

Proyecto

Evaluación y caracterización de la dureza de un hierro nodular con carburos antes y después del tratamiento de austemperizado.

Responsable: M. en I. Agustín Gerardo Ruiz Tamayo, Área de Fundición y Materiales, Departamento de Ingeniería Metalúrgica.

Introducción

El hierro nodular austemperizado con carburos (CADI, Carbide Austempering Ductile Iron) describe una familia de los hierros dúctiles, con la cantidad deseada de carburos y ausferrita dentro de la matriz después de realizar el tratamiento de austemperizado. La cantidad de carburos presentes en la matriz depende del uso final de la pieza con un rango típico de 10-30% de carburos. Las propiedades de la ausferrita que rodea el carburo se determinan mediante la selección de los parámetros de tratamiento térmico.

Los métodos más comunes que se usa para generar carburos dentro de la matriz de un hierro nodular son:

- Incorporar elementos estabilizadores de carburos (principalmente Cromo, Molibdeno, Vanadio, Titanio).
- Control del %CE (control de los principales grafitizantes, Carbono y Silicio).
- Control del tratamiento de inoculación (Nivel de inoculación al mínimo).
- Velocidad de enfriamiento.

En el proceso de austempering el medio de enfriamiento (baño de sales) se mantiene a una temperatura superior a la temperatura de inicio de la transformación martensítica. Esto da como resultado el enfriamiento de austenita de FCC hasta la temperatura de enfriamiento. El material se mantiene a esa temperatura durante el tiempo necesario para producir la estructura acicular deseada. En los aceros, esa estructura es bainita, una estructura de ferrita acicular y carburo. En los hierros colados, principalmente en hierros dúctiles, con su mayor contenido de silicio, se obtiene una estructura intermedia llamada Ausferrita, la cual consiste de ferrita acicular y austenita estabilizada con carbono. Esta transformación isotérmica da como resultado una transformación uniforme de la estructura en toda la pieza.

Hipótesis.

Para un hierro nodular con carburos de colada, el efecto de la temperatura y tiempo de permanencia en el baño de sales definirá la formación de ausferrita en la matriz y por ende las propiedades mecánicas.

Objetivos.

- 1) Realizar y evaluar la caracterización metalográfica del hierro nodular con carburos de colada, antes y después del tratamiento de austempering para generar la información del porcentaje de carburos presentes en la matriz.

- 2) Evaluar la dureza Brinell del hierro nodular con carburos para cada una de las condiciones del tratamiento de austempering para comparar las mismas con lo reportado con la literatura y lograr garantizar un Hierro CADI.
- 3) Implementar la metodología de Diseño de Experimentos (DOE), para evaluar los factores (Temperatura y Tiempo) que controlarán el valor de una respuesta (Dureza).
- 4) **Evaluar la resistencia al desgaste del material austemperizado. (Sería el complemento para la tesis).**

Metas.

- Establecer las mejores condiciones de temperatura y tiempo del baño de sales para obtener un hierro CADI con las características que se menciona en la literatura.
- Identificar la variable que tiene mayor efecto sobre el tratamiento de austempering, mediante la aplicación del diseño experimental DOE.

Metodología.

A continuación, se describe de manera general el procedimiento experimental:

- 1) Selección del material.
- 2) Corte del material para los experimentos de austemperizado.
- 3) Caracterización del material antes del austemperizado (%nodularidad, densidad y tamaño de nódulos, matriz-cuantificación de carburos).
- 4) Ensayo de dureza Brinell del material antes del austemperizado.
- 5) Determinación de la temperatura de transformación martensítica a partir del análisis térmico.
- 6) Caracterización del material después del austemperizado (cuantificación de carburos y caracterización de la matriz).
- 7) Ensayo de dureza Vickers para medir dureza exclusivamente en la matriz.
- 8) Ensayo de dureza Brinell después del austemperizado.
- 9) Análisis de las variables establecidas de acuerdo al diseño de experimentos de la **Tabla 3**. Construir el ANOVA y diagrama de Pareto.

Los experimentos se harán en las siguientes condiciones:

- 1) Determinación de la temperatura Ms. El objetivo de esta prueba es para seleccionar la temperatura del baño de sales.

La prueba anterior se realizará por triplicado y se generará la **Tabla 1**.

Tabla 1. Formato de la tabla de resultados para la determinación de la Temperatura M_s

# Prueba	Temperatura Austenización (°C)	Temperatura M_s (°C)
A		
B		
C		

2) Tratamiento de Austemperizado.

Para los experimentos se considerará lo siguiente:

a) Variables fijas:

- Composición química del hierro nodular con carburos.
- Temperatura de Austenización: 920 °C.
- Tiempo de austenización: 30 minutos.

b) Las variables que no estarán fijas son:

- Temperatura del baño de sales: se establecerán 2 temperaturas, las cuales dependerá de los resultados obtenidos del análisis térmico (Determinación de la temperatura M_s).
- Tiempo en el baño de sales: 45 y 120 minutos.
- Para este caso la variable de interés es la dureza (HB).

Las variables (Factores) bajo estudio a dos niveles se muestran en la **Tabla 2**.

Tabla 2. Factores bajo estudio a 2 niveles.

Factores	Nivel bajo	Nivel alto
(A) Tiempo de permanencia en el baño de sales (min).	-	+
(B) Temperatura del baño de sales (°C).	-	+

En la **Tabla 3**, se muestra el diseño de experimentos factorial 2^2 .

Tabla 3. Matriz del diseño de experimentos.

Prueba	Notación de Yates	A	B
1	(1)	-	-
2	a	+	-
3	b	-	+
4	ab	+	+

Infraestructura. Para este proyecto se cuenta con:

- Hierro nodular con carburos.
- Equipo para la preparación y análisis metalográficos.
- Multímetro (Personal).
- Mufla.
- Termopar tipo K (Enchaquetado).
- Pintura refractaria. (Donación de INAFUSA).
- Baño de sales para el austemperizado. (Se pedirá el apoyo del Dr. Alejandro García, para el uso del horno del baño de sales).
- Adquisidor de datos (Se solicitará al DIM).
- Lap Top (Personal).
- Durómetro (Se solicitará el permiso al Mtro. Gerardo Aramburo para realizar el ensayo).
- Se cuentan con los materiales de consumo (disco de corte, lijas y paño).

Cronograma de actividades.

En la **Tabla 5** se muestra el cronograma de actividades que se llevará a cabo durante el semestre 2019-1.

Tabla 5. Cronograma de actividades para el alumno de la asignatura de proyecto.

Actividad	Semana
1. Revisión de Fundamentos teóricos y preparación del material (corte)	1, 2, 3.
2. Caracterización metalográfica del material antes del tratamiento de austemperizado. • Revisión en el avance del marco teórico (semana 4).	3, 4.
3. Ensayo de dureza del material antes del tratamiento de austemperizado. 4. Pruebas experimentales para determinar la temperatura de transformación martensítica a partir del análisis térmico	5, 6.
5. Pruebas experimentales de acuerdo al diseño de experimentos factorial. • Revisión en el avance del desarrollo experimental y análisis de las curvas de enfriamiento (semana 9).	7, 8, 9.
6. Caracterización metalográfica y ensayo de dureza del material con tratamiento de austemperizado.	10, 11.
7. Análisis de resultados. • Revisión en el avance de los resultados de la caracterización metalográfica y del ensayo de dureza (semana 13).	12,13,14.
8. Escritura del informe y entrega. • Revisión en el avance del análisis de resultados y conclusiones (semana 15).	14, 15 y 16

Observaciones.

Se cuenta con el alumno para este proyecto.