

CAPÍTULO 4.

CARACTERÍSTICAS MICROESTRUCTURALES DEL MATERIAL ROLADO Y SOLDADO

Este capítulo contiene una descripción de las características del material al ser rolado y soldado. En la fabricación de tubo de escape, la tira de acero es rolada en frío y soldada con soldadura láser para conseguir la forma tubular. Se presentan primeramente las características microestructurales del material rolado. Posteriormente se presentan las características microestructurales del material en la zona de aplicación de la soldadura láser. Además de los resultados de las pruebas experimentales efectuadas sobre el material para describirlo microestructuralmente; se presentan las condiciones bajo las cuales se efectuó el análisis, así como la interpretación de las metalografías arrojadas por la prueba.

4.1. Características Microestructurales del Material Rolado

El trabajo en frío implica una deformación plástica de un metal, es decir, por encima de su límite elástico; como consecuencia de ello, el material adquiere una mayor dureza, mientras que la ductilidad del material disminuye. El trabajo en frío ocasiona, además, una distorsión de la microestructura del material. Durante el doblado, los esfuerzos son distribuidos en todo el material, dependiendo del grado de doblado; sin embargo para el caso de los aceros inoxidables, debe ser efectuado un tratamiento térmico posterior al trabajo en frío para disminuir el riesgo de ruptura.

4.2. Características Microestructurales del Material Soldado

Los componentes automotrices tales como tubos, convertidores catalíticos y mofles son elementos que requieren uniones efectuadas mediante procesos de soldadura. El proceso de soldadura para los aceros inoxidable es poco más complicado que para los aceros al carbono. La temperatura de fusión es menor al soldar los aceros inoxidable; por otro lado el coeficiente de conductividad térmica también es menor, mientras que el coeficiente de expansión térmica y la resistividad eléctrica son mayores.

Aunque las propiedades no son las mismas para todos los aceros inoxidable, si son similares para aquellos que tienen microestructuras iguales. Con base en lo anterior, los aceros inoxidable de una misma clase metalúrgica tienen características de soldadura similares. Los aceros inoxidable ferríticos, como en este caso de estudio, pueden ser soldados utilizando la mayoría de los procesos de soldadura. El coeficiente de expansión térmica para los aceros inoxidable ferríticos es muy similar al de los aceros de medio contenido de carbono [13].

La soldadura láser es una tecnología alternativa a los métodos convencionales de unión; ofrece ventajas tales como rapidez en el soldado, alto grado de automatización, etc. La aplicación más popular para la soldadura láser es en los tubos de escape automotrices fabricados a partir de láminas roladas [14].

Los aceros inoxidable con bajo contenido de cromo, como el sujeto a este estudio, tienen tendencia a endurecimiento con una transformación martensítica en las fronteras de grano del área soldada. Lo anterior disminuye la ductilidad, resistencia al impacto y resistencia a la corrosión en la soldadura [13].

4.3. Metodología del Experimento

Con el objetivo de analizar la microestructura del material rolando y soldado, se seleccionaron una serie de secciones de la pieza. Se consideró, para estudio, el área transversal en los procesos de rolando y soldado debido a que la deformación del material afecta a la sección transversal. Se consideró, además, la sección longitudinal del material rolando, para obtener una base de comparación con procesos posteriores.

Las secciones elegidas fueron preparadas de acuerdo a la técnica del Apéndice A. El tiempo de ataque para las muestras fue de 50 segundos con reactivo de Vilella. Una vez concluido el ataque, las muestras metalográficas son observadas bajo el microscopio. Con ayuda del aumento proporcionado por el microscopio metalográfico se observan los granos que forman la microestructura de las muestras. El aumento utilizado para observar las muestras es de 100X para todas las muestras y 50X para una vista más general de la sección afectada por la soldadura. La figura 4.1 muestra la ubicación de las muestras estudiadas sobre la pieza rolando y soldada:

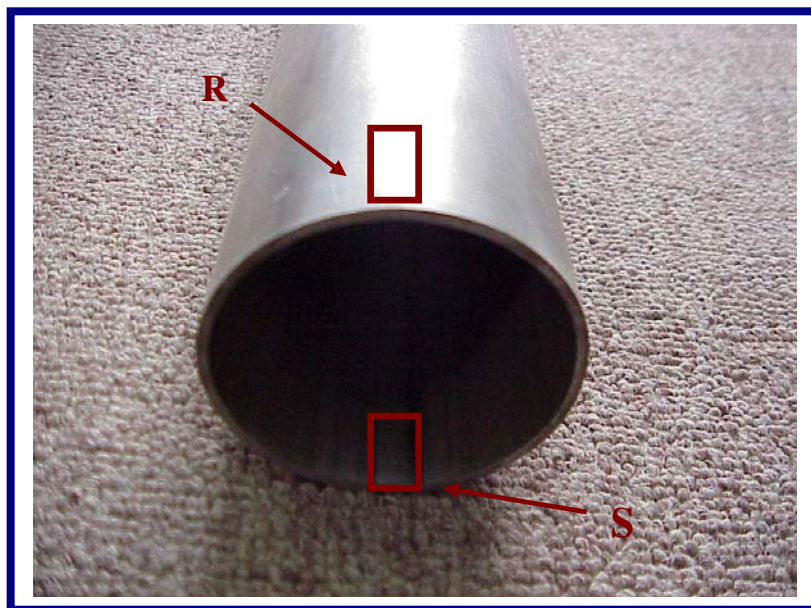
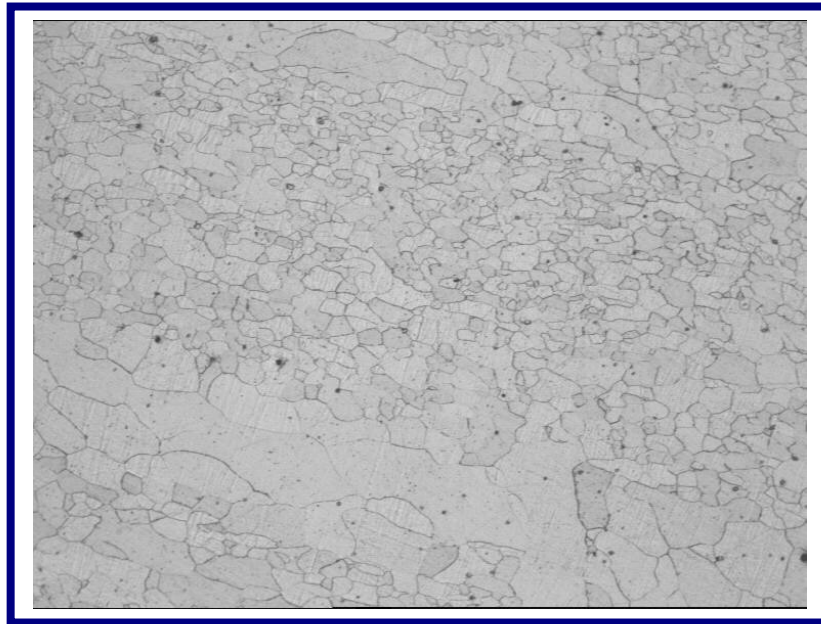


Figura 4.1 Ubicación de Muestras Estudiadas sobre Pieza Rolada y Soldada.

4.3.1. Metalografía Efectuada sobre Muestra R

En la figura 4.2 es posible observar la matriz ferrítica del material con fronteras de grano definidas. Se muestran tamaños y formas de grano irregulares. Se observa, además un alargamiento en los granos originado por el trabajo en frío al que es sometido el material.



**Figura 4.2 Microestructura de Muestra R1 en Sección Transversal
Ataque con Reactivo de Vilella. 100X**

En la figura 4.3 se presenta la sección longitudinal del material rodado. Se esperaba obtener una microestructura semejante a la del material inicial en la misma sección, ya que el rodado deforma únicamente a la sección transversal. Sin embargo, es posible observar que a nivel microestructural, ocurren cambios debido a este proceso. Se observan fronteras de grano definidas y granos de diversos tamaños y formas. Del mismo modo que en la sección transversal, existe un alargamiento de los granos.

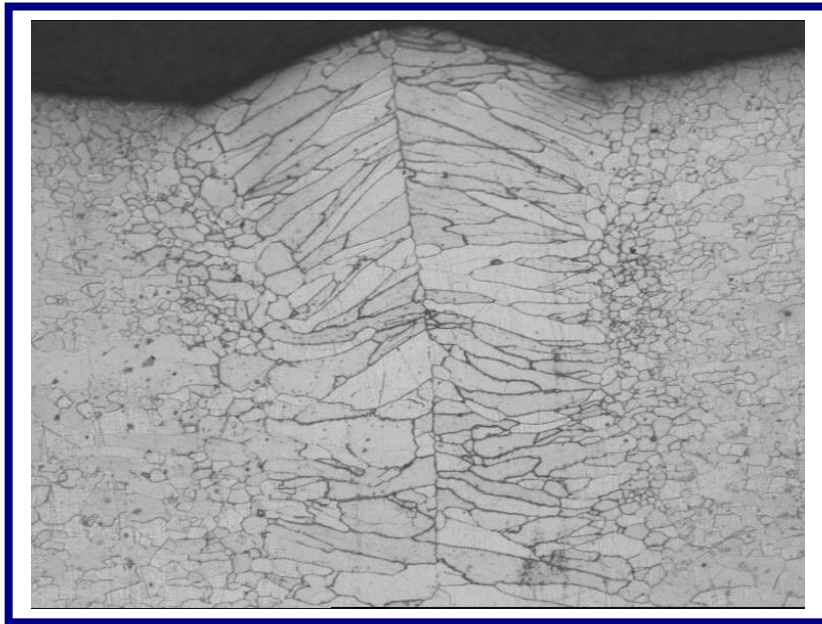


**Figura 4.3 Microestructura de Muestra R2 en Sección Longitudinal
Ataque con Reactivo de Vilella. 100X**

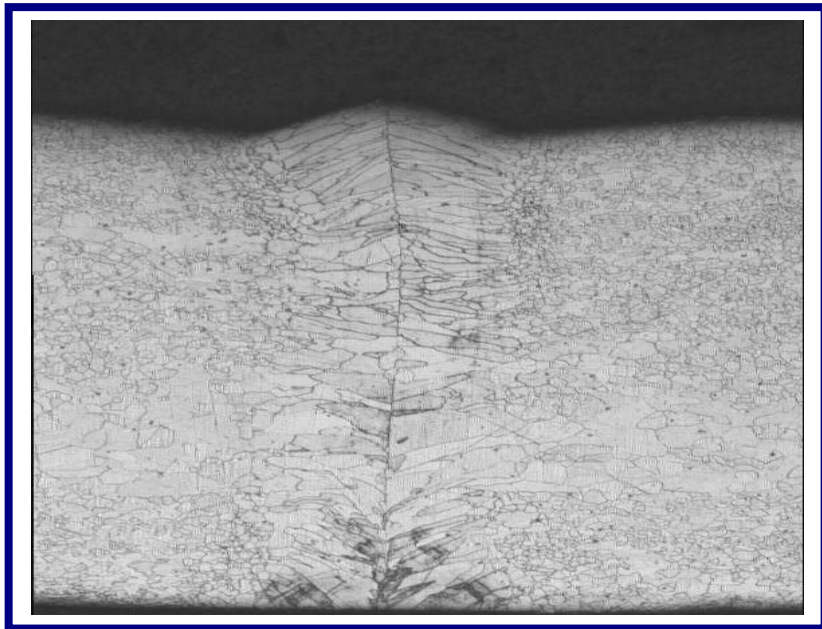
4.3.2. Metalografía Efectuada sobre Muestra S

En la figura 4.4 se observa la zona afectada por la soldadura y atacada con reactivo de Vilella. En esta imagen se muestra un pronunciado crecimiento de los granos, los cuales han adoptado la forma de granos columnares. En la zona únicamente afectada por el calor, se observa un grano de menor tamaño y forma similar al del material circundante, únicamente rolado. El efecto resultante de estas observaciones microestructurales es un debilitamiento en la estructura del material en mayor grado en la zona afectada por el calor.

En la figura 4.5 se observa una vista a 50X de la misma microestructura de la muestra S permitiendo observar el comportamiento del material a lo largo de todo el espesor del material. En esta misma figura es posible distinguir la zona de aplicación de la soldadura, la zona afectada por el calor y la zona únicamente rolada.

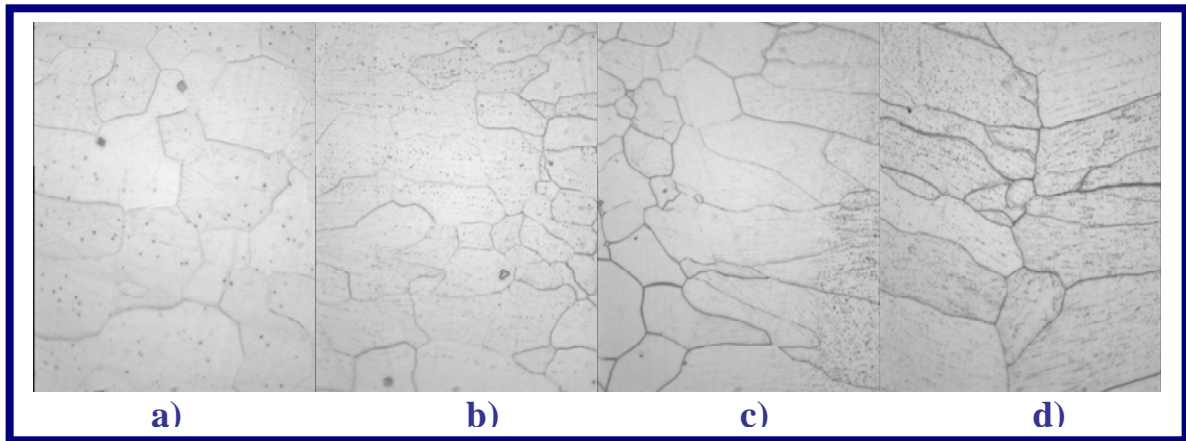


**Figura 4.4 Microestructura de Muestra S en Sección Transversal
Ataque con Reactivo de Vilella. 100X**



**Figura 4.5 Microestructura de Muestra S en Sección Transversal
Ataque con Reactivo de Vilella. 50X**

A continuación se muestra un detalle de la zona afectada por el calor. La figura 4.6 incluye una secuencia de las transformaciones de acuerdo con la zona de soldadura.



**Figura 4.6 Secuencia de Zona Afectada por el Calor en Muestra S.
Ataque con Reactivo de Vilella. 1000X**

Considerando la figura 4.6 de derecha a izquierda, es posible ver en el segmento d), la zona donde se aplica la soldadura, causando un cambio en el tamaño de grano, haciéndolos granos columnares y mostrando la línea de aplicación de la soldadura láser, el crecimiento del grano provoca un debilitamiento en la estructura, que a su vez es la razón por la cual mayormente en elementos soldados las fracturas ocurren en la zona adyacente a la soldadura, en vez de en el grano fino. Posteriormente, en los segmentos c) y b) se muestra el efecto de calentamiento cerca del punto de fusión. Finalmente, el segmento a) muestra la estructura únicamente afectada por el rolado.

4.3.3. Dureza del Material Rolado y Soldado

La dureza del material rolado y soldado fue evaluada experimentalmente, obteniendo valores en escala de dureza Rockwell B. Se evaluó la dureza en dos zonas; la primera zona considera el material afectado únicamente por el proceso de rolado, mientras que la segunda zona evalúa la dureza junto al punto de aplicación de la soldadura. La tabla 4.1 muestra los valores de dureza medidos en las diferentes zonas. La zona con los mayores grados de dureza se registra en la zona 2, debido a que la presencia de la soldadura provoca un endurecimiento del material como lo observamos en las metalografías anteriores.

Tabla 4.1 Dureza Rockwell B sobre Pieza Rolada y Soldada

Zona	Valores de Dureza	Promedio
ZONA 1	78, 75, 75, 77, 76, 78, 77, 76, 76, 75	76.3
ZONA 2	88, 87, 88, 86, 88, 89, 87, 87, 88, 87	87.5