CORPORACIÓN MEXICANA DE INVESTIGACIÓN EN MATERIALES

DIVISION DE ESTUDIOS DE POST-GRADO

RECUPERACIÓN DE MONOBLOCK DE HIERRO GRIS MEDIANTE SOLDADURA.

POR

JUAN ANTONIO BUSTOS ALMANZA

MONOGRAFÍA

EN OPCION COMO ESPECIALISTA EN TECNOLOGÍA DE LA SOLDADURA INDUSTRIAL

SALTILLO, COAHUILA, 13 DE MARZO DEL 2006

Corporación Mexicana de Investigación en Materiales, S.A. de C.V.

Gerencia de Desarrollo Humano

División de Estudios de Postgrado

Los miembros del Comité Tutorial recomendamos que la monografía **"RECUPERACIÓN DE COMPONENTES POR SOLDADURA",** realizada por el alumno (a) **Juan Antonio Bustos Almanza**, con número de matrícula **04ES011** sea aceptada para su defensa como Especialista en Tecnología de la Soldadura Industrial.

El Comité Tutorial

M.C Gabriel García Cerecero

Tutor Académico

Dr. Luis G. De los Santos

Tutor en Planta

Dr,. Felipe Arturo Reyes Valdés

Asesor Técnico

M.C Claudia A. González Rodríguez

Vo.Bo.

Coordinador de Posgrado

INDICE

1. Síntesis
2. Objetivo
3. Justificación
4. Planteamiento de la problemática
5. Hierros
    - 5.1 Introducción
    - 5.2 Clasificación de los hierros
        - 5.2.1 Clasificación de los hierros grises
6. Metalurgia de los hierros
    - 6.1 Principios
    - 6.2 Metalurgia de los hierros grises
        - 6.2.1 Solidificación del hierro gris
        - 6.2.2 Efectos de los elementos de aleación en la micro estructura
    - 6.3 Propiedades mecánicas
        - 6.3.1 Pruebas usuales
    - 6.4 Tratamientos térmicos
        - 6.4.1 Tratamientos térmicos de los hierros
7. Soldabilidad de los hierros
    - 7.1 Introducción
    - 7.2 Soldabilidad
        - 7.2.1 Efecto de la forma del grafito
        - 7.2.2 Efectos del metal de aporte
        - 7.2.3 Transformaciones en zona de fusión
        - 7.2.4 Solidificación de la soldadura en la zona de fusión
    - 7.3 Procesos de soldadura aplicables a los hierros
        - 7.3.1 Soldadura por arco con electrodo revestido; SMAW
        - 7.3.2 Soldadura por arco con protección de gas; GMAW
        - 7.3.3 Soldadura oxiacetileno; OFW

7.4 Descripción del proceso de Soldadura oxiacetileno; OFW

7.4.1 Introducción

7.4.2 Principios

7.4.3 Ventajas y desventajas

7.4.4 Equipo y sus componentes

7.4.5 Seguridad en el proceso

7.4.6 Metodología de aplicación

7.4.6.1 Parámetros de control

7.5 Precauciones al soldar aleaciones de hierro gris (monoblock)

7.5.1 Antecedentes

7.5.2 Material de aporte

7.5.2.1 Identificación del material de aporte

7.5.2.2 Tipos de material de aporte

8. Procedimiento de reparación de monoblocks

8.1 Descripción

8.1.1 Precalentamiento

8.1.2 Preparación de la superficie

8.1.3 Aplicar material de aporte

8.1.4 Enfriamiento postsoldadura

8.1.5 Acabado de la pieza postsoldadura

8.2 Evaluación de la calidad de la pieza soldada

8.3 Habilidad del Soldador

8.3.1 Calificación de un soldador

8.3.2 Procedimiento de soldadura específico; (WPS)

8.3.3 Registro de resultados de procedimiento; (PQR)

8.4 Reparación de piezas de hierro gris en frío (a temperatura ambiente)

8.4.1 Descripción del proceso

8.4.1.1 Antecedentes

8.4.1.2 Desarrollo

8.4.2 Procedimiento sugerido

8.4.2.1 Ventajas

8.4.2.2 Desventajas

9. Conclusiones
10. Glosario
11. Listado de figuras y tablas
12. Bibliografía

1.

SÍNTESIS

La reparación de monoblocks por medio de soldadura, es una actividad que como vía alterna se tiene para recuperar piezas, que por presentar defectos superficiales menores se recuperan previa autorización de los clientes. En esta monografía se presenta la recopilación bibliográfica de conocimiento técnico, que puede apoyar en el establecimiento de procedimientos y practicas a seguir para la recuperación de piezas de hierro; con mayor grado de obtener resultados satisfactorios.

Se considero el análisis de todos los puntos clave en para el buen conocimiento de la compleja practica de recuperación por soldadura de piezas de hierro, particularmente los monoblocks de hierro gris. También se hace referencia a las pruebas de calidad que deben aplicarse a una pieza soldada, para validar su sanidad y propiedades mecánicas; tanto en la soldadura como en la zona afectada por el calor.

Como punto adicional y como una nueva alternativa, se presenta una breve información de un método que difiere mucho de la práctica tradicional de la reparación de piezas de hierro; ya que éste método se realiza a temperatura ambiente debido a que el material de aporte utilizado posee una ductilidad 300% mas que los electrodos comunes utilizados en hierros.

2.

OBJETIVO

Desarrollar un documental técnico de recopilación bibliográfico enfocado a la recuperación de monoblocks de hierro gris, mediante la reparación de defectos superficiales menores que se presentan en las fundiciones vaciadas de este tipo de aleaciones.

1.1 Objetivos del trabajo

Como objetivo del documental se consideran principalmente los siguientes contemplar los siguientes aspectos:

- la clasificación y caracterización de este tipo de componentes
- los procesos de soldadura las comúnmente utilizados para reparar defectos menores en piezas de hierro gris vaciado
- Análisis de los diferentes procesos de soldadura aplicables.
- Metodología de evaluación de calidad de la soldadura.

3.

JUSTIFICACIÓN

En la actualidad, es innegable es hecho de que las exigencias del mercado de la transformación son cada vez mas específicas; para lo cual los procesos productivos buscan siempre la optimización de recursos, con la finalidad de minimizar los costos de operación y maximizar la rentabilidad del negocio.

Si consideramos el alto costo de fabricación de piezas de hierro gris, como lo son los monoblocks; es inminente considerar la alternativa de la recuperación de las piezas vaciadas, que presenten defectos superficiales menores que a criterio y por autorización del cliente, pueden ser reparados; de lo contrario, repercutirá en perdidas millonarias.

La alta competitividad que la industria automotriz demanda, nos enfrenta a buscar alternativas que permitan la recuperación de piezas vaciadas de hierro gris; que por causas inherentes al proceso, presenten defectos superficiales menores que mediante estudios de factibilidad y desarrollo de procedimientos de soldadura, se obtengan piezas de calidad

4.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La compañía Cifunsa del Grupo Industrial Saltillo, dedicada a la fabricación de piezas vaciadas de hierro (monoblocks y cabezas de hierro); se ve en la necesidad de recuperar las piezas, que por algún motivo no cumplen con las especificaciones de calidad. Para ello se cuenta con un departamento de soldadura, en el cual se procede a la reparación de piezas que previamente fueron evaluadas y validada la factibilidad de recuperación bajo autorización de los clientes.

Los defectos que mas comúnmente se presentan en las piezas vaciadas son: poros, grietas, superficies rugosas. Por lo que el presente documento tiene como fin contar con información suficiente, que faciliten y fundamenten las mejoras al proceso de recuperación de dichas piezas por soldadura.

En Cifunsa se fabrican una gran variedad de piezas del tipo monoblock y cabeza de diferentes aleaciones de hierro gris; para los clientes GM, Chrysler, Nissan, Toyota, John Deer, otros; lo cual obliga a tener procesos alternos que permitan la recuperación de las piezas, que después de vaciadas presentan defectos superficiales menores, ya que estas son piezas costosas que si no se recuperan significa un derroche de utilidades significativo y un retrazo en el cumplimiento a tiempo de las piezas programadas por línea.

5.

Hierros

5.1 Introducción

Los hierros como los aceros, engloban una gran familia de aleaciones ferrosas. Los hierros vaciados son aleaciones de multicomponentes los cuales solidifican con un eutéctico. Son materiales (aleaciones Fe-C-Si) y frecuentemente elementos de aleación (> 0.1%). Debido al alto % de C, la estructura de los hierros es opuesta a la de los aceros, presentan una fase rica en carbón. Dependiendo primero de la composición, velocidad de enfriamiento y tratamiento en liquido, las piezas de hierro colado pueden solidificar de acuerdo al sistema termodinámicamente meta estable Fe–Fe_3C o al sistema estable Fe–Gr. Los monoblocks (Fig. 1) y cabezas son fabricados con este tipo de aleaciones, con las cuales se busca que cumplan: resistir altas temperaturas, vibraciones, resistencia a la corrosión, resistente a las vibraciones y funcionalidad de los componentes a condiciones de operación severas. Sin embargo, los hierros son materiales de soldabilidad baja a regular; por lo cual se debe tener especial cuidado antes, durante y después de aplicada la soldadura según el proceso desarrollado.

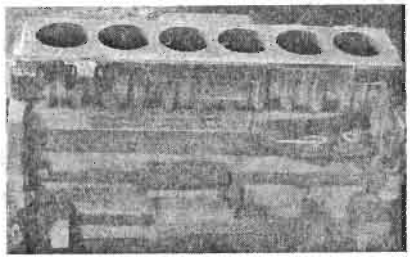

Fig. 1. Monoblock fabricado en hierro gris

5.2 Clasificación de los Hierros

Históricamente, la primer clasificación de los hierros se basó en su fractura; los dos inicialmente reconocidos:

1. Hierro Blancos; con fractura cristalina blanca, generada entre las placas de carburo de fierro (Fe_3C).
2. Hierros Gris; con fractura cristalina gris, generada en los planos de las laminillas de grafito.

Con los avances en la metalografía, y el incremento del conocimiento de las piezas vaciadas de hierro aumentó, otras clasificaciones basadas en la micro estructura fueron posibles; Tabla 1, y las de alta aleación o especiales Fig. 2

1. Forma del grafito: Laminar (hojuela); esferoidal (nodular); grafito compacto (vermicular); y grafito temper, como resultado de una reacción en estado sólido (maleabilización).

2. Matriz: Ferrítica, Perlítica, Austénitica, Martensitica, Bainítica (Austemper).

Designación comercial	Fase de carbono	Matriz	Fractura	Estructura final después
Hierro gris	Grafito laminar	P	gris	Solidificación
Hierro dúctil	Grafito esferoidal	FPA	Gris-plateado	Solidificación o Trat. Térmico
Hierro de grafito compacto	Grafito vermicular compacto	F,P	Gris	Solidificación
Hierro blanco	Carburo de Fierro	P,M	Blanco	Solidificación y Trat. Térmico
Hierro moteado	Grafito laminar + Fe3C	P	Moteado	Solidificación
Hierro maleable	Grafito Temper	F,P	Gris - plateado	Trat. Térmico
Hierro dúctil austemperizado	Grafito esferoidal	At	Gris - plateado	Trat. Térmico

Tabla 1. Clasificación de los hierros como comercialmente se manejan en el común de los fundidores.

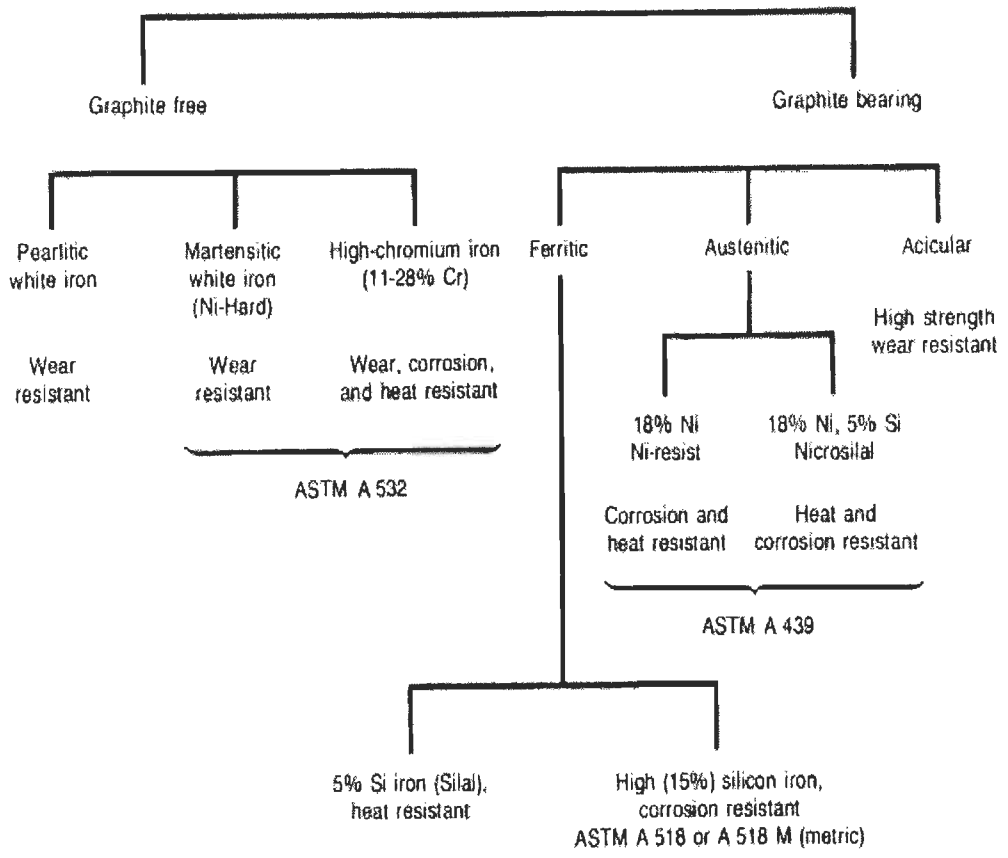

Fig. 2 Clasificación de hierros especiales de alta aleación.

5.2.1 Clasificación de los hierros grises

Las piezas de hierro gris para aplicaciones ingenieriles y automotrices, tabla 2; se dividen en 10 clases o grados, basado en la resistencia a la tensión mínima, como se enlista en la tabla 3. La dureza, matriz microestructural, composición química y sanidad radiográfica en varias combinaciones son algunas veces especificadas para cumplir requerimientos de servicio

El contenido de carbón en aleaciones de hierros grises, utilizados para la fabricación de monoblocks, andan en el orden de 3.1 a 3.8%; como se representa en el diagrama Fe-C; Fig 3

Grade	Typical uses	Grade	Typical uses
G1800	Miscellaneous soft iron castings (as-cast or annealed) in which strength is not a primary consideration	G3000	Automobile and diesel cylinder blocks, cylinder heads, flywheels, differential carrier castings, pistons, medium-duty brake drums and clutch plates
G2500	Small cylinder blocks, cylinder heads, air-cooled cylinders, pistons, clutch plates, oil pump bodies, transmission cases, gearboxes, clutch housings, and light-duty brake drums	G3500	Diesel engine blocks, truck and tractor cylinder blocks and heads, heavy flywheels, tractor transmission cases, heavy gearboxes
G2500a	Brake drums and clutch plates for moderate service requirements, where high-carbon iron is desired to minimize heat checking	G3500b	Brake drums and clutch plates for heavy duty service where both resistance to heat checking and higher strength are definite requirements
		G3500c	Brake drums for extra heavy duty service
		G4000	Diesel engine castings, liners, cylinders, and pistons
		G4000t	Camshafts

Tabla. 2 Aplicaciones de piezas automotrices en hierro gris.

Clase o grado	Resistencia a la tensión mínima, Ksi	Rango de dureza, HBb	Matriz microestructural
G 1800c	18	187 max	Ferrítico – perlítico
20d	20		
G 2500	25	170 a 229	Perlítico - ferrítico
25	25		
G 3000	30	187 a 241	Perlítico
30	30		
G 3500	35	207 a 255	Perlítico
35	35		
G 4000	40	217 a 269	perlítico
40	40		
45	45		
50	50		
55	55		
60	60		

Tabla 3. Propiedades mecánicas de piezas de hierro gris estándar

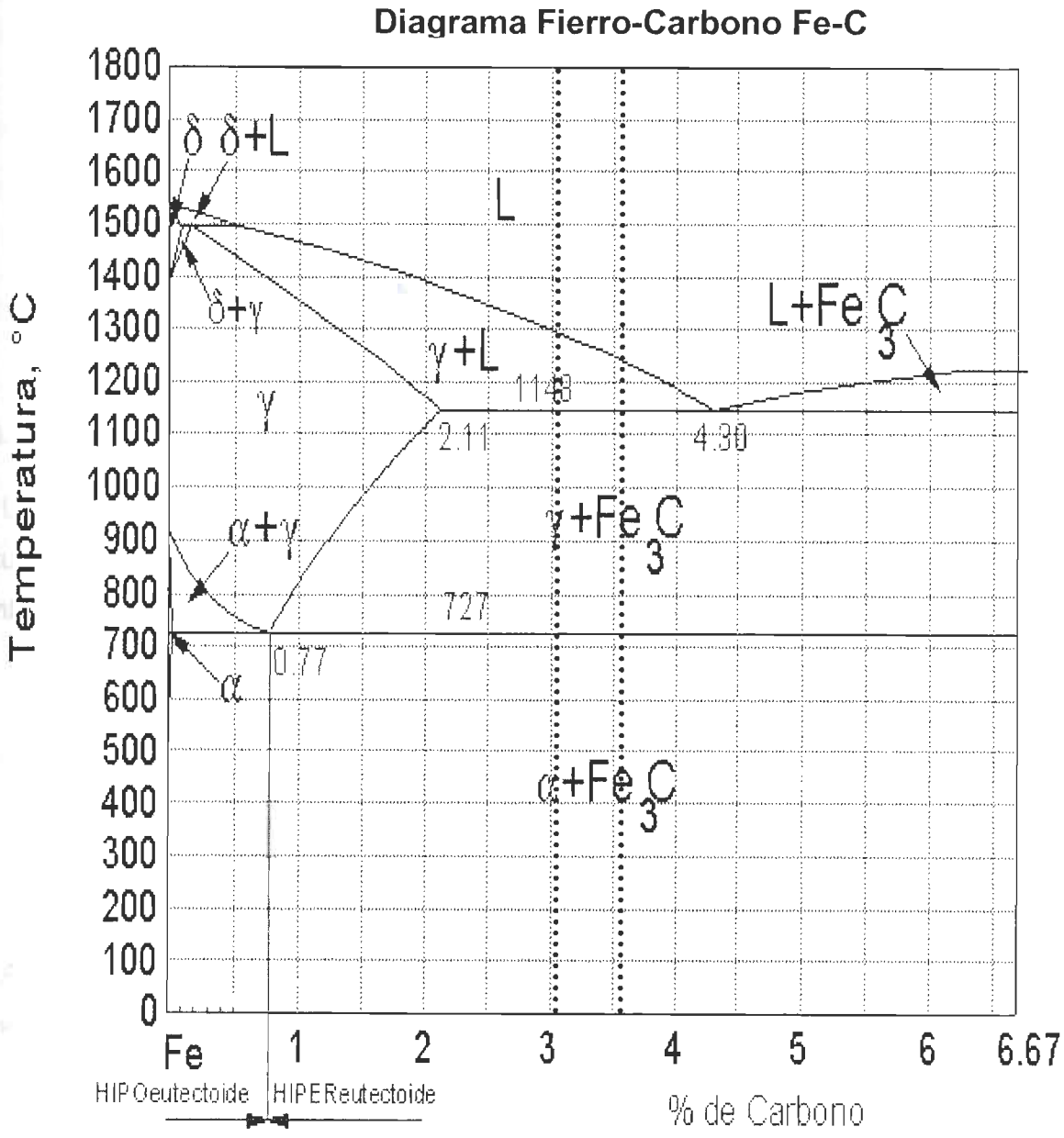

Fig 3. Región donde se ubican los hierros grises para monoblocks en el diagrama Fe-C.

6.

Metalurgia de los hierros

6.1 **Principios**

La meta del metalurgista es diseñar un proceso que produzca una estructura que cumpla con las propiedades mecánicas esperadas. Los principales puntos que influyen sobre la estructura que se desea obtener son:

- Composición química
- Velocidad de enfriamiento
- Tratamiento del metal en estado líquido
- Tratamiento térmico

Además los siguientes aspectos en combinación con el % de carbón de los hierros colados deben ser considerados:

- Mediante tratamientos térmicos posteriores al enfriamiento original, la matriz puede ser carburizada o decarburizada por depósitos de grafito, en sitios existentes o por disolución de carbón en ellos.
- Dependiendo del contenido de Si y de la velocidad de enfriamiento la perlita en hierro puede variar en contenido de C.
- La medida convencional de dureza de los hierros grafíticos esta influenciada por el grafito, especialmente en el hierro gris.
- La temperatura crítica del hierro está influenciada (aumenta) por el contenido de silicio, no por el contenido de carbón.

6.2 Metalurgia de los hierros grises

La composición de los hierros grises debe seleccionarse de tal manera que satisfaga los tres requerimientos estructurales básicos.

- El grafito requerido en forma y distribución
- La estructura libre de carburos (chill free)
- La matriz requerida

En la fig 4. se muestra el rango de C y Si para hierros colados comunes en comparación con el acero.

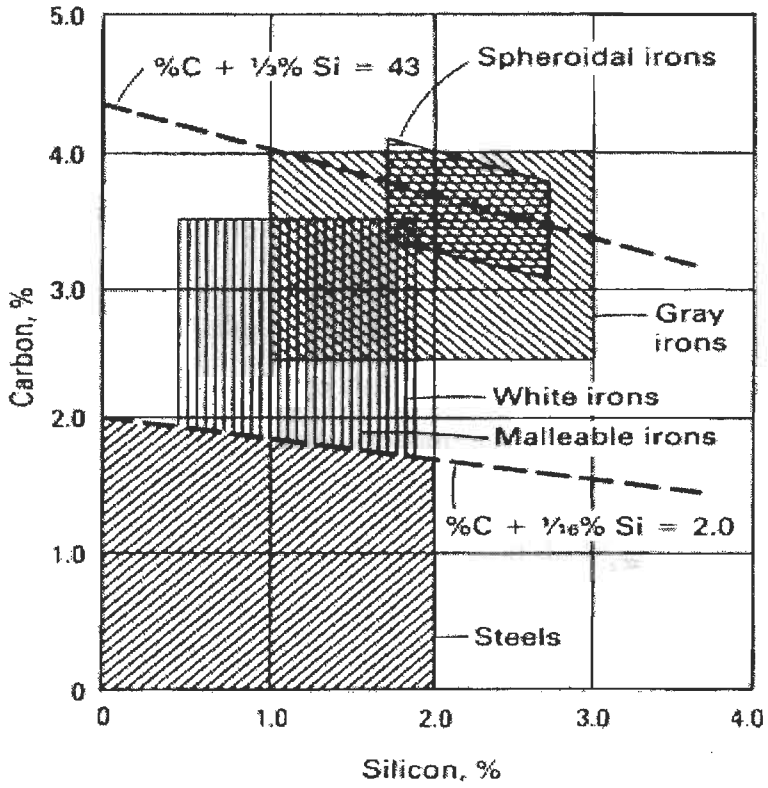

Fig. 4 Rangos de composición de C y Si de aceros y hierros vaciados comunes.

6.2.1 Solidificación del hierro gris

El fenómeno de solidificación, mediante un enfriamiento controlado (tiempo / temperatura), predecirá la micro estructura final; en un hierro gris hiper eutéctico, la solidificación empieza con la precipitación de plumas de grafito en el metal. Las plumas de grafito crecen en forma alargada, recta, hojuelas distorsionadas o muy rectas que tienden a irse a la superficie del metal por su relativa baja densidad. Al bajar la temperatura lo suficiente, el liquido remanente solidifica como una estructura eutéctica de austenita y grafito.

En hierro hipo eutéctico, la solidificación inicia con la formación de dendritas de austenita proeutéctica. Conforme la temperatura desciende, las dendritas crecen y el contenido de carbón del líquido remanente aumenta. Cuando el contenido de carbón aumenta y la temperatura disminuye se alcanzan valores eutécticos, inicia la solidificación eutéctica.

Con la composición eutéctica, obviamente, la solidificación se lleva acabo mientras la aleación liquida a lo largo del rango normal de temperatura eutéctica. subenfriamiento (undercooling) puede ocasionar que la solidificación inicie a una temperatura menor que la esperada temperatura eutéctica para una composición dada fig 5. esto puede ocasionar una modificación de la forma del carbón de un tipo A a uno tipo E, o a su vez, puede suprimir completamente su formación y formar carburos primarios.

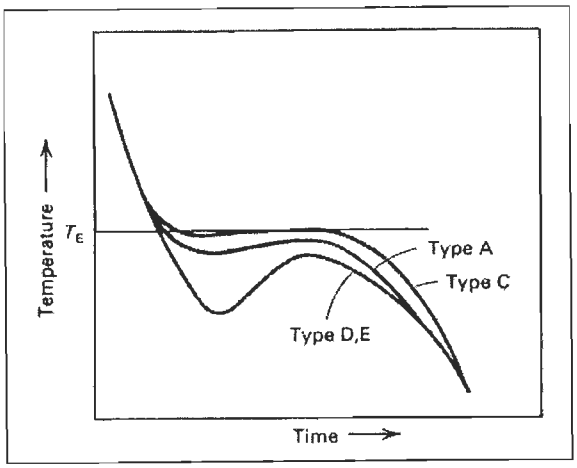

Fig 5. Curvas de enfriamiento característico, asociado a las diferentes formas de grafito.

Estructura a temperatura ambiente. Enfriando desde la temperatura eutéctica, la austenita se descompondrá, primero por precipitación de algo de carbono disuelto, y después a la temperatura eutectoide, por llevarse acabo la transformación completa. La transformación eutectoide actual depende de la velocidad de enfriamiento; así como, de la composición de la austenita, pero bajo condiciones normales la austenita se transformará tanto en perlita como en ferrita mas grafito.

La transformación de ferrita mas grafito, es mas factible que ocurra a velocidades de enfriamiento lenta, lo cual permite mas tiempo para la migración del carbón en la austenita; con contenidos altos de Silicio favorecen la formación de grafito más que Cementita; altos contenidos de carbón equivalente; y la presencia de hojuela de grafito fino (tipo D) subenfriado.

A valores de carbón equivalente relativamente bajos o cuando la velocidad de enfriamiento es relativamente alta, la transformación de perlita es favorecida. En algunos casos, la micro estructura contendrá los tres constituyentes: ferrita, perlita y grafito. Con ciertas composiciones, especialmente hierros grises aleados, es

posible producir una matriz Martensitica, mediante templado en aceite en el rango de temperatura de transformación eutectoide.

6.2.2 Efectos de los elementos de aleación en la micro estructura

A mayor contenido de carbón se incrementa la cantidad de grafito o carburo de fierro, Fe_3C. A contenidos altos de C y Si, se incrementa su potencial de grafitización del hierro así, como su colabilidad y simultáneamente disminuye la tendencia del Chill; Temple por formación de carburos; sin embargo, la resistencia se ve afectada adversamente; fig 6.

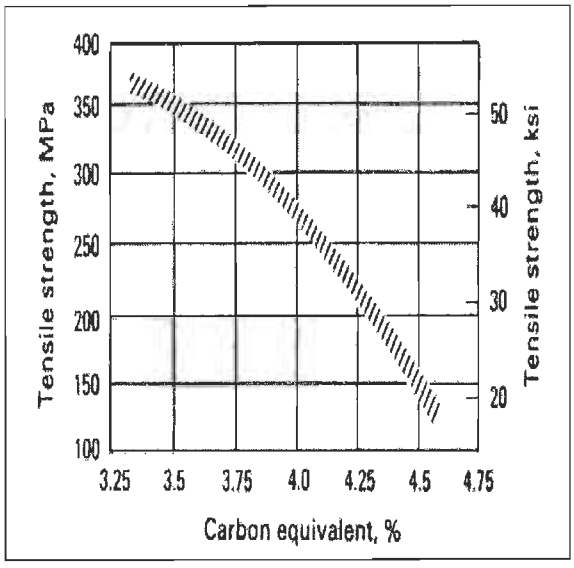

Fig 6. Influencia del Carbón equivalente sobre la resistencia a la tensión del hierro gris.

La influencia combinada del C y Si en la estructura generalmente está dada por la formula de carbón equivalente (CE)

$$CE = \%C + 0.3(\%Si) + 0.33(\%P) - 0.027(\%Mn) + 0.4(\%S)$$

En la figura 7 se muestran las formas típicas de los grafitos laminares.

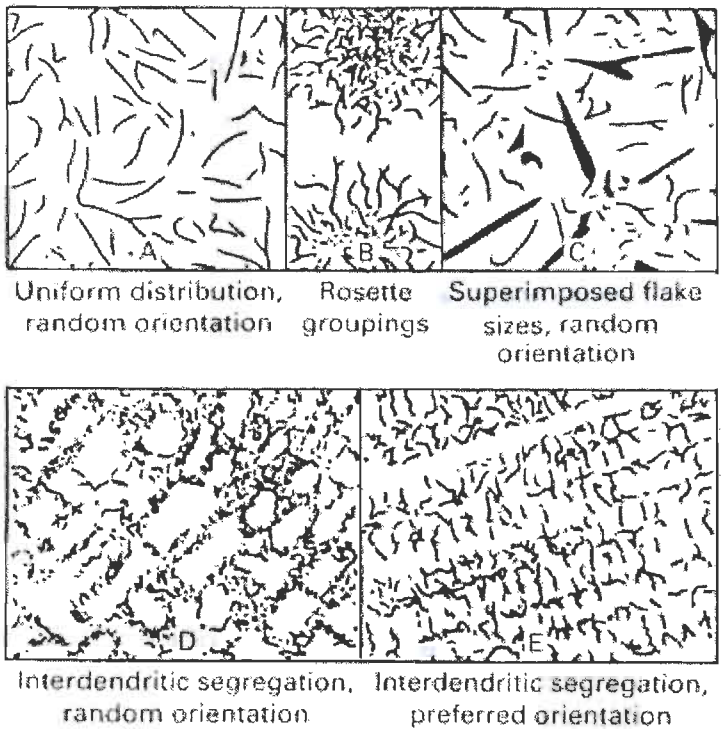

Fig. 7 Formas de hojuelas de grafito típicas especificadas en ASTM A 247. A, distribución uniforme, orientación al azar; B, rosetas agrupadas; C, grafito kish (forma de hojuelas sobrepuestas, orientación al azar); D, segregación ínter dendrítica con orientación al azar; E, segregación ínter dendrítica con orientación dirigida.

Los elementos de aleación pueden añadirse a los hierros para lograr algunas propiedades mecánicas. Influyen tanto en el potencial de grafitización como en la estructura y propiedades de la matriz. A continuación se listan los principales elementos en términos de potencial de grafitización; Tabla 4:

Alto potencial de grafitización positivo (en orden decreciente)	Alto potencial de grafitización negativo (en orden creciente)
• Carbón • Estaño • Fósforo • Silicio • Aluminio • Cobre • Níquel	• Manganeso • Cromo • Molibdeno • Vanadio

Tabla 4. Elementos de alto potencial de grafitización positivo y negativo.

El contenido de Manganeso (Mn) varia como una función de la matriz deseada generalmente puede andar tan bajo como0.1% para hierros ferríticos y tan alto como el 1.2% para hierros perlíticos.

El azufre (S). Debe estar balanceado en relación al manganeso; sin manganeso en el hierro se formará el compuesto no deseado de Sulfuro de Fierro (FeS) en los límites de grano. Si el contenido de azufre es balanceado por el manganeso, se formará sulfuro de manganeso (MnS); el cual es inofensivo ya que se distribuye dentro de los granos.

En general los elementos de aleación pueden ser clasificados en tres categorías:

Elementos de Aleación	Efecto
Silicio y Aluminio	El potencial de grafitización aumenta para la transformación eutéctica y eutectoide é incrementa el numero de partículas de grafito. Forman soluciones sólidas en la matriz. Por incrementar la relación ferrita / perlita, disminuyen resistencia y dureza
Níquel, Cobre y Estaño	El potencial de grafitización aumenta durante la transformación eutéctica, pero disminuye durante la transformación eutectoide; aumentando la relación perlita / ferrita y por consecuencia la resistencia y dureza. Estos elementos forman soluciones sólidas en la matriz.
Cromo, Molibdeno, Tungsteno y Vanadio	Disminuyen el potencial de grafitización en ambas etapas; por tanto incrementan la formación de perlita y carburos, principalmente del tipo (FeX)n C, pero también la solución sólida de Feα. Mientras no formen carburos, estos elementos incrementan la resistencia y dureza. Por arriba de cierto nivel y al aparecer carburos (Fe_3C) es menor la resistencia, pero mayor la dureza.

Tabla 5. Categorización de Elementos de aleación

6.3 Propiedades mecánicas

Son obtenidas de las barras testigo, que son algunas veces las únicas guías de las propiedades mecánicas del metal en producción de piezas vaciadas.

La resistencia de las barras testigo; Tabla 6, dan una resistencia relativa a la de la pieza vaciada, correlacionada por la velocidad de enfriamiento de espesores de varias secciones. Mediante un análisis minucioso de las secciones críticas de una pieza, predicciones aproximadas del comportamiento mecánico puede ser obtenido

6.3.1 Pruebas usuales

Los ensayos de tensión y transversales realizados a la barras que son vaciadas para tales fines, son los métodos mas comúnmente utilizados para evaluar la resistencia de un hierro gris.

Los ensayos de dureza, son utilizados como un aproximado de la medición de la resistencia y algunas veces como una indicación de la maquinabilidad relativa. La relación entre la dureza Brinell y la resistencia a la tensión generalmente sigue el patrón (ver fig 8).

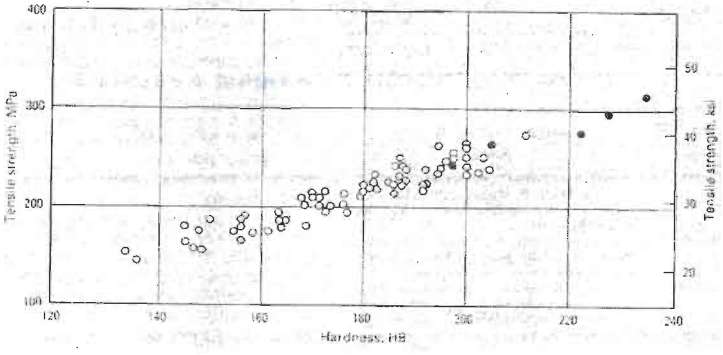

Fig 8. Patrón de relación entre Dureza Brinell y Resistencia a la tensión

La resistencia a la tensión es considerada en la selección de hierros grises para partes que van a estar expuestas a cargas estáticas en tensión directa o doblez

% de Elongación; en hierros grises a fractura es muy pequeña (en orden del 0.6%) de ahí que rara vez se reporta. (los hierros grises no obedecen la ley de Hook).

Properties determined from as-cast test bar B (30.5 mm, or 1.2 in., diam)

SAE grade	Hardness, HB	Minimum transverse load, kg	Minimum transverse load, lb	Minimum deflection, mm	Minimum deflection, in.	Minimum tensile strength, MPa	Minimum tensile strength, ksi
G1800	187 max	780	1720	3.6	0.14	124	18
G2500	170–229	910	2000	4.3	0.17	173	25
G3000	187–241	1000	2200	5.1	0.20	207	30
G3500	207–255	1110	2450	6.1	0.24	241	35
G4000	217–269	1180	2600	6.9	0.27	276	40

Typical base compositions of SAE J431 automotive gray cast irons

See Table 7 for mechanical properties. If either carbon or silicon is on the high side of the range, the other should be on the low side.

UNS	SAE grade	Composition, % TC(a)	Mn	Si	P	S
F10004	G1800(b)	3.40–3.70	0.50–0.80	2.80–2.30	0.15	0.15
F10005	G2500(b)	3.20–3.50	0.60–0.90	2.40–2.00	0.12	0.15
F10006	G3000(c)	3.10–3.40	0.60–0.90	2.30–1.90	0.10	0.15
F10007	G3500(c)	3.00–3.30	0.60–0.90	2.20–1.80	0.08	0.15
F10008	G4000(c)	3.00–3.30	0.70–1.00	2.10–1.80	0.07	0.15

(a) TC, total carbon. (b) Ferritic-pearlitic microstructure. (c) Pearlitic microstructure

Mechanical properties of SAE J431 automotive gray cast irons for heavy-duty service

Properties determined from as-cast test bar B (30.5 mm, or 1.2 in., diam)

SAE grade	Hardness, HB	Minimum transverse load, kg	Minimum transverse load, lb	Minimum deflection, mm	Minimum deflection, in.	Minimum tensile strength, MPa	Minimum tensile strength, ksi
G2500a	170–229	910	2000	4.3	0.17	173	25
G3500b	207–255	1090	2400	6.1	0.24	241	35
G3500c	207–255	1090	2400	6.1	0.24	241	35
G4000d	241–321(a)	1180	2600	6.9	0.27	276	40

(a) Determined on a specified bearing surface

Mechanical properties of standard gray cast irons

Class or Grade	Minimum tensile strength, ksi[a]	Hardness range, HB[b]	Matrix microstructure
G1800[c]	18	187 max	Ferritic-pearlitic
20[d]	20		
G2500	25	170 to 229	Pearlitic-ferritic
25	25		
G3000	30	187 to 241	Pearlitic
30	30		
G3500	35	207 to 255	Pearlitic
35	35		
G4000	40	217 to 269	Pearlitic
40	40		
45	45		
50	50		
55	55		
60	60		

Tabla 6. Relación de propiedades mecánicas de diferentes grados de Hierros grises.

6.4 Tratamientos térmicos

6.4.1 Tratamientos térmicos de los hierros

Los tratamientos térmicos aplicables a los hierros, generalmente se basan en lograr que las piezas adquieran propiedades, que no pueden ser obtenidas en condiciones de vaciado (as cast).

Tratamientos térmicos como el recocido, temple y revenido son usados para obtener la micro estructura deseada en la matriz metálica; Tabla 7.

<table>
<tr><th>Tratamiento térmico</th><th colspan="4">Impacto en propiedades y / o micro estructura</th></tr>
<tr><td>Recocido

(730° C a 760° C por 1hr; ó ciclo de 785° C a 815° C y enfriando a 22°/ hr. hasta los 595° C)</td><td colspan="4">Estos tratamientos grafitizan los carburos en la perlita y resulta en una matriz ferrítica.
El recocido es recomendable para piezas pequeñas con grandes áreas por maquinar.
Como en el recocido se sacrifica dureza y resistencia no es recomendable para piezas en las que una matriz ferrítica no es satisfactoria (como monoblocks).
Con el recocido un hierro grado 35 puede bajar a uno 20.
<table>
<tr><td>Condición</td><td>Resist a la tensión MPa</td><td>Resist a la tensión Ksi</td><td>Dureza, HB</td></tr>
<tr><td>As cast</td><td>268</td><td>38.9</td><td>217</td></tr>
<tr><td>Recocida</td><td>165</td><td>23.9</td><td>131</td></tr>
</table></td></tr>
<tr><td>Temple

hierros no aleados de 760°C a 845°C; y en hierros ordinarios de 860°C a 870°C</td><td colspan="4">Se obtiene por enfriamiento rápido de una temperatura considerable.
La combinación del carbón es del orden del 0.7% alcanzando durezas de 45 a 52 HRC en condiciones de temple.
Los aceites son los medios de enfriamiento mas usuales para los hierros, el agua es muy drástica con riesgo de grietas; otros son sales, aire; depende del espesor de la pieza tratada.</td></tr>
<tr><td>Revenido
Calentamiento de 370° C aprox.</td><td colspan="4">Dado que un hierro templado solamente es frágil, el revenido se aplica para bajar la dureza, incrementar la resistencia y tenacidad.</td></tr>
</table>

Tabla 7. Tratamientos térmicos comunes en hierros grises

7.

Soldabilidad de los hierros

7.1 Introducción

En este capitulo se analiza la factibilidad de soldar hierros, considerando los factores de mayor impacto, para la reparación de defectos por soldadura en piezas vaciadas; monoblocks. Este análisis ayudará a que todas las variables que afectan la reparación sean consideradas. Una revisión de las metodologías de reparación de este tipo de piezas, nos lleva a tomar la decisión de determinar si es apropiado o no.

Contar con el conocimiento clave como composición química y propiedades del metal base, simplifica el establecimiento de un procedimiento adecuado de unión a ser utilizado.

7.2 Soldabilidad

Todos los hierro vaciados tienen un problema en común que afecta su soldabilidad; demasiado carbón. Los procesos de manufactura, como, vaciado y algunas veces tratamiento térmico, son capaces de producir micro estructuras que poseen propiedades mecánicas útiles. Sin embargo un ciclo térmico de soldadura ordinario no produce una micro estructura deseada. El fierro adyacente a la soldadura es calentado a una temperatura extrema y la velocidad de enfriamiento de toda la zona afectada es demasiado rápida. Los carburos tienden a formarse en el metal base adyacente a la soldadura y el resto de la zona afectada por el calor , tiende a formar martensita con alto carbón. Ambas son micro estructuras muy frágiles y susceptibles a agrietamiento espontáneo o durante el servicio. El grado de fragilidad y riesgo de agrietamiento depende del tipo de hierro, condición de tratamiento térmico y procedimiento de soldadura; Fig 9.

La soldadura por fusión, por ser focalizada, produce estrés térmico en el área soldada. El metal base debe poseer algo de deformación plástica para absorber el estrés o resultara agrietamiento. Los hierro dúctiles y maleables por poseer una matriz ferrítica, son mas adecuados a absorber estrés por soldadura, mas que los hierros grises.

El fósforo en los hierros grises tiene un efecto negativo en cuanto a soldabilidad se refiere; se debe mantener por debajo del 0.10%. Para aleaciones con un contenido mayor, es necesario el uso de técnicas especiales

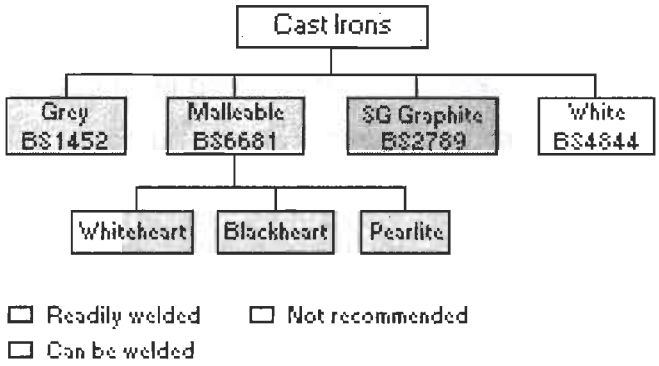

Fig. 9 Esquema de soldabilidad en hierros

7.2.1 Efecto de forma de grafito

La composición y micro estructura de un hierro vaciado afecta la cantidad de carbón en la zona afectada por el calor, que es disuelto durante la soldadura. Este punto, influye en la fragilidad y susceptibilidad de agrietamiento de la unión soldada. Para minimizar la formación masiva de carburos y martensita de alto carbón, es mas benéfico tener el carbón en forma esférica que tiene un menor radio superficie / volumen. El disminuir el área superficial del grafito en contacto con la matriz Austénitica, disminuye la cantidad de carbón en la micro estructura a temperatura ambiente. Las hojuelas de grafito en los hierros grises amplía la tendencia de disolverse en austenita por su relativa gran área superficial, sin embargo el grafito en cualquier forma se disuelve lentamente y con frecuencia permanece en el metal líquido.

7.2.2 Efectos del metal de aporte

La composición y propiedades mecánicas del metal de aporte son consideraciones muy importantes en la soldadura de hierros grises. Cada que se aplica un cordón de soldadura, el metal base y el metal de aporte o el metal previamente depositado, se derriten juntos. El cambio en composición del metal base como resultado de mezclarse con el metal de aporte, o el previamente depositado; se conoce como dilución.

La dilución debe reducirse con el mínimo heat imput, necesario para una soldadura sólida. El alto nivel en carbón, silicio, fósforo y azufre en aleaciones de hierro gris, pueden tener un efecto adverso en las propiedades mecánicas y sanidad del metal soldado. Por ejemplo, cuando el hierro es soldado con acero como material de aporte, el contenido de carbón del metal depositado se incrementará como resultado de la dilución. El metal soldado puede ser duro, con baja ductilidad y difícil maquinado a menos que se le de un tratamiento térmico postsoldadura; aún así es sensible a agrietarse. La inhabilidad del metal soldado

a ceder y relevar los esfuerzos por soldadura, puede resultar en agrietamiento; adyacente a la zona afectada por el calor. Las propiedades mecánicas del metal de aporte empleado en hierros, puede jugar la mayor parte en el éxito de la operación. Cuando la resistencia a la cedencia del metal soldado es baja, los estreses en los hierros durante la solidificación son relativamente bajos. Esto reduce la posibilidad de agrietamiento. Durante el servicio, un metal suave soldado puede ceder y relevar esfuerzos en los hierros vaciados. El metal de aporte de níquel, o aleaciones de níquel es muy efectivo a este respecto, y un uso considerable de materiales de aporte a base de níquel y aleaciones de níquel para hierros por soldaduras por arco eléctrico, son empleados. Otra ventaja de este tipo de metal de aporte es la facilidad con que puede ser maquinado en la condición de soldado.

7.2.3 Transformaciones en zona de fusión

En la zona de fusión es donde se lleva acabo la mezcla del metal base y el metal de aporte, considerando el uso de varilla de relleno; la composición química de la dilución será establecida por la composición base de los elementos de unión; metal base – metal de aporte. Durante la fusión y en el estado líquido hay interacción entre los metales, gases se reacción y protección, y de la escoria; las cuales pueden ser preestablecidas. Conforme baja la temperatura en la zona de fusión, da inicio el proceso de solidificación y a su vez la formación de la formación de la micro estructura, mediante el proceso de nucleación.

7.2.4 Solidificación de la soldadura en zona de fusión

Si en el proceso de solidificación de una soldadura; crecimiento epitaxial, se ignora, la soldadura podría ser considerada como un metal vaciado. En la solidificación de una soldadura a diferencia de un metal vaciado no necesita someterse a una nucleación durante la solidificación, porque el metal base mojado

provee el plano cristalino a los cuales los átomos del metal enfriado se acoplan y dan forma a los granos.

La velocidad de avance de soldadura, es uno de los factores que afectan la manera en la cual se lleva acabo en la interfase, el crecimiento epitaxial; a una velocidad lenta de avance, el baño de soldadura es casi circular y forma una zona de soldadura relativamente ancha.

En general, el crecimiento de los granos se desarrollará en dirección perpendicular a las isotermas y paralelo al gradiente térmico. Como la zona soldada se enfría y el crecimiento epitaxial inicia, los granos crecen hacia el centro de la soldadura en forma columnar, y en su ultima etapa se curvean en dirección de velocidad del baño de la soldadura. La formación de grano epitaxial mostrada en la fig. 10 es llamado modo de crecimiento planar, porque cada grano extendido en la zona soldada es una continuación de los granos del metal base. Sin embargo el crecimiento es competitivo y muchos puntos de bloqueo y nucleación se pueden observar.

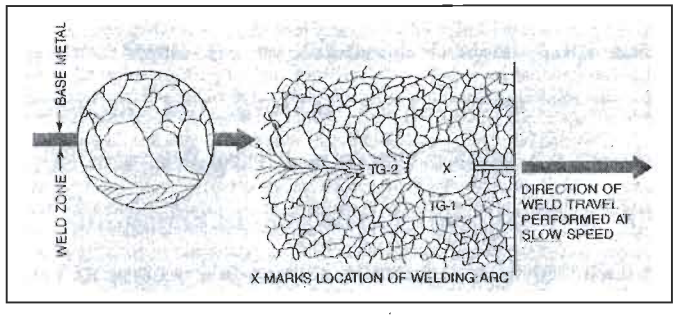

Fig 10 Velocidad de arrastre lenta. Crecimiento de grano epitaxial en modo planar.

El desarrollo de una soldadura hecha a velocidad moderada se muestra en la fig 11, la cual se presenta mas típicamente en practicas de soldadura comercial. Sin embargo, el crecimiento de los granos en el metal soldado es epitaxial, la estructura de grano fino de la zona soldada se ha desarrollado vía modo celular. La forma del grano es controlada por la figura geométrica del baño de soldadura;

la figura del frente del cordón de soldadura en forma de "lagrima", es debida a la capacidad de transmitir calor a los alrededores mas fríos, con respecto al centro del cordón de soldadura.

Incrementar el gradiente de velocidad de enfriamiento del metal soldado, conlleva al súper enfriamiento.

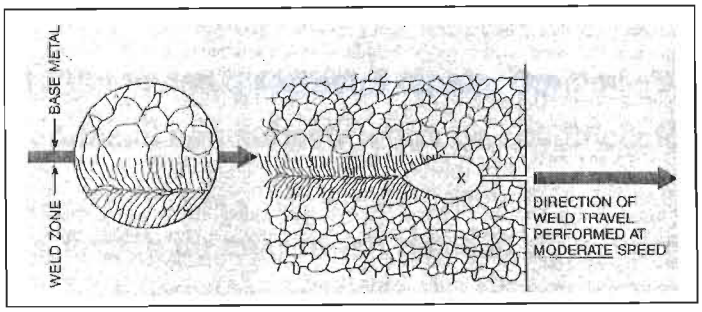

Fig 11 Velocidad de arrastre moderada. Crecimiento de grano epitaxial en modo celular.

El súper enfriamiento favorece el desarrollo de células en los granos del metal base a lo largo de la interfase. El súper enfriamiento incrementa la competitividad del crecimiento del grano. Este es el proceso por el cual los granos menos orientados son bloqueados por granos mejor orientados para seguir su crecimiento. El factor que mas influye en el modo celular de crecimiento de grano, es el llamado súper enfriamiento constitucional, porque implica diferencia composicional entre los núcleos y los contornos de la células individuales. El súper enfriamiento constitucional es mas probable en composiciones que tengan una gran diferencia entre el solidus y el liquidus. Con tal composición, ocurre una micro segregación durante la solidificación la cual incrementa la concentración de soluto en el liquido remanente adelante y a lo largo de cada célula.

En la Fig. 12 presenta una soldadura hecha a velocidad de arrastre rápida. El baño de soldadura tiene la forma de una gota alargada; el ancho de la zona de la zona de fusión es mucho mas angosta y la alta velocidad de enfriamiento que acompaña a la alta velocidad de arrastre, produce un crecimiento de grano epitaxial celular mas fino.

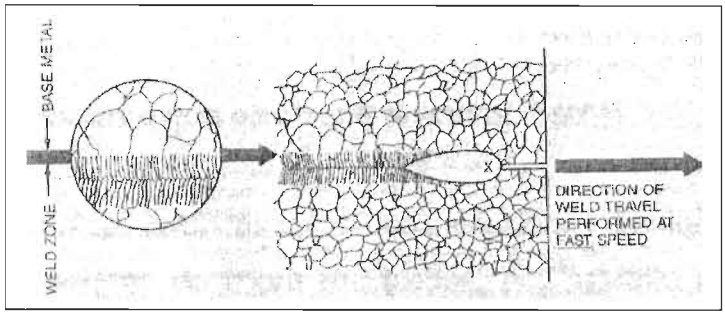

Fig 12 Velocidad de arrastre rápida. Crecimiento de grano epitaxial con subestructura de solidificación celular fina.

Existen otras dos formas de crecimiento primario de estructuras de soldadura; fig 13, las cuales ocurren con menor frecuencia; llamadas dendrítico celular y columnar dendrítico.

El tamaño de los granos sobre el cual el crecimiento de grano epitaxial inicia, determina el tamaño máximo de la sección transversal de los granos primarios en la zona soldada. Los granos columnares en la zona soldada pueden ser particularmente largos si las condiciones favorecen el crecimiento en una dirección particular. El grano primario en la zona soldada puede ser mas pequeño que los granos del metal base en los cuales nuclea.

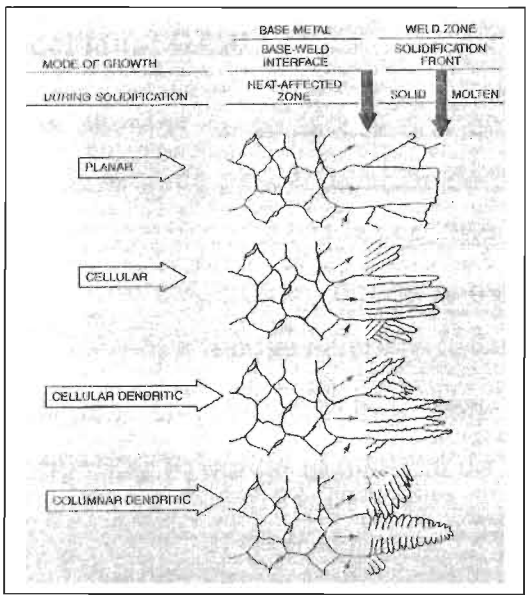

Fig 13. Modos de solidificación encontrados en metal soldado

7.3 Procesos de soldadura aplicables a los hierros

7.3.1 Soldadura por arco con electrodo revestido SMAW

Los hierros pueden ser soldados con níquel, aleaciones de níquel, acero suave y electrodos de aleaciones de cobre recubiertos, por proceso de arco eléctrico. Electrodos de hierro gris vaciados se utilizan para aplicaciones especiales. En cualquiera de los casos la dilución del metal base debe mantenerse al mínimo.

7.3.2 Soldadura por arco con protección de gas; GMAW

El proceso GMAW es recomendable para unir hierro dúctil. Por su relativamente bajo heat input en este proceso, la parte endurecida de la zona afectada por el calor, adyacente a la soldadura es muy delgada. Como resultado, la resistencia y ductilidad de la unión soldada son muy similares a las del metal base.

Se recomiendan los electrodos similares a los del proceso SMAW. Los electrodos típicos son de níquel (ENi 1) y acero al carbón (E70S 2). Para este proceso se requiere de la protección de un gas inerte adecuado.

7.3.3 Soldadura Oxiacetileno; OAW

Existen otros procesos alternos de soldadura que en casos muy específicos se pueden utilizar, pero generalmente para reparación de piezas en servicio.

Estos procesos son

- Brazing. Aplicado con oxiacetileno donde el material de aporte es a base de plata (BAg-3; BAg-4) o a base de cobre (BCuP).
- Soldering. Aplicado con oxiacetileno, con flama reductora a baja temperatura (450ª 500°F) donde el material de aporte es a base de plomo – estaño –Zinc.

Descripción	Forma	Proceso Aplicable	Especificación AWS	Clasificación AWS
Hierro gris	Varilla	Oxiacetileno	A 5.15	RCI
Hierro gris	Barra desnuda	MIG; con bronce	----	---
Hierro gris aleado	Varilla	Oxiacetileno	A 5.15	RCI-A
Hierro dúctil	Varilla	Oxiacetileno	A 5.15	RCI-B

Tabla 8. Procesos de soldadura aplicables a hierros y metales de aporte sugeridos.

7.4 Descripción del proceso de soldadura oxiacetileno.

7.4.1 Introducción

De los procesos de soldadura por fusión desarrollados en el siglo xx, la soldadura con gas es uno de los primeros en la historia moderna de la soldadura. De todos los combustibles tratados y utilizados en el pasado, solo el acetileno prácticamente ha sido mantenido por sus mayores ventajas, dentro de las cuales principalmente están la alta temperatura de combustión y su fácil producción y transporte.

7.4.2 Principios

La versatilidad del proceso de soldadura por gas depende del control que el soldador tenga en la flama, sobre el calor, material de aporte y velocidad de salida del gas. Un requerimiento para obtener el máximo rendimiento, el soldador debe poseer o desarrollar buena habilidad a través de la Capacitacion y entrenamiento.

7.4.3 Ventajas y desventajas

Las principales ventajas del proceso de soldadura oxiacetileno, son:

- Aplicable a una gran variedad de metales (piezas)
- El equipo es relativamente barato
- Es portátil
- Autosuficiente; no requiere de fuentes de energía externa

En cuanto las limitaciones de este proceso podemos mencionar:

- Alta habilidad del soldador en manipulación de antorcha, flama y varilla de aporte
- Se requiere el uso de fundentes para la mayoría de los metales

Los metales reactivos o refractarios son incompatibles al proceso de soldadura con gas

7.4.4 Equipo y sus componentes

La función del equipo para soldadura oxiacetileno; fig 14, es la de tener la capacidad de general un flama de alta temperatura. El quipo consta de los siguientes componentes:

1. Tanque de oxigeno
2. Tanque de acetileno
3. Manómetro para oxigeno
4. Manómetro para acetileno
5. Mangueras flexibles para oxigeno – acetileno
6. Maneral de fusión
7. Boquilla (las hay de diferentes números, según material a soldar)

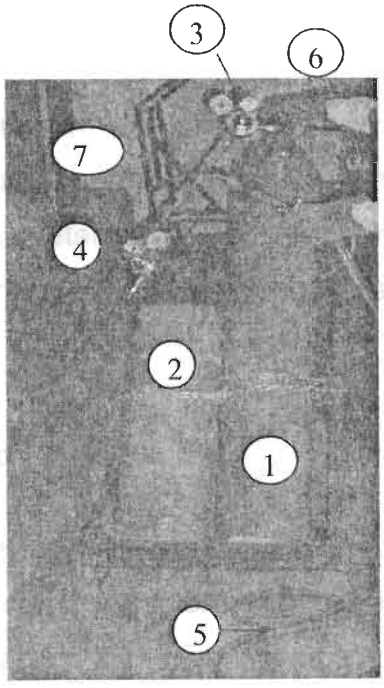

Fig. 14 Equipo Oxiacetileno

7.4.5 Seguridad en el proceso

Aspectos de seguridad, el uso permanente de equipo de protección personal, como el manejo adecuado de cilindros con gas comprimido, la identificación de peligros de mezclas de gases explosivos, las precauciones a tomar antes de proceder a reparación de un contenedor vacío de gas combustible (llenarlo con agua), deben ser establecidos a conciencia y contar con un procedimiento certificado bajo código.

7.4.6 Metodología de aplicación

El éxito del proceso de soldadura con gas, requiere de un abasto independiente de oxigeno y acetileno desde cilindros de alta presión, que de ellos se obtiene una simple pero poderosa flama (antorcha) para soldar, donde los gases son mezclados en aproximadamente volúmenes iguales y encendidos en la punta de salida de una boquilla.

La flama oxiacetilénica del proceso, desarrolla una temperatura extremadamente alta (3030° C aprox.) en su punto mas caliente, suficiente para fundir metales, y permite al soldador proteger al metal liquido del aire del entorno con la flama, que de no hacerse así, se oxidaría el metal y se obtendrían propiedades pobres o defectos en la soldadura.

7.4.6.1 Parámetros de Control

El flujo de los gases puede fácilmente ser controlado para obtener una flama (ver figura 16). neutra, oxidante o reductora (carburizante), dependiendo de la técnica de soldadura empleada y de los requerimientos de aplicación.

Condiciones generales para soldar con oxiacetileno diversos metales ferrosos

Metal	Ajuste de flama	Fundente	Varilla para soldar
Acero colado	Neutral	No	Acero
Tubería de acero	Neutral	No	Acero
Placa de acero	Neutral	No	Acero
Lámina de acero	Neutral	No	Acero
	Ligeramente oxidante	Sí	Bronce
Acero de alto carbono	Ligeramente carburizante	No	Acero
Hierro forjado	Neutral	No	Acero
Hierro galvanizado	Neutral	No	Acero
	Ligeramente oxidante	Sí	Bronce
Hierro colado gris	Neutral	Sí	Hierro colado
	Ligeramente oxidante	Sí	Bronce
Hierro colado maleable	Ligeramente oxidante	Sí	Bronce
Tubería de hierro colado gris	Neutral	Sí	Hierro colado
	Ligeramente oxidante	Sí	Bronce
Tubería de hierro colado	Neutral	Sí	Hierro colado o composición del metal base
Acero al cromo-níquel colado	Neutral	Sí	Composición del metal base o acero al cromo níquel 25 12
Acero al cromo-níquel (18-8 y 25-12)	Neutral	Sí	Acero inoxidable al colombio o composicion del metal base
Acero al cromo	Neutral	Sí	Acero inoxidable al colombio o composicion del metal base
Hierro al cromo	Neutral	Sí	Acero inoxidable al colombio o composicion del metal base

Tabla 9. Referencia de ajuste de flama según material a soldar

7.5 Precauciones al soldar aleaciones de Hierro Gris (monoblocks)

7.5.1 Antecedentes

Previo a la realización de una reparación por soldadura de un monoblock de hierro gris, se debe contar con una lista de verificación, donde se consideren todos los aspectos que influyen, tanto en la calidad de la soldadura, como en la factibilidad del proceso y en la seguridad operativa.

A continuación se presenta una lista de referencia; no debe considerarse como definitiva:

1. Análisis del monoblock

1.1 Identificación del defecto

1.2 Por su ubicación, ¿El defecto es soldable?

2. Preparación del área a soldar

2.1 Limpieza y ambiente seguro

3. Procedimiento de Reparación

3.1 Alcance

3.2 Metal de aporte

3.3 Limpieza antes, durante y después de la soldadura

3.4 Precalentamiento.

3.5 Post calentamiento y tratamiento térmico después de la soldadura

3.6 Pruebas de caracterización de calidad de la soldadura

Reinspección después de soldar.

7.5.2 Material de aporte

7.5.2.1 Identificación del material de aporte

La composición química y propiedades metálicas del material de aporte debe cumplir con características similares a las del material base. Un defecto común en los hierros son las grietas y estas pueden estar asociadas a una inadecuada selección del electrodo. La regla a seguir en la selección de un electrodo es que la similitud en composición química, resistencia a la tensión y dureza, sean las mas cercanas posibles; una característica que también se debe considerar es la ductilidad tanto del material base como la del de aporte.

El éxito en el logro de las especificaciones y/o propiedades del deposito del electrodo seleccionado como material de aporte para la soldadura de un hierro gris, depende de:

- Tipo de material a soldar
- Temperatura de precalentamiento
- Secuencia en procedimiento de soldadura
- Solubilidad del material de aporte en metal base

Tratamiento térmico después de la soldadura

Table 5.6
Filler metals for welding or braze welding cast iron

Description	Form	Applicable process[a]	AWS Specification	AWS Classification
		Cast iron		
Gray iron	Welding rod	OAW	A5.15	RCI
Gray iron	Bare electrode	BMAW	–	–
Alloy gray iron	Welding rod	OAW	A5.15	RCI-A
Ductile iron	Welding rod	OAW	A5.15	RCI-B
		Steel		
Carbon steel	Covered electrode	SMAW	A5.15	ESt
Carbon steel	Covered electrode	SMAW	A5.1	E7018
Carbon steel	Bare electrode	GMAW	A5.18	E70S-2
		Nickel alloys		
93% Ni	Bare electrode	GMAW	A5.14	ERNi-1 ENi-CI
95% Ni	Covered electrode	SMAW	A5.15	ENi-CI-A ENiFe-CI
53 Ni-45 FE	Covered electrode	SMAW	A5.15	ENiFe-CI-A
53 Ni-45 Fe	Flux cored electrode	FCAW	–	–
55 Ni-40 Cu-4 Fe	Covered electrode	SMAW	A5.15	ENiCu-A
65 Ni-30 Cu-4 Fe	Covered electrode	SMAW	A5.15	ENiCu-B
		Copper alloys		
Low fuming brass	Welding rod	OAW	A5.27	RCuZn-B
Low fuming brass	Welding rod	OAW	A5.27	RCuZn-C
Nickel brass	Welding rod	OAW	A5.27	RBCuZn-D
Copper-tin	Covered electrode	SMAW	A5.6	ECuSn-A
Copper-tin	Bare electrode	GMAW	A5.7	ERCuSn-A
Copper-aluminum	Covered electrode	SMAW	A5.6	ECuAl-A2
Copper-aluminum	Bare electrode	GMAW	A5.7	ERCuAl-A2

a. OAW–oxyacetylene welding
BMAW–bare metal arc welding
SMAW–shielded metal arc welding
GMAW–gas metal arc welding

Tabla 10. Diferentes material de aporte aplicables a hierros.

7.5.2.2 Tipos de materiales de aporte.

La clasificación de los electrodos como materiales de aporte son clasificados según características químicas. Las especificaciones que se manejan para los materiales de aporte para los hierros son ANSI / AWS A5.15.

Los electrodos y varillas cubiertos por esta clasificación, se basa en su composición química. A continuación tenemos las tablas 1A, 1B y 1C; en las que se muestran las composiciones químicas. Estos electrodos son recomendados para los procesos oxiacetileno, arco eléctrico con electrodo revestido, MIG alambre sólido y tubular o donde su aplicación sea adecuada según requerimientos.

		Weight Percent[a,b,c]										
AWS Classification[d]	UNS Number[e]	C	Mn	Si	P	S	Fe	Ni[f]	Mo	Cu[g]	Al	Other Elements, Total
Shielded Metal Arc Welding Electrodes												
ENi-CI	W82001	2.0	2.5	4.0	—	0.03	8.0	85 min.	—	2.5	1.0	1.0
ENi-CI-A	W82003	2.0	2.5	4.0	—	0.03	8.0	85 min.	—	2.5	1.0-3.0	1.0
ENiFe-CI	W82002	2.0	2.5	4.0	—	0.03	Rem.	45-60	—	2.5	1.0	1.0
ENiFe-CI-A	W82004	2.0	2.5	4.0	—	0.03	Rem.	45-60	—	2.5	1.0-3.0	1.0
ENiFeMn-CI	W82006	2.0	10-14	1.0	—	0.03	Rem.	35-45	—	2.5	1.0	1.0
ENiCu-A	W84001	0.35-0.55	2.3	0.75	—	0.025	3.0-6.0	50-60	—	35-45	—	1.0
ENiCu-B	W84002	0.35-0.55	2.3	0.75	—	0.025	3.0-6.0	60-70	—	25-35	—	1.0
Flux Cored Arc Welding Electrodes												
ENiFeT3-CI[h]	W82032	2.0	3.0-5.0	1.0	—	0.03	Rem.	45-60	—	2.5	1.0	1.0

Tabla 11. Composición química de electrodos revestidos y tubulares

AWS Classification[d]	UNS Number[c]	Weight Percent[a,b,c] C	Mn	Si	P	S	Fe	Ni	Mo	Cu	Al	Other Elements, Total
Shielded Metal Arc Welding Electrodes												
ESt	K01520	0.15	0.60	0.15	0.04	0.04	Rem.	—	—	—	—	—

Tabla 12. Composición química de alambre utilizado en electrodos revestidos

AWS Classification[d]	UNS Number[c]	Weight Percent[a,b,c] C	Mn	Si	P	S	Fe	Ni[f]	Mo	Cu[g]	Mg	Al	Ce	Other Elements, Total
Cast Iron Welding Rods for OFW														
RCI	F10090	3.2-3.5	0.60-0.75	2.7-3.0	0.50-0.75	0.10	Rem.	Trace	Trace	—	—	—	—	—
RCI-A	F10091	3.2-3.5	0.50-0.70	2.0-2.5	0.20-0.40	0.10	Rem.	1.2-1.6	0.25-0.45	—	—	—	—	—
RCI-B	F10092	3.2-4.0	0.10-0.40	3.2-3.8	0.05	0.015	Rem.	0.50	—	—	0.04-0.10	—	0.20	—
Electrodes for Gas Metal Arc Welding														
ERNi-CI	N02215	1.0	2.5	0.75	—	0.03	4.0	90 min.	—	4.0	—	—	—	1.0
ERNiFeMn-CI	N02216	0.50	10-14	1.0	—	0.03	Rem.	35-45	—	2.5	—	1.0	—	1.0

Tabla 13. Composición química de electrodos en alambre o barra.

8.

Procedimiento de reparación de monoblocks

8.1 Descripción

La secuencia de operaciones para la recuperación por soldadura de monoblocks, depende de tipo de defecto, ubicación del defecto y cantidad de material a depositar. Para la recuperación de monoblocks, se sugiere la siguiente secuencia:

1. precalentar
2. preparar área a soldar
3. aplicar material de aporte adecuado
4. enfriar lentamente
5. dar acabado a la pieza (a temperatura ambiento ó menor a 90°C)

evaluación de la calidad de la pieza

8.1.1 Precalentamiento

La aplicación de la soldadura se lleva acabo en caliente. El precalentamiento debe ser de preferencia a toda la pieza; Fig. 17, se realiza en un horno túnel de temperatura y tiempo de permanencia controlado; depende del tipo y tamaño de pieza (generalmente el calentamiento anda en el orden de los 580 a 680°C). Esto se realiza para minimizar el riesgo de tensiones internas en la zona afectada por el calor é incremento de dureza y riesgo de grietas.

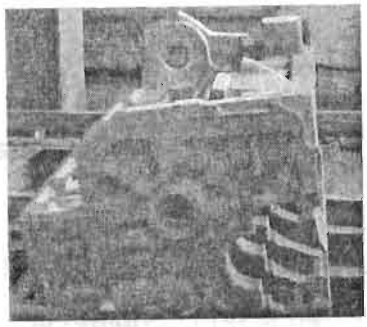

Fig 17. Pieza caliente

8.1.2 Preparación de la superficie

Es requisito indispensable que la superficie a soldar de la pieza a recuperar este libre de todo tipo de contaminante; como, arena oxido, aceites, cenizas, escamas, otros. Los métodos mas comunes son los mecánicos; mediante pulidores o maquinado; la preparación deseada es de ranura en V o J.

8.1.3 Aplicar material de aporte

Una vez que la pieza sale del horno de precalentamiento, se procede a:

a) Calentar puntualmente en la zona a reparar con el soplete oxiacetilénico para limpiar la zona a soldar, además de calentar hasta punto incipiente del metal (se observan chispas características de un hierro).

b) Aplica varilla de aporte para hierro gris, cuando ya se alcanzó el punto incipiente en la zona a reparar se procede a aplicar la varilla de aporte. La varilla antes de ser fundida debe forrarse con fundente en polvo para asegurar la fusión y que este proteja el metal de la oxidación mientras está en estado líquido

8.1.4 Enfriamiento postsoldadura

Una vez aplicada la soldadura en la pieza a recuperar se debe controlar que el enfriamiento sea lento; se recomienda que la pieza sea introducida en un túnel con recubrimiento refractario y permanezca por espacio de 1hr mínimo. Esto se realiza para minimizar el riesgo de tensiones internas por enfriamiento brusco é incremento de duraza y riesgo de grietas.

8.1.5 Acabado de la pieza post soldadura

Esta operación consiste en remover el exceso de material de la zona soldada, para dar las dimensiones adecuadas según cartas de aceptación de la pieza.

El acabado se da una vez que la pieza ya fuera del horno tiene menos de 120°C. Una vez removido el excedente de soldadura, se checa dureza con una lima, haciendo una incisión a ¼" de distancia de la zona soldada; para verificar la no existencia de carburos.

8.2 Evaluación de la calidad de la pieza soldada

Una vez que a la pieza recuperada se le ha removido los excedentes de material de la soldadura, se le debe hacer una evaluación de calidad de la misma, para garantizar que cumple con las especificaciones; de lo contrario se rechaza. Los métodos de evaluación deben cubrir los aspectos:

- Dimensiónales(Inspección visual)
- Químicos (Análisis químico)
- Metalográfico (microestructural)
- Mecánica (resistencia a la tensión y dureza)

8.3 Habilidades del Soldador

8.3.1 Calificación de un soldador

La práctica de recuperación de monoblock, debe estar fundamentada en garantizar que una pieza soldada, cumple a plenitud todas las especificaciones establecidas para dicha pieza.

La técnica seleccionada y el entrenamiento con que debe contar el soldador para recuperar piezas, son variables críticas para el éxito de la reparación por soldadura. Para evaluar la habilidad se deben realizar pruebas periódicas al soldador calificado, determinadas por algún código internacional ó específico. Los resultados de estas pruebas determinan la habilidad del soldador; si es apto o no, para producir soldaduras sanas y reproducirlas mediante el seguimiento a un procedimiento.

8.3.2 Procedimiento de Soldadura Específico WPS

Es un documento en el cual se establece de manera lógica y secuenciada, los parámetros y los rangos de operación de dichos parámetros, con los que ha de realizar una soldadura específica, con la cual se garantice el cumplimiento al 100% de las especificaciones; el documento y el cumplimiento de las especificaciones según código aplicable, debe estar validado en base a los resultados de los ensayos físicos, mecánicos y de sanidad interna de las muestras realizadas.

8.3.3 Registro de resultados del procedimiento de soldadura PQR

El PQR es el documento donde se registran los resultados de los ensayos realizados a las probetas (codificadas); del material donde se va a realizar una soldadura. Una vez obtenidos los resultados de las pruebas requeridas por el código, se hacen los comparativos de resultados entre el esperado y el real y se toman las decisiones. Para cada trabajo específico según requerimientos del código se debe contar con un WPS y su respectivo PQR.

8.4 Reparación de piezas de hierro gris en frió (a temperatura ambiente).

8.4.1 Desarrollo de proceso alterno

8.4.1.1 Antecedentes

Como se ha mencionado anteriormente en este documental, todas los metodologías hacen referencia a que la reparación o reconstrucción de una pieza de hierro gris, requiere de cuidados extremos para lograr una pieza sana.

Los cuidados extremos en la reparación de piezas de hierro requerían de:

a) preparación
b) Cuidado extremo de precalentamiento
c) Control de heat imput durante la soldadura
d) Control de enfriamiento lento post soldadura
e) Tratamiento térmico post soldadura

8.4.1.2 Desarrollo

Este nuevo método presentado, se fundamenta en la utilización de un material de aporte de características especiales, el cual no requiere de precauciones especiales para reparar piezas de hierro. Tampoco se requiere de una habilidad excepcional del soldador (aunque es preferente que sea soldador certificado), solo se deben tomar las consideraciones básicas del proceso propio de la soldadura.

8.4.2 Procedimiento sugerido

A continuación se menciona la secuencia de los pasos básicos sugeridos.

1. Identificar el defecto
2. preparar el área a reparar ranura en V o J (con pulidor o maquinado)
3. Soldar con material de aporte #72; en la raíz y / o Aporte #77; como material de relleno (desarrollo nuevo; no se requiere calentamiento)
4. Remover escoria (dejar enfriar escoria, antes de remover)
5. Pulir, remover excedente de soldadura
6. Evaluar calidad de aplicación de soldadura; con métodos comunes (inspección visual, líquidos penetrantes, partículas magnéticas, RX, UT, etc).

8.4.2.1Ventajas

Se tienen las ventajas de que :

- No se requiere precalentamiento
- La habilidad del soldador es menos crítica
- Es mínimo el riesgo de agrietamiento

El material de aporte tiene una ductilidad 300% mas que uno a base de Níquel

8.4.2.2 Desventajas

- Costo

9.

Conclusiones

La recuperación de piezas de hierro gris nuevas o en servicio, es una tarea compleja; dado que la sensibilidad de endurecimiento y fragilización del hierro por ser una aleación con alto contenido de carbono, es alta al ser sometida a gradientes altos de temperatura; tanto en calentamiento como en enfriamiento.

Sin embargo, teniendo el conocimiento adecuado de las características específicas de la pieza (aleación) que se desea reparar, además de contar con el personal apto y un procedimiento validado en repetitividad, se pueden lograr resultados satisfactorios a un costo competitivo con respecto a la fabricación o compra de una pieza nueva.

Existen y están en constante desarrollo procesos y materiales alternos para soldadura, que presentan condiciones operativas practicas y competitivas que deben ser evaluadas para cada caso específico; además de validar el costo – beneficio que dichos procesos presentan.

10.

Glosario

Aleaciones combinación de metales que mejoran las características generales de los mismos

Diagrama de equilibrio Fe – C Sistema de dos componentes con miscibilidad parcial en estado sólido. Presenta un compuesto intermetálico a 6.69% de C llamado cementita

Cementita compuesto intermetálico Fe3C duro y frágil que, cuando se dispersa apropiadamente proporciona endurecimiento en los metales ferrosos.

Diluir resultado promedio en composición química de la mezcla de metales en estado líquido

Ensayo de Dureza mide la resistencia de un material a la penetración causada por un punzón bajo carga. Los ensayos de dureza comunes son el Brinell, ensayo Rockwell, ensayo Knoop y el ensayo Vickers.

Ensayo de tensión mide la resistencia de un material a la rotura bajo carga de tensión.

Fase material que tiene en toda su extensión la misma composición, estructura y propiedades en condiciones de equilibrio.

Hierros aleaciones ferrosas con alto contenido de carbono y silicio; principalmente. Los hierros comunes son el gris, el nodular, maleable y el blanco.

Hierro gris aleación ferrosa con alto contenido de carbón y silicio; la característica principal que lo distingue de otros tipos de hierro, es que la precipitación del grafito se presenta en forma de laminillas.

Inspección con líquidos penetrantes ensayo de prueba no destructivo en la cual un liquido, es atraído hacia una imperfección superficial y después mediante un revelador queda expuesto en el lugar donde se alojó.

Inspección por partículas magnéticas técnica de ensayo no destructivo que se basa en la detección de interrupciones de líneas magnéticas por imperfecciones superficiales y /o subsuperficiales.

Temple endurecimiento de una aleación ferrosa mediante ciclo de calentamiento a una temperatura por arriba de A3, seguida de un enfriamiento rápido tal.

Tratamiento Térmico Operación o conjunto de operaciones (TT completo) por medio de las cuales se somete a un producto siderúrgico, en estado sólido, a uno o varios ciclos térmicos con el fin de conferir al metal propiedades particulares.

Revenido Recalentamiento de una aleación ferrosa que ha sido endurecida por temple debajo de la de transformación Ac1 y en enfriamiento a velocidad moderada.

11.

Listado de Figuras y Tablas

Figuras:

1. Monoblock fabricado en hierro gris
2. Clasificación de hierros especiales de alta aleación
3. Región donde se ubican los hierros grises para monoblock, en el diagrama Fe-C
4. Rangos de composición de C y Si, de aceros y hierros vaciados comunes
5. Curvas de enfriamiento característico, asociado a las diferentes formas de grafito
6. Influencia del carbón equivalente; CE, sobre la resistencia a la tensión del hierro gris
7. Formas de hojuelas típicas de grafito, especificadas en ASTM A247
8. Patrón de relación entre dureza Brinell y Resistencia a la Tensión
9. Esquema de soldabilidad en hierros
10. Velocidad de arrastre lenta. Crecimiento de grano epitaxial en modo planar
11. Velocidad de arrastre moderada. Crecimiento de grano epitaxial en modo celular
12. Velocidad de arrastre rápida. Crecimiento de grano epitaxial con subestructura de solidificación celular fina
13. Modos de solidificación encontrados en metal soldado
14. Equipo oxiacetileno
15. Tipos de flama de combustión oxigeno-acetileno
16. Penetración y apariencia adecuada de un cordón de soldadura
17. Pieza caliente

Tablas:

1. Clasificación de los hierros como comercialmente se manejan en el común de los fundidores
2. Aplicaciones de piezas automotrices en hierro gris
3. Propiedades mecánicas de piezas de hierro gris estándar
4. Elementos de alto potencial de grafitización, positivo y negativo
5. Categorización de elementos de aleación
6. Relación de propiedades mecánicas de diferentes grados de hierros grises
7. Tratamientos térmicos comunes en hierros grises
8. Procesos de soldadura aplicables a hierros y metales de aporte sugeridos
9. Referencia de ajuste de flama, según material a soldar
10. Diferentes tipos de materiales de aporte aplicables a hierros
11. Composición química de electrodos revestidos y tubulares
12. Composición química del alambre utilizado en electrodos revestidos
13. Composición química de electrodos en alambre o barra

12.

Bibliografía

1. Welding Handbook Committee Member
   W. L. Wilcox.
   Documento de dilpomado de Comimsa

2. Welding Metallurgy
   Volume 1
   By George E Linnert
   Fourth Edition
   Chapter 9

3 ASM Handbook
   Vol 1
   Properties and Selection; Iron, Steel & High Performance Alloys.

4. AWS; Specifications for Welding Electrodes
   And Rods for Cast Iron.
   ANSI / AWS A5.15 – 90
   March 14, 1990

5. ASM , "Heat Treatment and processing principles"
   G. Krauss
   Capitulo 14

6. Muggy Weld
   www. muggyweld.com