

ADI: Obtención de ausferrita a partir de fundiciones esferoidales y su uso

José Crisanti*

Se analiza cómo es posible mejorar las propiedades mecánicas de las fundiciones de hierro gris con grafito esferoidal mediante tratamientos térmicos con el fin de reemplazar la utilización de aceros forjados de baja aleación para la fabricación de cigüeñales, engranajes y elementos componentes de máquinas.

El presente trabajo consiste en la Investigación Tecnológica del Proceso de Fabricación de las fundiciones ADI ó Ausferrita partiendo de Fundiciones Esferoidales de buena calidad.

Se analizan y establecen las variables fundamentales a tener en cuenta en la selección de las fundiciones esferoidales a fin de lograr éxito en el tratamiento térmico realizado.

Se hace notar que normalmente las empresas que fabrican Ausferrita, lo realizan bajo licencia.

Esta tarea se realizó en las instalaciones del Laboratorio de Ensayo de Materiales y Metalografía de la Escuela Superior Técnica del Ejército; la misma incluye los tratamientos térmicos básicos, las metalografías, la construcción de probetas y los ensayos mecánicos.

Desarrollo

I. Definición:

“ADI es un hierro fundido nodular, aleado o no, tratado térmicamente, cuya matriz contiene ferrita acicular y austenita de alto carbono, donde tales microconstituyentes en conjunto, son llamados ausferrita”

II. Interés comercial

- Sustitución de varios materiales, principalmente aceros forjados, por combinar simultáneamente alta resistencia mecánica y tenacidad
- Versatilidad en el proceso de fundición
- Economía de energía que puede llegar al 50%

* Docente de la Facultad de Ingeniería - UP.

III. Clases de ADI según norma ASTM-A 897M-1990

Propiedades Mecánicas Especificadas					
Clase	LR (Mpa)	LE (Mpa)	A (%)	I (J)	Dureza (HB)
1	850	550	10	100	269—321
2	1050	700	7	80	302—363
3	1200	850	4	60	341—444
4	1400	1100	1	35	388—477
5	1600	1300	—	—	444—555

IV. Ventajas del ADI

A) Excelente combinación entre RM (resistencia mecánica) y T

	LR (Mpa)	LE (Mpa)	Dureza (HB)	A (%)
F. Nodular en Bruto (F/P)	400—960	260—610	130—300	28—3
F. Nodular Templada y Revenida	600—1300	500—1500	300—400	5—1
Acero templado y Revenido	700—1800	450—1450	210—510	25—8
ADI	800—1600	600—1400	210—480	16—1

B) Excelente relación Peso / Resistencia

C) Alta Resistencia al desgaste

Resistencia relativa a la abrasión

St37 145HB 25CrMo4 304HB ADI 310—350 HB Fund. Blanca 605-815 HB

D) Excelente maquinabilidad

E) Baja deformación al tratamiento térmico

F) Baja sensibilidad a la entalla

V. Evolución Histórica

Años 30: Austemperado de aceros (Harvester International)

Años 60: Primeras publicaciones sobre nodular austemperado

Años 70: Inicio de la fabricación de engranajes en ADI (EEUU y Finlandia)

Inicio de la fabricación de engranajes en ADI en 4000 autos Pontiac

Años 80: Primeros simposios internacionales

Actualmente: Industria automovilística, textil, minería, construcciones y ferroviaria

VI. Obtención de ADI

a. Fundición:

Piezas por debajo de 25 mm de espesor: N° de Nódulos /mm² >150 y
Grado de nodularización >95%

Piezas por encima de 25 mm de espesor: N° de Nódulos /mm² =150 y
Grado de nodularización =85%

b. Tratamiento térmico

c. Reacción de austemperado

Etapa I: $\gamma \longrightarrow \alpha + \gamma$ (alto carbono)

Etapa II $\gamma \longrightarrow \alpha + \text{carburos}$

Los mayores valores de tenacidad y RM ocurren en los intervalos entre la 1ª y 2ª etapa, por tratarse de un tiempo de austemperado donde se obtiene un máximo de austenita retenida de alto carbono.

Llamamos a ese intervalo como ventana ò brecha del proceso

$\gamma \longrightarrow \alpha + \gamma$ (alto carbono)

Austemperado alrededor de los 370 °C

Microestructura obtenida: Ausferrita gruesa: 60% de Ferrita y 40% de Austenita

Propiedades mecánicas: LR = aprox.1000 Mpa con un Alargamiento entre 10 a 15 %

Austemperado alrededor de 250 °C

Microestructura obtenida: Ausferrita fina: 85% de Ferrita y 15 % de Austenita

Propiedades mecánicas: LR = aprox.1600 Mpa con un Alargamiento aprox.= 1 %

Composición química:

Hierro base	
CE = 4,4—4,6 % (hasta 13 mm)	Mg = 0,025—0,060 %
CE = 4,3—4,6 % (de 13 a 50 mm)	S = 0,020 %
CE = 4,3 -4,5 % (arriba de 50 mm)	O = 50 ppm
C = 3,4 -3,8 %	Cu = 0,20—0,80 %
Si = 2.2—2,6 %	Ni = 0,20—2,00 %
Mn = 0,35 máx. %	Mo = 0,10—0,30 %
Mn = 0,60 máx. %	

Composición química: influencia de los elementos de aleación

Grupo I formadores de carburos (se agregan en los contornos de las células)
Mg, Cr, Mn, Mo

Grupo II: No formadores de carburos (se agregan en la interfase grafito-metal y en la dendrita)
Ni, Cu, C, Si, Sn, Sb

Efectos de los principales elementos de aleación en la reacción de austemperado
Mn (grupo I):

- Reduce la temperatura de austenización
- Se agrega en los contornos de las células eutécticas perjudicando la reacción de austemperado
- Aumenta la solubilidad y disminuye la difusividad del carbono en la austenita
- Estabiliza la austenita y retarda la nucleación y velocidad de crecimiento de la ferrita acicular

Mo (Grupo I):

- Adicionado con el objetivo de aumentar la austemperabilidad
- Segrega hacia los contornos de los granos y forman carburos eutécticos reduciendo la ductilidad y la maquinabilidad
- Aumenta la temperatura de austenización y atrasa la reacción de austemperado
- Atrasa la Etapa II de austemperado, aumentando la ventana del proceso

Cr-V-Ti-Ca-Mg: (grupo I)

- Son formadores de carburos, pueden encontrarse en menor concentración
- Poseen pequeña influencia en el ADI

Si (grupo II):

- Elemento más importante en los hierros fundidos
- Es grafitizante y se segrega inversamente.
- Reduce la solubilidad del carbono
- Acelera la difusión del carbono en la austenita

Ni (grupo II):

- Se agrega para aumentar la austemperabilidad
- Se agrega menos que el Mo y el Mn
- Actúa como barrera moderada a la difusión del carbono
- Retarda la formación de carburos bainíticos
- Arriba del 2 % puede formar martensita durante el enfriamiento

Cu (grupo II):

- Menor costo que los demás elementos
- Encima del 0,8 % pierde su efecto causando la reducción de ductilidad y tenacidad
- Por tratarse de un elemento perlitizante, aumenta el tiempo necesario para saturar la matriz de carbono durante la austenización
- Su efecto sobre la difusividad del carbono en la austenita no es significativo

VII. Variables que influyen en el austemperado del ADI.

A) Temperatura de austenización

- Es función de la composición química
- Si y Mo aumentan la T_{γ} ? (temperatura de austenización)
- Mn disminuye la T_{γ} ?
- Tiene una marcada influencia en las propiedades mecánicas: Temperaturas más bajas aumentan la RM y la ductilidad

B) Tiempo de austenización

Depende de tres factores:

- De la matriz de la pieza bruta de fundición
- De la movilidad del carbono entre los nódulos de grafito
- Del tamaño y número de nódulos de grafito

C) Velocidad de enfriamiento

- Debe ser rápido; lo suficiente para evitar la formación de ferrita y perlita
- Hacer que toda la sección de la pieza alcance rápidamente la temperatura de austemperado

D) Temperatura de austemperado:

- Varía de 230 a 400 °C
- Temperaturas bajas : Alta RM y baja tenacidad
- Temperaturas altas: Baja RM y alta tenacidad

E) Tiempo de austemperado

- La reacción debe ser interrumpida antes de iniciarse la Etapa N° II
- Depende de la composición química
- Tiempos cortos son insuficientes para saturar el carbono de la austenita
- Tiempos muy largos harán que la etapa II de la reacción se alcance y ocurra una precipitación de carburos

VIII. Aplicaciones de ADI

Engranajes:

- Engranajes hipoidales para autos de tracción trasera
- Cajas de cambio en general
- Accionamiento de laminadores
- Engranajes para hornos de cemento
- Engranajes de distribución para motores diesel

Cigüeñales:

- Para acondicionadores de aire y refrigeradores
- Para motores de combustión
- Carcasa de acoplamiento del sistema de dirección
- Ejes comando de válvulas para motores a nafta
- Soporte de fijación de motores
- Equipamiento para minería, movimientos de tierra y construcción
- Componentes para industria ferroviaria
- Soporte de hojas de resortes para camiones pesados

IX. Valores obtenidos en Laboratorio

Se ensayaron 6 probetas de tracción fabricadas de bloques Y de ala de 13 mm, de fundición esferoidal, elaboradas en horno de inducción de media frecuencia, con la siguiente composición:

C = 3,57% Si = 2,95 % Mn = 0,20 % Mg = 0,054 % Cr = 0,031 % Cu = 0,026 %

Las seis probetas se austenizaron a 910 °C por una hora, en horno de mufla, con atmósfera de nitrógeno; **luego, tres de las seis probetas, se austemperaron a 370 °C,**

durante una hora y cinco minutos, en baño de sales de nitrito/nitrato/agua y luego se enfriaron en agua.

La microestructura obtenida fué:

Ausferrita gruesa: 60% de Ferrita y 40% de Austenita

Propiedades mecánicas promedio: LR = 1075Mpa ; LE = 820Mpa, con un A = 8 %

Las otras tres probetas de tracción restantes, se austemperaron a 250 °C, durante una hora y veinte minutos, en baño de sales de nitrito/nitrato/agua y luego se enfriaron en agua.

La microestructura obtenida fue: Ausferrita fina: 85% de Ferrita y 15 % de Austenita

Propiedades mecánicas promedio: LR = 1425Mpa ; LE = 1170Mpa, con un A = 2 %

Conclusiones

Los valores obtenidos durante las pruebas de Laboratorio corroboran que es posible alcanzar en la práctica industrial las exigencias establecidos en la Norma ASTM A 897M-1990, sin utilizar el “know how” provisto por el uso oficial de licencias.

