INFLUENCIA DEL TI Y EL V EN EL CONTEO DE NÓDULOS EN HIERROS NODULARES.

T. Rodríguez Moliner[1], C. de Francq[2], E. Wettinck[3], A. Parada[4] U. Ordoñez[5], F. Martínez Aneiro[6]*

- ✓ Este artículo forma parte del "Volumen Suplemento" **S1** de *la Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales* (*RLMM*). Los suplementos de la RLMM son números especiales de la revista dedicados a publicar memorias de congresos.
- ✓ Este suplemento constituye las memorias del congreso "*X Iberoamericano de Metalurgia y Materiales (X IBEROMET)*" celebrado en Cartagena, Colombia, del 13 al 17 de Octubre de 2008.
- ✓ La selección y arbitraje de los trabajos que aparecen en este suplemento fue responsabilidad del Comité Organizador del *X IBEROMET*, quien nombró una comisión *ad-hoc* para este fin (véase editorial de este suplemento).
- ✓ La *RLMM* no sometió estos artículos al proceso regular de arbitraje que utiliza la revista para los números regulares de la misma.
- ✓ Se recomendó el uso de las "Instrucciones para Autores" establecidas por la *RLMM* para la elaboración de los artículos. No obstante, la revisión principal del formato de los artículos que aparecen en este suplemento fue responsabilidad del Comité Organizador del *X IBEROMET*.

Suplemento de la Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales 2009; **S1** (2): 753-756

INFLUENCIA DEL TI Y EL V EN EL CONTEO DE NÓDULOS EN HIERROS NODULARES.

T. Rodríguez Moliner[1], C. de Francq[2], E. Wettinck[3], A. Parada[4] U. Ordoñez[5], F. Martínez Aneiro[6]*

[1,4,5,6] Departamento de Tecnología. Facultad de Ing. Mecánica, Centro Universitario José Antonio Echeverría;
[2]Centro de Investigaciones del hierro Fundido, Gante, Belgica.
[3] *Laboratorio de Materiales no Ferrosos, Universidad de Gante, Bélgica.*

** E-mail: tania@mecanica.cujae.edu.cu*

Trabajos presentados en el X CONGRESO IBEROAMERICANO DE METALURGIA Y MATERIALES IBEROMET
Cartagena de Indias (Colombia), 13 al 17 de Octubre de 2008
Selección de trabajos a cargo de los organizadores del evento

Publicado On-Line el 29-Jul-2009
Disponible en: *www.polimeros.labb.usb.ve/RLMM/home.html*

Resumen

El objetivo del siguiente trabajo es el estudio de los efectos de pequeñas cantidades de Ti y V en el conteo de nódulos de hierros nodulares ferríticos. Se ha observado, inexplicablemente, en muestras con muy bajos contenidos de estos elementos conteos de nódulos mayores que en aquellas con niveles más altos [1,2].

En el siguiente artículo se comparan muestras con niveles bajos y altos de titanio y vanadio en cuanto a los conteos de nódulos que presentan, así como sus propiedades mecánicas.

Con los resultados de este trabajo se demuestra que ambos elementos tienden a disminuir de manera efectiva el conteo de nódulos, aun cuando están presentes en muy pequeñas proporciones. Esto explica los mayores conteos experimentados en aquellos procesos que producen hierros nodulares ferríticos as-cast, partiendo de chatarra de acero.

Palabras Claves: *conteo de nódulos, hierros nodulares, titanio, vanadio*

Abstract

The aim of this research is to study the effects of minor quantities of Ti and V in the nodule count of as-cast ferritic ductile iron. Unexplainable higher nodule counts have been observed in certain ferritic ductile iron.

The present paper compares samples with two different levels of Ti and V, taking into account the nodule counts and the mechanical properties obtained.

The results of this research show that indeed the Ti and V reduce the nodule count in ductile iron, and explain the higher nodule counts obtained in processes that produce as-cast ferritic ductile iron from steel scrap.

Keywords*: nodule count, ductile iron, titanium, vanadium*

1. INTRODUCCIÓN

El conteo de nódulos en hierros nodulares es un factor estructural importante, ya que puede determinar en cierto grado la estructura de la matriz a obtener y consecuentemente influir en las propiedades mecánicas del mismo.

En experimentos desarrollados para producir hierros nodulares ferríticos partiendo de chatarra de acero, se encontraron resultados inexplicables en cuanto a los conteos de nódulos. Estos eran superiores a los logrados en los procesos más comunes de producción de este tipo de material a partir de arrabio.

Comparando las composiciones químicas de muestras producidas por ambos procesos, se pudo observar diferencias en los contenidos de Ti y V presentes en las mismas. De aquí surgió la idea de estudiar los efectos de estos elementos en el conteo de nódulos para encontrar una explicación al fenómeno planteado.

El estudio fue realizado en dos series experimentales, para poder comparar los efectos de estos elementos no solo en la cantidad de nódulos sino también en las propiedades mecánicas de las muestras.

2. DESARROLLO EXPERIMENTAL

Dos series de experimentos fueron llevados a cabo con bajos y altos niveles de Ti y V, (C y D respectivamente) para estudiar el efecto de estos elementos en el conteo de nódulos. El nivel bajo consistía en contenidos de 0.005% Ti y 0.002% V, y el alto en 0.08% Ti y 0.045% V. Estos contenidos son similares a los de hierros nodulares producidos a partir de chatarra de acero y arrabio respectivamente.

Para fundir cada una de las series se usó un horno de inducción de 150 Kg. El material de carga consistió en chatarra de acero de bajo manganeso, grafito y FeSi. Se hicieron 5 vertidos sucesivos para crear las muestras de la C1 a la C5. En cada vertido se fundieron bloques en Y de 25 mm de espesor. Los tratamientos de nodulación e inoculación fueron realizados en la cazuela y en las proporciones que se muestran en la tabla 1. Esto se llevó a cabo de manera progresiva, usando adiciones cada vez más pequeñas de inoculantes. Esto permitía para la misma composición química tener diferentes niveles de conteos de nódulos. Todos los tratamientos fueron realizados a la misma temperatura. El vertido en el molde se llevó a cabo en todos los casos 30 segundos después de haber inoculado.

Para mantener constante la composición química del metal fundido cada vez que se vertía una cazuela, se le añadía FeSi al horno para complementar la disminución en la cantidad de inoculante a usar posteriormente.

Tabla 1. Cantidad de Nodulizante e inoculante usado para cada una de las muestras.

Serie C	*Serie D*	*NiMg(%)*	*Inoculante (%)*
C1	D1	0,6	0,8
C2	D2	0,6	0,6
C3	D3	0,6	0,4
C4	D4	0,6	0,3
C5	D5	0,6	0,15

Un procedimiento similar fue seguido para generar la serie D, solo que en este caso a la carga se le añadió FeTi y FeV para lograr contenidos más altos de estos elementos.

Siguiendo este procedimiento se obtuvieron fundiciones nodulares con composiciones químicas similares pero que diferían en su conteo de nódulos.

3. RESULTADOS Y DISCUSION

Tal como se puede apreciar en la Tabla 2 las diferencias en composición química excepto por el caso de los elementos en estudio son insignificantes.

De esta manera se puede estudiar el efecto de dos niveles de Ti y V de una manera sistemática analizando su efecto para diferentes conteos de nódulos.

Tabla 2. Composición química de cada una de las muestras fundidas en %.

Muestra	C	Si	Ni	Mg	Ti	V
C1	3.73	2.47	0.5	0.053	0.005	0.002
C2	3.7	2.52	0.54	0.059	0.005	0.002
C3	3.65	2.48	0.52	0.055	0.005	0.001
C4	3.64	2.49	0.55	0.057	0.006	0.002
C5	3.56	2.47	0.55	0.054	0.005	0.002
D1	3.64	2.55	0.47	0.05	0.077	0.045
D2	3.63	2.53	0.49	0.05	0.079	0.045
D3	3.59	2.6	0.5	0.052	0.08	0.045
D4	3.52	2.6	0.5	0.051	0.081	0.045
D5	3.45	2.55	0.48	0.048	0.082	0.045

Otros: Mn (0.15-0.18%), P (0.013%), S (0.009%), Cr (0.03-0.05%), Cu 0.01 Al(0.003-0.007%) Pb (0.002-0.003%)

De las barras fundidas se realizaron análisis microestructurales, para medir las cantidades relativas de fases presentes y realizar el conteo de nódulos. También se realizaron ensayos de propiedades mecánicas de cada una de las muestras.

Tabla 3. Resultado de las mediciones microestructurales realizadas a cada una de las muestras.

Muestra	*Nna*	*g%*	*P%*	*F%*
C1	273	13	1	86
C2	242	12	1	87
C3	196	13	1	86
C4	223	13	1	86
C5	179	13	2	85
D1	224	11	1	88
D2	205	10	1	89
D3	186	12	1	87
D4	179	12	1	87
D5	133	13	6	81

Nna: conteo de nódulos en un área de 1mm^2, g, P y F: grafito, perlita y ferrita respectivamente en porciento

Los análisis microestructurales fueron llevados a cabo cortando la sección transversal de cada una de las barras a 20mm del extremo. Usando una rejilla de 1mm2 y un aumento de 100X se llevaron a cabo 12 mediciones en la misma región en todas las muestras. El promedio de dichas mediciones para cada muestra se presenta en la Tabla 3.

En la figura 1 se han graficado los conteos de nódulos para cada una de las muestras, lo que permite analizar claramente los resultados obtenidos. Tal como se muestra en la tabla 3 y la figura 1 hay diferencias entre el conteo de nódulos de la serie baja y alta. Se observa que la misma se mantiene para los diferentes niveles de conteos de nódulos. Aunque una diferencia de entre 40 y 50 nódulos/mm^2 pueda parecer pequeña, esta puede representar diferencias de hasta 5000 nódulos en el volumen de la muestra. (Nnv = 2.38Nna$^{1.6}$)[3].

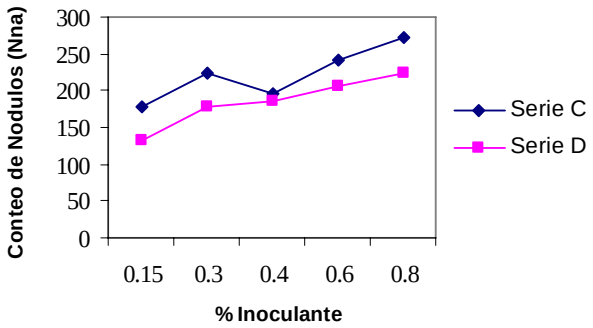


Figura 1 Variación del conteo de nódulos (Nna nódulos/mm2) con respecto a la cantidad de inoculante usado.

En la Figura 2 se puede observar la microestructura de las diez muestras analizadas, donde se puede apreciar las diferencias en conteos de nódulos entre ellas.

En la Tabla 4 se muestra las diferentes propiedades mecánicas medidas en cada una de las muestras. Se puede observar que las propiedades prácticamente no varían dentro de una misma serie.

En otras palabras, para nuestras condiciones las propiedades mecánicas son independientes del conteo de nódulos. Hay que tener en cuenta que la estructura de las muestras es ferrítica en la totalidad de las muestras. Esto corrobora resultados anteriores de Loper et al [4]

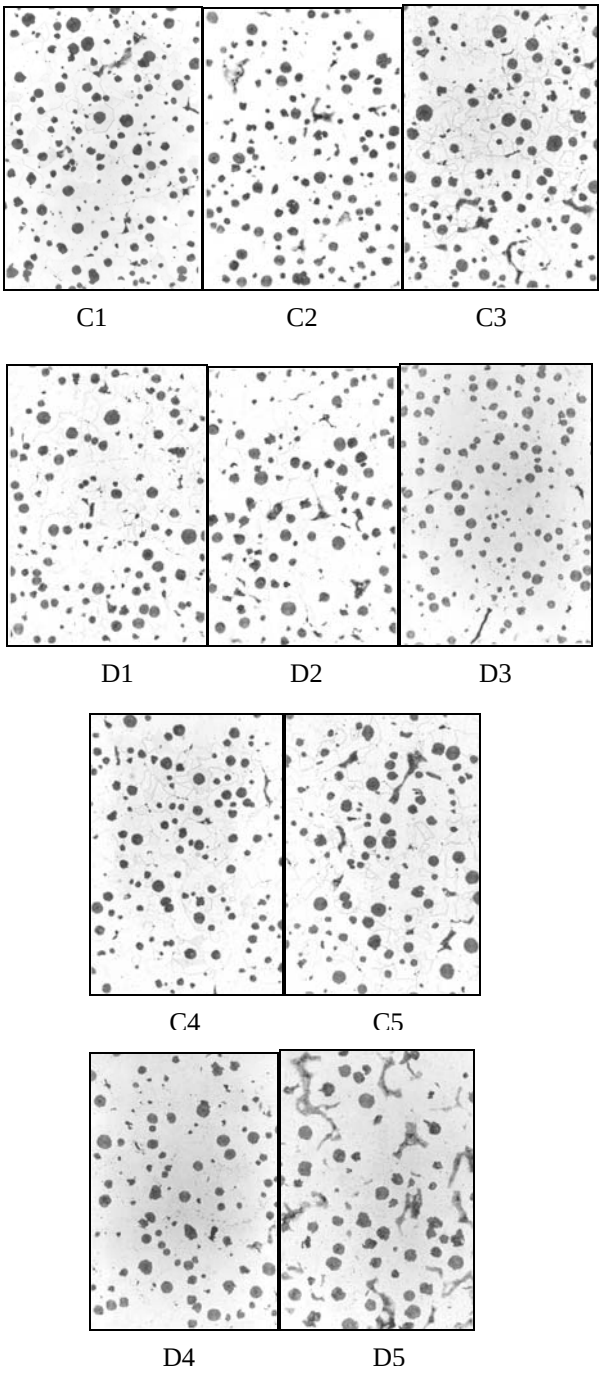


Figura 2 Microestructura de las diferentes muestras observadas al microscopio óptico a 100X. Atacadas con Nital al 2%.

Comparando la serie C y la D, se observa que las variaciones en las propiedades mecánicas son mínimas. En el caso de la serie de bajo titanio y vanadio presentan ligeramente menores resistencias mecánicas y una elongación ligeramente mayor que las de la serie de mayores contenidos de estos elementos.

Ambos elementos tienden a endurecer la ferrita proporcionando mayor resistencia y dureza, y por lo tanto menores valores de elongación.

Tabla 4. Propiedades mecánicas obtenidas en cada una de las muestras.

Muestra	*Rm(MPa)*	*$R_{0.2\%}$(MPa)*	*A %*	*HBS*
C1	**421**	**306**	**22,8**	**157**
C2	**425**	**306**	**21,5**	**158**
C3	**425**	**300**	**22,4**	**159**
C4	**425**	**302**	**22,85**	**158**
C5	**425**	**306**	**21,7**	**156**
D1	**453**	**332**	**20,2**	**164**
D2	**445**	**323**	**19,6**	**167**
D3	**445**	**333**	**19,8**	**164**
D4	**445**	**325**	**20**	**165**
D5	**445**	**325**	**19,6**	**164**

Rm: Resistencia a la tracción, $R_{0.2\%}$ Limite de fluencia, A: Elongación, HBS: Dureza Brinell.

4. CONCLUSIONES

Con los siguientes experimentos se demuestra que el Ti y el V tienen gran influencia en el conteo de nódulos aun estando presentes en muy pequeñas proporciones. Estos elementos disminuyen la cantidad de nódulos cuando aumenta ligeramente su contenido en el metal fundido. Aunque está todavía en debate el mecanismo por el cual se forman los nódulos de grafito la interacción negativa de ambos elementos en estudio en la actividad del carbono (e_C^V=-0.077, e_C^{Ti}=-0.16) pudiera ser una explicación preliminar al fenómeno ya que de acuerdo a investigaciones anteriores [5], reducciones en la actividad del carbono disminuye su movilidad y por tanto el conteo de nódulos.

Este trabajo explica los mayores conteos de nódulos obtenidos en el proceso Wilman [1], así como las interrogantes planteadas en otras investigaciones.

Se corroboró que la variación en conteo de nódulos no afecta las propiedades mecánicas, siempre y cuando las muestras presenten estructuras similares de la matriz, así como composición química.

5. AGRADECIMIENTOS

La autora principal quisiera agradecer a todo el personal del Centro de investigaciones del Hierro Fundido, Gante, Bélgica por su incondicional ayuda al desarrollo de este trabajo.

6. REFERENCIAS

[1] C.F.Wilford, J:A.Behring. A new technique for production of as-cast ductile iron. Modern castings, May 1992.

[2] T. Rodriguez. Production of as-cast ferritic ductile iron using high-manganese steel scrap, Tesis doctoral, 1997.

[3] F. Lietaert. A new approach to quality nodular graphite structures and inoculation efficiency of nodular cast irons. La Fonderie Belge, No 4, 1978.

[4] C.R. Loper, R.W. Heine. The effect of processing variables on ductile iron quality. Modern casting, October 1965.

[5] J. Bast, V Solovjov. The influence of chemical elements on graphite precipitation in the solidification of molten cast irons. Gieseerei, May 1995.