Con el fin de determinar la dureza de la muestra del rodillo de acero HSS se efectuaron pruebas de dureza en un Durómetro con dureza regular Rockwell C, con una carga generada por el penetrador de 150kg con un tiempo de carga de 10seg, en total fueron 41 pruebas. Una vez efectuadas las pruebas de dureza, antes del ataque se llevó la muestra al microscopio metalográfico para obtener el porcentaje de microporosidad; posteriormente se atacó la muestra con Nital al 2% con un tiempo de ataque de 5segundos seguidos de 7segundos más que hicieron un total de 12 segundos de ataque.

Una vez atacada, la muestra se llevó al microscopio metalográfico donde se observaron los carburos y el tamaño de grano del acero HSS, esto se efectuó cerca de la marca de dureza para que los resultados sean confiables y observar si realmente influye la dureza de cierta parte de la muestra con respecto al tamaño de grano, el porcentaje de carburos y el porcentaje de microporosidad.

23.1 Resultados y Discusiones

Como se dijo anteriormente se hizo una subdivisión de campos de aproximadamente 25mm², y para seguir un orden se acomodó en una tabla de Excel dándoles números del 1 al 9 y letras de la A a la F consecutivamente, la tabla de Excel siguió el formato de la muestra de la figura 4.1. En la tabla 1.1 se observan los resultados de dureza de la muestra para los 41 campos, y en las tablas 1.2 y 1.3 se presentan los resultados obtenidos en el microscopio metalográfico de microporosidad y de carburos convertidos a porcentajes. El tamaño de grano en la mayor parte de los campos fue de 1 con la excepción del campo 1F que fue 6.73756, 2E que se obtuvo 4.53849 y 3D 7.68542 es por eso que no se incluye tabla para el tamaño de grano.

Tabla 23 Resultados de dureza en los 41 campos de la muestra de acero HSS

	A	B	C	D	E	F
1		57.5 HRC	61.6 HRC	57.1 HRC	57.2 HRC	56.5 HRC
2		54.2 HRC	63.6 HRC	59.1 HRC	57.3 HRC	57.3 HRC
3		58.4 HRC	62.9 HRC	56.1 HRC	56.8 HRC	57.5 HRC
4	56.1 HRC	64.2 HRC	62.1 HRC	54.7 HRC	56.9 HRC	57.4 HRC
5	56.8 HRC	65.5 HRC	62.7 HRC	52.8 HRC	56.8 HRC	56.8 HRC
6	57.1 HRC	66.5 HRC	62.5 HRC	52.1 HRC	56.2 HRC	
7	64.2 HRC	66.8 HRC	62.2 HRC	55.5 HRC		
8	63.9 HRC	66.8 HRC	61.1 HRC			
9	65.2 HRC	65.5 HRC				

Tabla 23.1 Resultados de porcentajes de microporosidad en los 41 campos de la muestra de acero HSS

	A	B	C	D	E	F
1		6.493422	0.730672	0.737171	0.99156	2.271862
2		6.363442	0.64897	0.5487	1.362931	2.405555
3		5.00051	0.3555877	0.313808	1.057478	1.745443
4	3.373905	0.887576	0.242319	0.691678	0.724173	2.244009
5	1.964552	0.410364	2.008188	2.926403	1.791865	2.848415

6	3.454678	0.781735	0.833727	1.157749	4.342255	
7	0.616475	0.316593	4.241985	2.78621		
8	0.72603	0.552414	1.028697			
9	0.590479	0.533845				

Tabla 23.2 Resultados de porcentajes de carburos en los 41 campos de la muestra de acero HSS

	A	B	C	D	E	F
1		5.415517	11.486505	4.295834	4.903025	4.358038
2		7.857282	9.518238	7.316937	5.181554	6.71253
3		8.669656	8.95654	8.665014	5.439656	5.743252
4	7.583396	8.347491	7.238949	10.765117	7.208311	6.767308
5	6.022709	7.309509	7.032838	10.17835	7.300225	6.095126
6	9.02153	8.546175	6.310521	7.582467	5.412732	
7	6.325376	10.380748	7.81086	7.369857		
8	6.924212	8.898977	7.381927			
9	9.010389	9.397543				

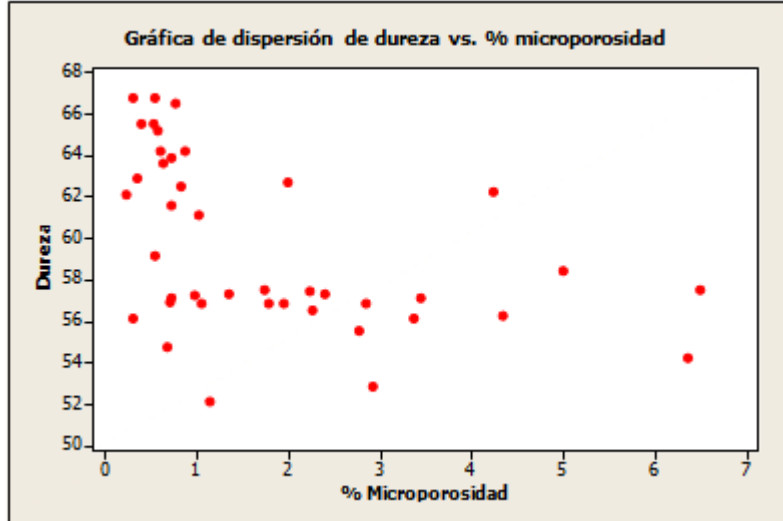
La composición química de la muestra de acero HSS utilizada en este trabajo es mostrada en la Tabla 23.3 en donde se puede observar los altos contenidos de Cromo, Níquel, Molibdeno y Vanadio;

Tabla 23.3 Composición química de la muestra de acero HSS

Elemento	C	Mn	P	S	Si	Cu	Cr	Ni	Mo
%	1.673	0.406	0.023	0.009	0.762	0.070	6.904	0.949	2.179
Elemento	Al	V	Cb	Ti	Sn	Al sol	Ca	B	
%	1.014	4.276	0.019	0.004	0.009	0.003	0.0016	0.0001	

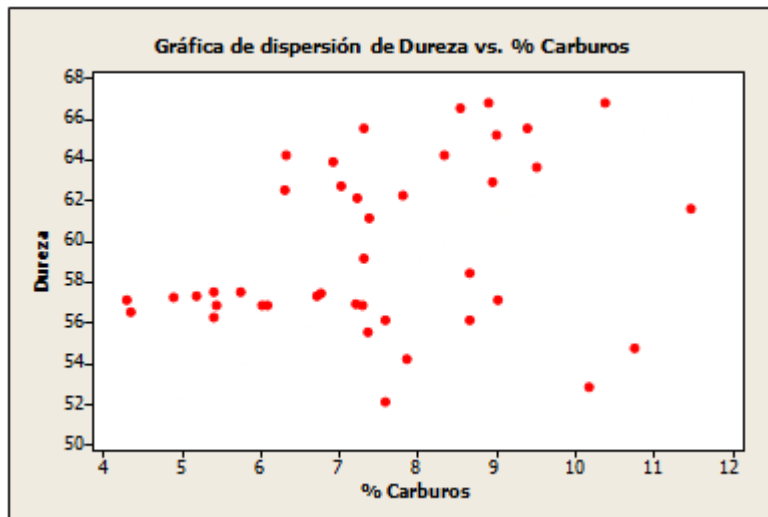
Con el método estadístico desarrollado se muestra una gráfica de correlación (dispersión) 1.1, en la que se presenta la variación de dureza contra el porcentaje de microporosidad, comprobando que si existe una relación entre las dos variables. En la gráfica 23 se observa que a baja microporosidad de 0 a 1% en el acero HSS nos genera durezas hasta de 66.8HRC.

Gráfica 23 Valores de dureza contra porcentaje de microporosidad



En la gráfica 23.1 en la que se presenta la dureza contra el porcentaje de carburos, se comprueba que el porcentaje de carburos si tiene efecto sobre la dureza. En la siguiente gráfica se observa que de medios a altos carburos 6.3 a 11.5% nos generan durezas mayores a 62HRC.

Gráfica 23.1 Valores de dureza contra porcentaje de carburos



23.2 Conclusiones

Analizando los resultados obtenidos de la muestra de acero de alta velocidad se concluye lo siguiente.

El porcentaje de carburos incrementa la dureza.

El porcentaje de microporosidades disminuye la dureza.

La mayor dureza se obtiene con altos porcentajes de carburos y bajos porcentajes de microporosidad.

Para obtener las mejores durezas de 62 a 67HRC en el acero HSS se debe obtener microporosidades bajas de 0 a 1% y carburos de medios a altos de 6.3 a 11.5%.

Haciendo un análisis de la dureza, del porcentaje de microporosidad y del porcentaje de carburos, se puede confirmar que la dureza está en función de la cantidad de carburos, los elementos de aleación y la densidad de microporosidades.

23.3 Referencias

J. M. Artimez ⁽¹⁾, José García ⁽²⁾, J. M. Llano ⁽²⁾, M. Alvaré ⁽²⁾, J. Belzunce ⁽³⁾, (2008). Caracterización de los carburos MXCY presentes en aceros rápidos para cilindros de laminación bimetálicos procesados por colada centrifugada ¹Fundación ITMA. PEPA, Asturias (Spain). ²Fundición Nodular, S.A. –Asturias (Spain) ³E.P.S. de Ingeniería (Universidad de Oviedo), Campus Universitario, Asturias., Pág. 3-10

Martha Patricia Guerrero Mata, (1993). Tesis Modelación térmica en Rodillos de Laminación, Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica.. Pág. 5-6

Alfonso Hernández ⁽²⁾, Luis Alfonso Borjon ⁽²⁾, Waldemar Braatz ⁽³⁾, Marcelo Rebellato ⁽³⁾, Rumualdo Servin ⁽⁴⁾, Laura G. Castruita ⁽⁴⁾ (2011). Control en el consumo de rodillos de apoyo (5%cr), utilizados en los molinos de laminación en caliente (1) Technical Contribution to the 48th International Congress of the ABM, , Santos– SP – Brazil. (2) – Altos Hornos de México S.A de C.V., (3) - villares Rolls, (4) – Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica-uadec. Pág.2-11.

Alfonso Hernández, Luis Alfonso Borjon, Waldemar Braatz, Marcelo Rebellato, Rumualdo Servin, Laura G. Castruita (2011). Control de desgaste y desbaste de rodillos de apoyo, para un molino de laminación en caliente. Pág. 2-3.