

RECUPERACION Y SOLDABILIDAD DE PIEZAS DE FUNDICION DE HIERRO

Recovery and weldability of cast iron

RESUMEN

Las fundiciones presentan poca soldabilidad, sin embargo, bajo ciertos cuidados, estos materiales pueden ser soldados y recuperados siguiendo procedimientos rigurosos y seleccionando electrodos de baja entrada de calor para aumentar la soldabilidad. En el cordón de soldadura se debe asegurar que no cambien las propiedades mecánicas de los materiales soldados y que tampoco haya transformaciones donde se obtengan estructuras frágiles, debido al aumento de tensiones o cambio de fases en la unión soldada. Se presenta información acerca de la soldabilidad de las fundiciones de hierro y algunas recomendaciones son de utilidad a la hora de recuperar piezas de fundición por soldadura.

PALABRAS CLAVES: Fundiciones, Procedimientos de soldadura, recuperación, soldabilidad, Soldadura, Tratamientos térmicos.

ABSTRACT

The cast iron display little weldability, nevertheless, under certain cares, these materials can be welded and be recovered following procedures rigorous and selecting electrodes of low heat entrance to increase the weldability. In the fillet weld should be assured that they do not change the mechanical properties of the welded materials and that are not transformations either where fragile structures are obtained, due to. Information appears about the weldability of the cast iron and some recommendations are utility at the time of recovering pieces of cast iron by weld.

KEYWORDS: Cast iron, Heat treatments, Recovery, Welding procedures, Weld., Weldability.

1. INTRODUCCIÓN

Las fundiciones son aleaciones de hierro y carbono, donde el porcentaje de carbono está entre el 2.08% y el 6.67%, con cantidades de silicio del 1 al 4%, de manganeso hasta 1%, bajo azufre y fósforo, donde el carbono puede estar en forma de grafito, con diferentes formatos o conformando carburos como la cementita. Sin embargo, la relación entre el carbono y silicio, principalmente (denominado carbón equivalente), permite obtener en estos materiales un contenido total de estos dos elementos cercano a 4.26% (punto eutéctico en el diagrama FeC estable). Así, cuando el contenido de carbono son más elevados de lo que permite la relación de carbono equivalente, se obtienen fundiciones con una gran fragilidad, por tal motivo, la mayoría de estos materiales comerciales contienen una cantidad comprendida entre el 2,5 y el 4% máximo de carbono. [4]

Las fundiciones o hierros fundidos pueden ser divididos en dos grandes familias, las hierros fundidos ordinarios, a base de hierro, carbono, silicio, manganeso, fosforo y

JOSE LUDDEY MARULANDA

Ingeniero Metalúrgico, M. Sc.
Profesor Auxiliar
Universidad Tecnológica de Pereira
jlmарulanda@utp.edu.co

ALBERTO ZAPATA

Ingeniero Mecánico.
Profesor Asistente.
Universidad Tecnológica de Pereira
azapata@ utp.edu.co

DAIRO MESA GRAJALES

Ingeniero Mecánico, M.Sc.
Profesor Asistente
Universidad Tecnológica de Pereira
dhmesa@utp.edu.co

azufre y los hierros fundidos aleados, donde son adicionados otros elementos como cobre, Vanadio, titanio, cobalto, etc para mejorar propiedades mecánicas y de superficie. Como fundiciones ordinarias pueden ser clasificadas las fundiciones gris, blanca, nodular, maleable, donde la diferencia en la microestructura depende básicamente de la forma de solidificación y de los procesos de grafitizado e inoculado utilizados [8].

En general las fundiciones no son buenas conductoras del calor y de electricidad, además tienen una ductilidad muy baja y no se pueden laminar, estirar o deformar a temperatura ambiente. Sin embargo, se funden fácilmente y pueden moldearse en formas complicadas. Además absorben las vibraciones mecánicas y actúan como autolubricantes como en el caso de la fundición gris. Debido a sus propiedades, las fundiciones suelen utilizarse para la fabricación de bloques de motor, bancadas de máquinas, herramientas, soportes, cuerpos de bombas etc. [2,4,8]

Las propiedades mecánicas de las fundiciones de hierro dependen de la microestructura y la distribución de los constituyentes microestructurales. El constituyente microestructural que tiene mayor efecto sobre las

propiedades es el grafito, donde la cantidad, tamaño y la forma de las partículas afectan la resistencia y la ductilidad del material. La microestructura de la matriz que rodea las partículas de grafito también afecta las propiedades mecánicas, esta matriz es básicamente la misma que presenta un acero, es decir, ferrítica, perlítica, austenítica o martensítica, el tipo de matriz obtenida en la fundición depende de la composición química, velocidad de enfriamiento y tratamiento térmico, de ahí la obtención de los diferentes tipos de fundiciones. Las fundiciones más comúnmente soldables son: fundición gris, maleable, nodulares y austenítica [4,8].

Cuando el material se calienta, como en el caso de la realización de una soldadura, la matriz se puede enriquecer localmente de carbono y debido al enfriamiento rápido, en la zona afectada térmicamente, pueden llegar a formarse fases duras y frágiles que pueden causar agrietamiento. Debido a estos factores metalúrgicos, los hierros fundidos son más difíciles de soldar que los aceros al carbono, además, las eficiencias (recuperación de las propiedades mecánicas de las piezas), en las juntas no alcanzan el 100%. Para obtener soldaduras exitosas es estos materiales se debe desarrollar un buen procedimiento, además de contar con soldadores calificados para desarrollar este tipo de soldadura y electrodos de baja entrada de calor.

2. CONCEPTOS GENERALES SOBRE SOLDADURA.

La soldadura como tal, es un proceso que involucra muchos fenómenos metalúrgicos entre ellos fusión, transformaciones de fase durante la solidificación, transformaciones de fase de estado sólido, deformaciones causadas por el calor, crecimiento de grano, difusión y tensiones de contracción, que pueden causar muchos problemas prácticos. Estos problemas puede ser minimizados y hasta solucionados aplicándose principios metalúrgicos apropiados a dicho proceso. Es importante destacar, que al hablar de principios metalúrgicos, debe tenerse en cuenta que la metalurgia de la soldadura difiere de la metalurgia convencional en ciertos puntos de vista, sin embargo, en términos generales, se puede decir que la metalurgia de la soldadura estudia el comportamiento del metal durante el proceso de soldado y los efectos de este en las propiedades de la pieza soldada [5,7,10].

Para realizar adecuadamente un proceso de soldadura, se requiere conocer las leyes de dilatación y contracción de los metales a soldar, fenómenos propios que sufren los estos al ser calentados. Durante un proceso de soldadura, el calentamiento es localizado y no hay uniformidad en la temperatura de la pieza, además, las diferentes formas y geometrías que pueden presentar la piezas, hacen que sea factible la distorsión de esta, debido a que, a medida que se va solidificando el cordón de soldadura este se contrae, generando esfuerzos en este y en la zona afectada

térmicamente. Estos esfuerzos, que son los encargados de causar la distorsión o la rotura prematura de la pieza en el área de soldadura, pueden ser eliminados o disminuidos por tratamientos térmicos o mecánicos [10,14].

2.1. Técnicas para mantener la integridad de las soldaduras.

Las técnicas como el precalentamiento, poscalentamiento, alivio de tensiones y martillado, buscan, además de mantener las propiedades del metal base, que la pieza al final del proceso de soldado se mantenga con la forma y dimensiones originales, evitando distorsiones, esfuerzos residuales, aparición de fases frágiles, agrietamiento, entre muchos otros problemas que pueden aparecer durante la operación de la soldadura. [7,13].

2.1.1. Precalentamiento

Los metales son buenos conductores de calor, razón por la cual este calor, es transferido rápidamente desde el cordón de soldadura, a toda la masa metálica, lo que conlleva a un enfriamiento relativamente rápido. Ese enfriamiento contribuye a la formación de microestructuras perjudiciales en la región soldada y en zonas aledañas. El precalentamiento de la junta, es una manera de reducir la velocidad de enfriamiento del metal. La temperatura de precalentamiento puede variar desde 50°C a 540°C, siendo mas comúnmente aplicada en el intervalo de 150°C a 400°C. [12,14].

El precalentamiento es un medio efectivo para reducir el agrietamiento del cordón de soldadura y del metal base. El precalentamiento del metal base, cerca de donde se va a realizar la soldadura minimiza o elimina el riesgo de formación de estructuras duras y frágiles, especialmente en la zona afectada térmicamente. Además la soldadura solidifica con menos esfuerzos debido a que la contracción ha sido más uniforme. El objetivo del precalentamiento y también del postcalentamiento es mejorar la ductilidad, bajar dureza y disminuir la posibilidad de agrietamiento durante el enfriamiento. La necesidad del precalentamiento aumenta con los siguientes factores:

- Contenido de carbono del material base.
- Contenido de elementos aleantes del material base.
- Tamaño de la pieza.
- Temperatura inicial.
- Velocidad de soldado.
- Diámetro del electrodo.

2.1.2. Poscalentamiento

El poscalentamiento de la junta soldada se realiza inmediatamente después de realizar la soldadura. Este tratamiento es bien diferente de otros ejecutados después del enfriamiento de la soldadura tales como alivio de

tensiones, revenido y recocido. El poscalentamiento tiene la misma función del precalentamiento y es la de mantener la temperatura de la pieza en un nivel elevado, de tal manera que la junta soldada se enfríe lentamente. Así como en el precalentamiento, el resultado es una ductilidad mayor en la región soldada.

2.1.3. Alivio de tensiones

El calentamiento heterogéneo causa contracción-expansión heterogénea, lo que puede causar distorsiones y tensiones internas en la pieza soldada. Dependiendo de la composición y aplicación, el metal puede a veces no ser capaz de resistir tales distorsiones y agrietarse, o puede ocurrir falla prematura de la pieza. Una manera de minimizar esas tensiones, o de aliviarlas, es a través de un calentamiento uniforme de la estructura después que la soldadura ha sido realizada. El metal es calentado a temperaturas un poco por debajo del punto donde pueda ocurrir alguna alteración microestructural y luego enfriado lentamente.

El objetivo del alivio de tensiones es reducir esas tensiones. Ese tratamiento lleva a la unión soldada a una condición más duradera, donde la ductilidad aumentada considerablemente, sin embargo la resistencia mecánica disminuye ligeramente. Típicamente, el alivio de tensiones consiste en el calentamiento de la pieza a una temperatura alrededor de 600°C y un sostenimiento, a esa temperatura, de una hora por cada 25 mm de espesor. El conjunto es enfriado lentamente. [5, 12,10].

2.1.4. Martillado

El martillado es un procedimiento aplicado a las piezas soldadas con el fin de reducir los esfuerzos creados en el cordón de soldadura. Este procedimiento no se debe realizar en el primer pase (cordón de raíz), o en la última capa de soldadura, ya que si se martilla en el primer pase o cordón de raíz, se puede agrietar la soldadura o separar las partes y al martillar la última capa se puede limitar la realización de un recocido posterior del metal.

2.2. Tratamientos térmicos realizados a las uniones soldadas

Durante la aplicación del cordón de soldadura, el calor aportado se disipa rápidamente alejándose de la fuente. Como el charco metálico lleva una velocidad de avance se forman isoterma de forma aproximadamente elípticas alrededor de la fuente de calor. El intervalo de temperaturas por las que pasa cada punto puede dar lugar a transformaciones fases que afectan las características de la unión soldada, estas características depende de numerosos factores como la geometría de la unión soldada, temperatura de precalentamiento, espesor de la pieza, calor aportado por el proceso de soldadura, influyendo en la estructura metalúrgica, propiedades mecánicas y en la sanidad de la unión soldada. Esto

permite adoptar ciertas precauciones para reducir efectos perjudiciales en las piezas soldadas. Además un buen control del ciclo térmico de la soldadura, permite obtener cordones sanos, sin que se produzcan alteraciones de las propiedades de los metales después de soldados. [5,7,10].

Después de aplicar el cordón de soldadura en la junta, se presentan tres zonas bien definidas (Ver figura 1), las cuales son; **Zona de Fusión:** Es la zona donde el metal de soldadura fue depositado, ósea que es la parte del metal que se fundió y después se solidificó durante el proceso de soldadura. Esta zona puede estar compuesta de metal base fundido, metal de aporte o una mezcla de metal de aporte y metal base; **Zona Afectada Térmicamente (ZAT):** Es la parte del metal adyacente a la zona de fusión, que ha sido calentada durante el proceso de soldadura, hasta una temperatura que puede producir algunos cambios metalúrgicos significativos. Estos cambios pueden ser crecimiento de grano, revenido del metal, endurecimiento o incluso la fragilización del material. Desde el punto de vista de soldabilidad, la ZAT es más crítica y se debe poner mayor atención, incluso que la zona de fusión del metal y el **Metal Base:** Es todo el material metálico que no fue afectado por el calor aportado en el proceso de soldadura y su estructura metalúrgica permanece igual.

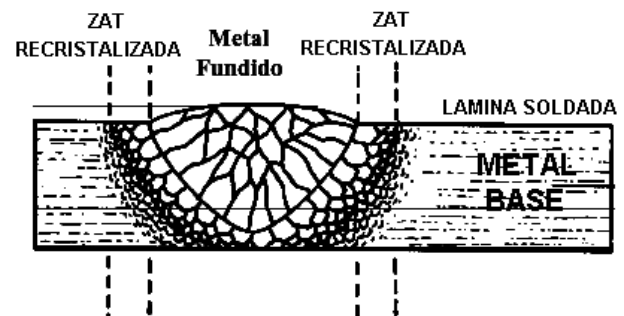


Figura 1. Esquema de las zonas involucradas en un cordón de soldadura [15].

2.3. Soldabilidad

La soldabilidad es la capacidad de un metal o combinaciones de metales para ser soldados, dentro de una estructura específica, convenientemente diseñada y para desempeñarse satisfactoriamente después en servicio. El término soldabilidad relaciona todos los aspectos necesarios que debe tener el metal para que se produzca un buen cordón de soldadura y no afectar las propiedades mecánicas de la zona afectada térmicamente. Los materiales pueden tener buena soldabilidad, bajo un conjunto de condiciones específicas, pero puede bajar la soldabilidad si no se tienen en cuenta estas condiciones. Para que se produzca un buen cordón de soldadura se debe mejorar la soldabilidad, teniendo en cuenta un buen diseño de la junta, una buena selección del metal de aporte, precalentando y postcalentando el metal base,

teniendo un buen control de la entrada de calor y de su disipación durante el proceso de soldadura, debido a que sino se tiene un buen manejo de los parámetros anteriores, se puede encontrar defectos en la soldadura.

La soldabilidad de las fundiciones está determinada por las propiedades metalúrgicas del metal base, la composición química y los tratamientos térmicos, al igual que las dimensiones y la forma de la pieza, el metal de aporte y la sensibilidad del metal de soldadura a la dilución con metales de bases heterogéneas. La dilución se lleva a cabo por mezcla del metal de aporte y el metal base. Si el metal de soldadura no puede tolerar la mezcla del metal base, hay poca soldabilidad, donde el porcentaje de dilución del metal de soldadura depende de la entrada de calor, del proceso de soldadura y de la configuración de la junta a ser soldada.

Cuando el metal base no puede soportar los ciclos de calentamiento y enfriamiento impuestos por la soldadura y se agrieta, se dice que el material tiene poca soldabilidad. Además cuando las características metalúrgicas y físico – químicas del cordón de soldadura y el material base son indeseables, con respecto a la soldabilidad, estas pueden ser corregidas, utilizando una protección adecuada con gases de protección, fundentes específicos, metal de aporte apropiado, proceso de soldadura y en algunos casos con precalentamiento, poscalentamiento y tratamientos térmicos postsoldadura.

2.3.1. Aspectos importantes de la soldabilidad

En la ejecución del proceso de soldadura se debe asegurar que no cambie las propiedades mecánicas de los materiales que son soldados y que tampoco de lugar a la transformación a estructuras frágiles, esto debido al aumento de tensiones o cambio de fases en la unión soldada. Para tener una buena soldabilidad, se debe tener en cuenta, *la soldabilidad operativa*, la cual está relacionada con la operación de la soldadura y estudia las condiciones de realización de las uniones. *La soldabilidad estructural*, que trata la rigidez de la unión de soldadura y depende del espesor del metal a soldar y *la soldabilidad metalúrgica* que es la más importante y la de mayor interés, esta trata de los cambios estructurales originados por las modificaciones en la composición durante y después del proceso de soldadura y trae como consecuencia los cambios de las propiedades mecánicas y metalúrgicas del material. La determinación del metal base, es muy importante para la selección de los parámetros de la soldadura.

2.3.2. Identificación de los metales

Es frecuente, especialmente cuando se hacen trabajos de reparación, que un soldador tenga que identificar de manera general el tipo de material base, para poder seleccionar el metal de aporte y el procedimiento de soldadura más apropiado. Esto significa que el soldador

debe tener varios métodos confiables, precisos y rápidos para identificar los metales. Entre las principales pruebas que un soldador puede utilizar de manera sencilla y rápida, se tienen:

Prueba visual: La apariencia o aspectos de la superficie del metal, tales como el color y el brillo, ayudan a diferenciarlo y clasificarlo, también el metal que ha sido fundido en arena tiene una superficie rugosa y las piezas que han sido forjadas tienen un aspecto superficial escamoso y rugoso con diseños simples.

Prueba de chispa: La mayoría de los metales ferrosos se pueden diferenciar y clasificar, en cuanto a su contenido de carbono, en forma aproximada, observando las chispas producidas, cuando se pone la pieza a la cual se le desea conocer su composición en carbono, en contacto con un esmeril en marcha. Para clasificar el metal desconocido, se comparan las chispas con las de un metal conocido. Por otro lado, se debe tener cuidado a la hora de hacer la comparación, ya que el tratamiento térmico realizado en la pieza, puede modificar el aspecto de la chispa. Esta práctica requiere de experiencia para clasificar los metales, ya que hay que tener en cuenta la longitud, el color y la forma de la chispa, desde el momento que sale de la rueda de esmeril hasta que desaparece. Es conveniente conservar muestras de metales conocidos para visualizar las chispas y hacer pruebas comparativas.

Prueba de lima: Esta prueba consiste en realizar un limado en sentido transversal a la dirección más larga de la pieza, después un examen visual de la región limada de la superficie permitirá apreciar numerosas líneas que cruzan las marcas de la lima si el material es hierro maleable, en cambio no se observan las marcas si es acero vaciado, además con el limado se puede estimar que tan duro es el material.

Historial de la pieza: Conocer de donde proviene la pieza y que trabajo estaba realizando, da una aproximación del tipo de material de que está hecha.

La superficie de fractura: La superficie de fractura revela aspectos como la naturaleza de la rotura, el tipo de grano y el color. La superficie de una fractura de una pieza de fundición gris, por ejemplo, es de color gris oscuro y generalmente al frotarla con el dedo deja una untura negra de grafito, la fundición blanca, su fractura tiene un aspecto blanco plateado, la fundición maleable muestra un centro oscuro con una película exterior clara debida al tratamiento superficial. Así que la forma como rompe un material da información valiosa, en cuanto al tipo de comportamiento que este presenta, es decir, si es dúctil o frágil, por ejemplo la superficie de fractura de una fundición maleable, hace intuir que estos materiales son dúctiles y esto se comprueba con el hecho de que generalmente se deforman antes de romperse y el metal indicará su estado dúctil a lo largo del borde de rotura.

Por otro lado, las fundiciones gris y blanca son frágiles y producen una fractura limpia.

3. SOLDABILIDAD DE FUNDICIONES.

Cuando se solda una fundición, el último cordón debe ser depositado de manera que el metal líquido producido por el arco no toque el metal base y la unión se produce por el metal depositado previamente. Con esta técnica, la zona afectada térmicamente sufre un revenido y el material mejora su tenacidad. Por esta razón es importante controlar la cantidad de calor aportado a la soldadura, de tal manera que la penetración de la zona fundida sea la mínima, para conseguir la fusión del metal base, ya que todo exceso de calor producirá un aumento del ancho de la zona afectada térmicamente y con esto aumentan las transformaciones estructurales que pueden conllevar a la fragilización de la junta soldada.

Cuando se precalienta la pieza, los cordones de soldadura son más blandos y menos frágiles, pero la soldadura es más difícil de realizar. Durante la ejecución de la soldadura se debe mantener la pieza a la temperatura de precalentamiento y esta temperatura depende de la configuración, forma y tamaño de la pieza. Mientras mayores sean los espesores y/o complejidad de las piezas a soldar, mayor cuidado debe tenerse para evitar altas velocidades de enfriamiento que pueden conllevar al agrietamiento del cordón de soldadura o del metal base.

Generalmente los electrodos que se usan para soldar hierros fundidos producen soldaduras heterogéneas, es decir, la composición química del depósito de soldadura es diferente a la composición del metal base, donde la aplicación de un determinado tipo de electrodo, ejerce una gran influencia sobre el resultado final. La selección de un electrodo para soldar hierro fundido puede ir desde el acero hasta el níquel, incluyendo aleaciones de monel (70%Ni – 30%Cu) y los aceros inoxidable (Cr-Ni). Los electrodos más comunes para soldar hierro fundido son los de núcleo metálico de aleación de níquel, ya que evita la fisuración por la aparición de fases duras y frágiles, además tiene una alta elongación que permite soportar la dilatación y contracción durante el proceso de soldadura como también es maquinable. Adicionalmente se deben seleccionar los electrodos de menor entrada de calor que en otras palabras son los que trabajan a menores amperajes. [10,14].

Cuando una fundición es soldada en caliente, presenta una disminución en la proporción de cementita en la zona de unión y una notable mejoría en la apariencia de la soldadura. En la soldadura en frío de las fundiciones grises con electrodos de acero, la transformación en cementita, de la zona de unión, se acentúa y la parte fundida está constituida casi totalmente por una estructura martensítica. La soldadura con electrodo de níquel o monel, da mejores resultados, obteniéndose una notable mejoría de la línea de unión, debido a la

influencia grafitizante del níquel. Todas las fundiciones de hierro, se consideran soldables, pero en menor grado que los aceros al carbono y con excepción de la fundición blanca, debido a que tiene baja ductilidad y no es capaz de absorber los esfuerzos térmicos que se generan en el metal base al soldarse. Además las fundiciones maleables de corazón negro tampoco son soldables. [13].

4. PROCEDIMIENTOS Y RECOMENDACIONES DURANTE LA RECUPERACIÓN POR SOLDADURA DE PIEZAS DE FUNDICIÓN.

El procedimiento, los cuidados y precauciones para soldar fundiciones en frío son:

1. Usar técnicas apropiadas para determinar el metal base.
2. Seleccionar el electrodo más adecuado para minimizar el agrietamiento. Los electrodos fabricados por Eutectic–Castolin tienen una menor entrada de calor que los demás electrodos del mercado Colombiano, por tal motivo serán los más convenientes. [13,14].
3. Utilizar electrodos de poco diámetro y con bajo amperaje, pero suficiente para producir una buena fusión.
4. Realizar una buena preparación superficial retirando los óxidos, grasas y aceites por medio de maquinado, pulidora, grata y desengrasantes.
5. Taladrar las puntas de las grietas
6. Rellenar las grietas dejando de último las perforaciones de los extremos para evitar la aparición de nuevas grietas.
7. Todas las grietas se deben biselar en U y nunca en V porque los ángulos agudos provocan grietas.
8. Soldar sin corrientes de aire sobre la pieza
9. Mantener la entrada de calor al mínimo (bajo amperaje y voltaje).
10. Aplicar cordones cortos 1 pulgada máximo y sin movimiento.
11. Aliviar esfuerzos martillando el cordón de soldadura con un martillo de bola después de aplicado el cordón de soldadura.
12. Monitorear y mantener la temperatura baja en el proceso de soldadura, tocando con la mano a 10 cm aproximadamente de la junta, si la mano no es capaz de soportar el calor, hay que parar y dejar enfriar la pieza
13. Aplicar cordones alternados a la pieza para evitar el calentamiento de esta.
14. Limpiar la escoria entre pasas para evitar la inclusión de escoria.
15. Realizar enfriamiento lento.

El procedimiento, los cuidados y precauciones para soldar fundiciones en caliente son:

1. Seguir los pasos anteriores del 1 al 8.
2. Precalentar la fundición a la temperatura recomendada (300°C – 400°C).
4. Monitorear y mantener la temperatura durante el proceso de soldadura.

5. Soldar con cordones largos y sin martillar
6. Enfriar lentamente en horno o con cal, asbesto, ceniza entre otros.

Para aumentar la resistencia mecánica en piezas que están sometidas a grandes esfuerzos, se pueden colocar espárragos en las caras biseladas que son taladradas. Los espárragos no se recomiendan para espesores menores de 12 mm (1/2 in). Los espárragos muy unidos debilitan la pieza y muy separados no le dan la consistencia necesaria, por lo tanto, deben colocarse separados entre si unas tres veces el diámetro del espárrago, la profundidad debe ser de 1.5 veces el diámetro y debe sobresalir entre el 50% y el 80% del diámetro, como se ve en la figura 2.

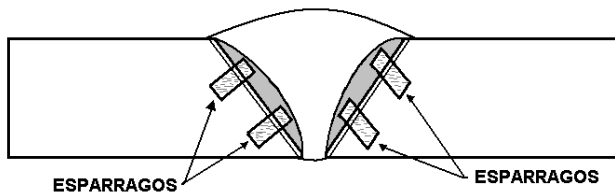


Figura 2. Soldadura en fundición con espárragos insertos. [10].

Estos espárragos deben quedar bien fijos, de lo contrario debilitarían la pieza. Una vez colocados, se procede a soldar, aplicando un cordón alrededor de cada uno de ellos, antes de rellenar el bisel en sentido longitudinal. Cuando la reparación se hace sobre una sola cara, por ejemplo en el recargue de uno o varios dientes de un piñón, la separación de los espárragos debe ser de dos a tres veces el diámetro, la profundidad 1.5 veces el diámetro y la saliente debe ser la altura del diente o un poco menos. La forma más conveniente para recargar estos dientes es, comenzar aplicando un cordón alrededor de cada espárrago, seguido del recargue de la parte de abajo con cordones alternados.

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Determinar cual es el metal base, es muy importante para la seleccionar los parámetros y el procedimiento de la soldadura.

La soldabilidad de las fundiciones es influenciada por las propiedades metalúrgicas del metal base, la forma del grafito, los tratamientos térmicos, forma del bisel, las dimensiones y la forma de la pieza.

Para que las fundiciones tengan una buena soldabilidad se deben seguir los procedimientos de soldadura, teniendo en cuanto todas las precauciones y cuidados al realizar el cordón de soldadura, ya que esto disminuye o elimina el agrietamiento en el cordón de soldadura y en la zona afectada térmicamente.

En el mercado nacional se encuentran una gran gama de electrodos y productos, para obtener soldaduras de mayor calidad.

5. BIBLIOGRAFÍA

Referencias de libros:

- [1] American Society for Metals. Metals Handbook Volumen 2, Welding process. American Society for Metals. Metals Park, 1978.
- [2] Metalcasting and Molding Processes, American Foundrymen's Society, 1981
- [3] P. Houldcroft. Tecnología de los procesos de soldadura. Ediciones CEAC S.A. Barcelona – España. 1990.
- [4] ASM HANDBOOK Vol.15. “Casting”. United States of America. 9 ed. ASM International, 1992. 937 p.
- [5] O. J. Gómez, Soldadura de Metales. Universidad Industrial de Santander. 1993.
- [6] H. Horwitz, Soldadura Aplicaciones y practica. Editorial Alfaomega. Bogota – Colombia. 1997.
- [7] Electromanufacturas S.A. Manual de Soldadura, Electromanufacturas. Bogotá. 2000.
- [8] D. H. Mesa, Fundiciones. Universidad Tecnológica de Pereira. 2003.
- [9] F. Cleber,. Metalurgia da soldagem, Basic Welding Filler Metal Technology – ESAB Welding and Cutting Products, 2004.
- [10] J.L. Marulanda, A. Zapata, and D. Mesa, Fundamentos de la soldadura de metales. Universidad Tecnológica de Pereira. 2007.

Reportes Técnicos:

- [11] ZAPATA. ALBERTO. Manual técnico de soldadura, Sin Publicar.
- [12] Indura s.a, Sistemas y materiales de soldadura, Indura 1999.
- [13] SAGER S.A. Manual de soldadura, SAGER, Cali. 2004.
- [14] EUTECTIC – CASTOLIN, Manual de soldadura, Eutectic – Castolin, Bogotá 2002.

Documentos de memorias de congresos (Publicados):

- [15] Notas de clase. Diplomado en soldadura, Universidad Tecnológica de Pereira. Tecnología Mecánica 2005.