



TRABAJO DE FINAL DE GRADO

ETSID

UNIVERSITAT POLITECNICA DE VALENCIA

ANALISIS DE LA SOLDADURA DE FUNDICIÓN LAMINAR
POR PROCEDIMIENTO TIG Y APORTE DE VARILLA DE
INCONEL SOMETIDA A DISTINTOS TRATAMIENTOS
TÉRMICOS

DOCUMENTOS:

1. Memoria
2. Pliego de condiciones
3. Presupuesto

Raul Sahuquillo Garrido

Manuel Pascual Guillamón

Grado en Ingeniería mecánica

Valencia, Julio de 2018

ÍNDICE GENERAL

Tabla de contenido

1.1	OBJETO DEL PROYECTO	5
1.2	ANTECEDENTES.....	6
1.2.1	INTRODUCCIÓN	6
1.2.2	ANTECEDENTES DEL PROYECTO	7
1.3.	FUNDAMENTOS DE LA FUNDICIÓN DE GRAFITO LAMINAR.....	8
1.3.1	FUNDICIÓN DE GRAFITO LAMINAR.....	8
1.3.2	CARACTERÍSTICAS DE LA FUNDICIÓN DE GRAFITO LAMINAR	9
1.3.3	TIPOS DE FUNDICION DE GRAFITO LAMINAR	10
1.3.3.1	Fundición Laminar Perlítica.....	10
1.3.3.2	Fundición Laminar Ferrítica	10
1.3.3.3	Fundición Laminar Aleada	10
1.3.4	TRATAMIENTOS TÉRMICOS DE LA FUNDICIÓN DE GRAFITO LAMINAR.....	11
1.3.4.1	Introducción.....	11
1.3.4.2	Normalizado.....	11
1.3.4.3	Recocido.....	12
1.3.4.4	Temple y Revenido	13
1.4	CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS Y MICROESTRUCTURALES DE LA FUNDICIÓN LAMINAR ESTUDIADA EN EL PRESENTE PROYECTO.....	15
1.4.1	DESCRIPCIÓN DE LA FUNDICIÓN LAMINAR ESTUDIADA EN EL PRESENTE PROYECTO	15
1.4.2	METODOLOGÍA DE TRABAJO	15
1.4.3	PREPARACIÓN DE LAS PROBETAS.....	20
1.4.4	ENSAYO DE TRACCIÓN	21
1.4.4.1	Determinación de la tensión Elástica.....	22
1.4.4.2	Determinación de la Tensión de Rotura	24
1.4.4.3	Determinación del alargamiento en %	25
1.4.4.4	Determinación del módulo de Elasticidad	26
1.4.5	ENSAYO Y CÁLCULO DE MICRODUREZA	28
1.4.5.1	DEFINICIÓN DE DUREZA.....	28
1.4.5.2	DEFINICIÓN DEL ENSAYO PARA LA DESIGNACIÓN DE LA DUREZA VICKERS Y PROCEDIMIENTO	29
1.4.6	RESULTADOS OBTENIDOS EN EL ENSAYO DE TRACCIÓN Y CÁLCULOS.....	30
1.5	PROCEDIMIENTOS DE LA SOLDADURA	31
1.5.1	INTRODUCCIÓN	31
1.5.2	SOLDADURA POR FUSIÓN CON ARCO ELÉCTRICO Y GAS PROTECTOR (TIG)	33
1.5.2.1	Descripción de la metodología	33
1.5.3.2	Ventajas de este tipo de soldeo.....	36

1.6 VARILLA DE APORTACIÓN DE INCONEL	37
1.6.1 COMPOSICIÓN DE UNA VARILLA DE INCONEL.....	37
1.6.2 DESCRIPCIÓN Y RAZONAMIENTO DE LA IDONEIDAD DE DICHO MATERIAL DE APORTACIÓN PARA ESTE CASO EN CONCRETO.....	39
1.7 SOLDADURA DE FUNDICIÓN LAMINAR CON MÉTODOS UTILIZADOS EN EL PROYECTO	39
1.7.1 SOLDADURA CON VARILLA DE INCONEL SIN TRATAMIENTO TÉRMICO	39
1.7.1.1 Descripción del método empleado.....	39
1.7.1.2 características mecánicas de las uniones soldadas	42
1.7.1.3 Microestructuras de las uniones soldadas y análisis de los resultados.....	45
1.7.2 SOLDADURA CON VARILLA DE INCONEL CON PRECALENTAMIENTO PREVIO A 450º	48
1.7.2.1 Descripción del método empleado.....	48
1.7.2.2 características mecánicas de las uniones soldadas	49
1.7.2.3 Microestructuras de las uniones soldadas y análisis de los resultados.....	52
1.7.3 SOLDADURA CON VARILLA DE INCONEL CON RECOCIDO A 900º.....	55
1.7.3.1 Descripción del método empleado.....	55
1.7.3.2 características mecánicas de las uniones soldadas	56
1.7.3.3 Microestructuras de las uniones soldadas y análisis de los resultados.....	58
CAPÍTULO II: PLIEGO DE CONDICIONES	61
2.1 FENÓMENOS PRODUCIDOS POR EL ENCENDIDO DEL ARCO	61
2.2 DEFECTOS PRODUCIDOS EN EL CORDÓN POR LA LONGITUD DEL ARCO	63
2.3 PREPARACIÓN DE LOS BORDES PARA LA SOLDADURA.....	64
2.4 INTENSIDAD DE CORRIENTE.....	64
2.5 EQUIPO DE SOLDADURA.....	65
2.6 CAUSAS DE PROTECCIÓN EN LA SOLDADURA	68
2.7 NORMATIVA CONSIDERADA EN CADA PROCESO DEL TRABAJO.....	68
2.7.1 PROCESO DE SOLDADURA	68
2.7.2 PREPARACIÓN DE MUESTRAS.....	68
2.7.3 ENSAYO DE TRACCIÓN	68
2.7.4 MICROGRAFÍAS	69
2.7.5 DUREZAS VICKERS.....	69
2.8 NORMATIVA DE SEGURIDAD UTILIZADA EN CADA PROCESO Y DESCRIPCIÓN	69
2.8.1 PROCESO DE SOLDADURA	69
2.8.2 PREPARACIÓN DE MUESTRAS.....	69
2.8.3 ENSAYO DE TRACCIÓN	70
2.8.4 MICROGRAFÍAS.....	70
2.8.5 DUREZAS VICKERS.....	70
CAPÍTULO III: PRESUPUESTO.....	71
3.1 INTRODUCCIÓN.....	71
3.2 CUADRO DE PRECIOS ELEMENTALES.....	71
3.3 CUADRO DE PRECIOS DESCOMPUESTOS.....	72

3.4	RESUMEN PRESUPUESTO TOTAL.....	73
4.	BIBLIOGRAFÍA.....	74
Ilustración 1.	Fundición laminar sometida a x200 aumentos.....	8
Ilustración 2.	Influencia del temple y revenido en la resistencia tracción y dureza para fundiciones grises.....	14
Ilustración 3.	Tronzadora de disco.....	16
Ilustración 4.	Embutidora	17
Ilustración 5.	Lija para discos de diámetro de grano hasta 1000	18
Ilustración 6.	Lija para discos de grano 0,5 micras	18
Ilustración 7.	Microscopio digital x200 aumentos.....	19
Ilustración 8.	Horno industrial	20
Ilustración 9.	Cortadora de sierra en ángulo	20
Ilustración 10.	Resultado de probetas con chaflán a 45º	21
Ilustración 11.	Ejemplo de curva de tracción de un metal	24
Ilustración 12.	Curva típica hasta rotura de un metal	24
Ilustración 13.	diagrama de relación tensión deformación.....	27
Ilustración 14.	Geometría del punzón para determinación de durezas Vickers	29
Ilustración 15.	Croquis metodología de trabajo TIG.....	32
Ilustración 16.	Tipos de Soldadura.....	33
Ilustración 17.	Sección de el procesode soldado empleado en este trabajo	36
Ilustración 18.	Ficha técnica de varilla de INCONEL según nuestro fabricante	38
Ilustración 19.	Equipo de soldadura empleado en este trabajo.....	40
Ilustración 20.	Cordón de soldadura terminado sin tratamiento térmico	41
Ilustración 21.	Probetas de ensayo de tracción para material sin tratamiento térmico.....	42
Ilustración 22.	Diagrama esfuerzo recorrido para material sin tratamiento térmico	43
Ilustración 23.	Microdurómetro INNOVATEST para realizar durezs en este trabajo	44
Ilustración 24.	Material de aporte y interfase para muestra sin tratamiento térmico	46
Ilustración 25.	Interfase para muestra sin tratamiento térmico	46
Ilustración 26.	Material base y interfase muestra sin tratamiento térmico	47
Ilustración 27.	Cordón de soldadura terminado con precocido	49
Ilustración 28.	Probetas de ensayo de tracción para material con precalentamiento	50
Ilustración 29.	Diagrama esfuerzo recorrido material con precalentamiento	51
Ilustración 30.	Material de aporte e interfase muestra con precalentamiento	53
Ilustración 31.	Interfase muestra con precalentamiento	53
Ilustración 32.	Material base e interfase muestra con precalentamiento	54
Ilustración 33.	Cordón de soldadura terminado para muestra sometida a un recocido	55
Ilustración 34.	Probetas de ensayo de tracción para material sometido a un recocido	56
Ilustración 35.	Diagrama Esfuerzo recorrido para muestra sometida a un recocido.....	57
Ilustración 36.	Material de aporte e interfase muestra sometida a un recocido.....	59
Ilustración 37.	Interfase muestra sometida a un recocido.....	59
Ilustración 38.	Material base e interfase para muestra sometida a un recocido.....	60
Ilustración 39.	Croquis del diseño del chaflán para las probetas	64
Ilustración 40.	Tabla regulación de corrientes para soldadores TIG según tipo de electrodo	65
Ilustración 41.	Equipo de Soldadura TIG.....	65
Ilustración 42.	Configuraciones del porta electrodos TIG	66
Ilustración 43.	Pinza de masa	66
Ilustración 44.	Careta automática soldeo.....	67

CAPÍTULO I: MEMORIA DESCRIPTIVA

1.1 OBJETO DEL PROYECTO

La finalidad del presente trabajo es realizar un estudio de la microestructura, soldabilidad y características mecánicas de la Fundición de grafito Laminar obtenida por colada, puesto que este tipo de fundición se utiliza en una amplia variedad de campos para fabricar piezas con aplicaciones industriales.

Para llevar a cabo este proyecto se ha tenido que seguir una metodología estándar de trabajo la cual implicaba seguir siempre las normas actuales establecidas para cada ensayo. En este caso son las normativas ISO y UNE las cuales regulan las pruebas realizadas para obtener posteriormente resultados de comportamiento mecánico.

En primer lugar se procede a preparar las muestras a soldar en el taller habilitando el canto de las mismas para facilitar la penetración del cordón de soldadura. A posteriori se preparan las muestras en probetas estándar para poder realizar la observación de las mismas en microscopio óptico, para poder analizar su microestructura.

La evaluación de la problemática de la soldadura en la fundición laminar se lleva a cabo mediante el empleo del mismo método de soldadura TIG con el mismo material de aporte, pero sometiendo a las probetas a diferentes tratamientos térmicos que teóricamente afectarán a los resultados obtenidos de manera distinta en cada caso en particular.

Para ello se procede a la preparación y ejecución de la soldadura TIG, en distintas situaciones dónde se incluye el precalentado o el recocido. Posteriormente se observará su microestructura, como se ha mencionado con anterioridad, y se analizará su comportamiento a través de diferentes ensayos mecánicos normalizados como el ensayo a tracción de las mismas, además de punzonamientos para obtener resultados de micro durezas a lo largo de las soldaduras.

En el proceso de soldeo y sometimiento de tratamientos térmicos a las probetas se han tenido en cuenta dificultades como:

- Falta de penetración
- Excesiva intensidad en el aparato
- Aparición de porosidades o grietas por metodología errónea

En resumen, el objetivo de este trabajo es caracterizar la fundición laminar de colada a partir de su microestructura y la de su interfase con el material de aporte además de sus características mecánicas, llegando a la conclusión de que tipo de tratamiento térmico ofrece el resultado óptimo a este tipo de fundición.

1.2 ANTECEDENTES

1.2.1 INTRODUCCIÓN

Dentro de los materiales ferrosos, las fundiciones con grafito libre tienen un extenso campo de aplicación. A pesar de la existencia de otros materiales con características similares y que se encuentran en situación más avanzada, algunas fundiciones han continuado ampliando su espectro de aplicaciones debido a la mejora de las propiedades mecánicas, la facilidad de fabricación y su coste inferior comparado con otros materiales similares y más usuales como el acero.

El grafito otorga a las fundiciones propiedades tales como alta conductividad térmica, auto lubricación, amortiguación de las vibraciones mecánicas, etc. La principal desventaja es que, el grafito tiene una resistencia mecánica nula, y su presencia puede asemejarse a la de fisuras o huecos distribuidos por toda la pieza, como se podrá observar en las micrografías. Esto se traduce en una menor resistencia mecánica.

El grafito libre puede presentarse en varias morfologías: laminar (fundición gris), esferoidal (fundición nodular) e intermedia (fundición vermicular). Tradicionalmente, la producción de hierro fundido estaba constituida por fundición gris con grafito laminar, que es la que vamos a analizar en este trabajo. Sin embargo, a partir de mediados del siglo XX se logró obtener tecnológicamente la morfología nodular. De esta forma pudo alcanzarse una mayor resistencia mecánica y ductilidad, debido a que esta morfología reduce el efecto de entalla de la fase grafito. Este tipo de fundición se llama fundición nodular, esferoidal o fundición dúctil.

1.2.2 ANTECEDENTES DEL PROYECTO

Un criterio importante según el cual es posible también clasificar las fundiciones, es la composición y constitución microscópica de éstas. Los constituyentes más importantes de las fundiciones son la ferrita, la cementita, la perlita (formada por ferrita y cementita), el grafito y la steadita.

El grafito es una forma elemental del carbono. Es blando, untoso y de color gris oscuro. Se presenta en estado libre en algunas fundiciones, ejerciendo una influencia muy importante en sus propiedades y características. En las fundiciones grises (fundiciones laminares) se presenta en forma de láminas, en las fundiciones maleables (fundición nodular) se presenta en forma de nódulos y en otras, de forma esferoidal.

La presencia de grafito en gran cantidad en las fundiciones del tipo gris reduce los valores de dureza, además de la resistencia y el módulo de elasticidad comparado con la mismas estructuras pero sin contener grafito como elemento principal. Sin embargo, por composición de tipo laminar, mejora la resistencia al desgaste y a la corrosión además de reducir las contracciones durante la solidificación.

La steadita es un compuesto de naturaleza eutéctica, duro y de bajo punto de fusión (960) que aparece en las fundiciones de alto contenido en fósforo. En la fundición laminar la steadita está compuesta de un grano eutéctico de ferrita y fosfuro de hierro.

La ferrita de la fundición suele contener en disolución elevadas cantidades de Silicio, que mejoran su dureza y resistencia.

La perlita de las fundiciones tiene un bajo contenido de carbono debido a la presencia del Silicio.

La ledeburita es el constituyente eutéctico que se forma en el enfriamiento de las fundiciones, producido en el momento en el se solidifica el material. Está formada por un 52% de cementita y un 48% de austenita saturada. La ledeburita no se encuentra a temperatura ambiente, porque cuando se produce el enfriamiento de la fundición se transforma en cementita y perlita, pero podemos averiguar la localización de la ledeburita por el aspecto eutéctico con que quedan las agrupaciones finales de los granos de cementita y perlita.

Existen varios tipos de fundición que contienen grafito como se ha mencionado con anterioridad pero este trabajo se centra en las de tipo laminar (grises) las cuales se pueden dividir en dos grupos según la forma en la cual se presente el carbono.

El primer grupo, en el cual todo el carbono se presenta en forma de grafito en láminas, denominado fundiciones ferríticas, las cuales están formadas por grafito y ferrita.

Por otro lado, existe otro grupo en el cual parte del Carbono se presenta combinado y parte en forma de grafito en láminas. A este grupo pertenecen las fundiciones perlíticas, fundiciones grises ordinarias, las fundiciones atruchadas y las fundiciones ferríticas.

Las fundiciones grises son en general las más utilizadas en la construcción mecánica. Esto es debido a que cumple los dos requisitos principales para la fabricación de piezas para este tipo de aplicación. Se cuelean bien, se mecanizan con facilidad y no contienen poros.

En la siguiente imagen se puede distinguir el aspecto de una fundición laminar, que es con la que vamos a trabajar durante el transcurso de este estudio.

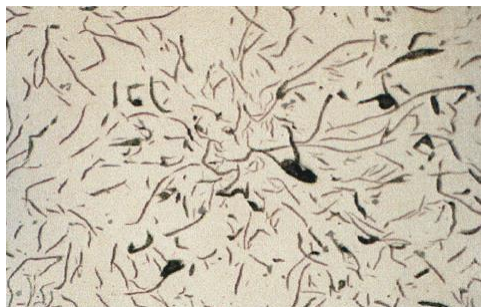


Ilustración 1. Fundición laminar sometida a x200 aumentos

1.3. FUNDAMENTOS DE LA FUNDICIÓN DE GRAFITO LAMINAR

1.3.1 FUNDICIÓN DE GRAFITO LAMINAR

La fundición laminar, o fundición gris se llama así por su aspecto a vista de un microscopio, ya que es de color gris. Como se ha comentado con anterioridad Es aquella en la cual el carbono se encuentra mayoritariamente o en su totalidad en estado libre en forma de grafito laminar.

La fundición gris se diferencia del acero debido que en su estructura hay inclusiones de grafito cuya cantidad, forma, tamaño y distribución varían dentro de unos límites muy amplios y da lugar a diferentes fundiciones grises. Estas fundiciones son un material compuesto de grafito, y de otro material matriz que frecuentemente está compuesto por un intermetálico cerámico (cementita), y otro material (ferrita) que es metálico.

1.3.2 CARACTERÍSTICAS DE LA FUNDICIÓN DE GRAFITO LAMINAR

En cuanto a características de la fundición de grafito laminar podemos destacar su colabilidad. Es mejor en cuanto mayor sea el contenido de carbono por ser pequeño el intervalo de temperaturas entre estado líquido y sólido. Algunas de ellas, las de composición eutéctica, solidifican a temperatura constante.

Además, Las fundiciones grises dan poco rechupe, 1 % de contracción lineal aproximadamente, muy inferior a la de los aceros y otros tipos de fundiciones. La pequeña contracción al solidificarse se debe a que su densidad (menor cuanto más carbono) es inferior a la del resto de materiales similares con los que habitualmente se les compara, como hemos mencionado anteriormente, que son el acero y otros tipos de fundición. La característica radical de las fundiciones grises es que no presentan ledeburita. En su estructura micrográfica se parecía claramente la presencia de grafito. El comportamiento mecánico de una fundición gris resulta parecido al de un acero con numerosas microfisuras taponadas por grafito. La cohesión entre el grafito y la matriz metálica es casi nula. Debido a la gran diferencia entre los coeficientes de dilatación del hierro y del grafito, este se despega fácilmente de la matriz.

Lo descrito en el párrafo anterior explica varias propiedades de éste tipo de fundiciones. Por ejemplo:

- El color gris que presentan las fracturas
- La capacidad para amortiguar vibraciones (mayor cuanto más grafito)
- Su fácil mecanizado
- Moderadas resistencias a tracción
- Bajas resistencias a alargamientos

La presencia de grafito implica la presencia de micro entallas (lo que a vista de microscopio se asemeja a un tipo de poros) las cuales se pueden observar con claridad en fundiciones laminares. Por eso, el alargamiento a la tracción de las fundiciones grises laminares es pequeño.

La tenacidad de las fundiciones grises es mayor que la de las fundiciones blancas, pero por el efecto de entalla debido al grafito laminar, resulta insuficiente. Por eso, cuando se requiere un material tenaz, no debe utilizarse fundición gris laminar.

Puede señalarse, con carácter general, que la resistencia a la tracción disminuye en las fundiciones grises laminares al aumentar el contenido de carbono. El grafito disminuye la sección real del constituyente matriz, el que aguanta el esfuerzo de tracción. Además, el efecto entalla del grafito laminar, disminuye la tenacidad.

Además, Gracias a la buena colabilidad de las fundiciones grises es posible moldear piezas de paredes delgadas y geometrías complicadas, tales como tubos para aletas con radiadores, rodets para bombas, anillos para compresores, etc.

Para una buena colabilidad, se requiere que el intervalo de solidificación sea el menor posible, o lo que es igual, obtener altos valores de carbono equivalente.

1.3.3 TIPOS DE FUNDICION DE GRAFITO LAMINAR

1.3.3.1 Fundición Laminar Perlítica

Su estructura está formada de perlita con inclusiones de grafito (en la figura 1.1a, el grafito se ve en forma de vetas pequeñas). Como se sabe, la perlita contiene un 0,8 % de C, por consiguiente, esta unidad de carbono se halla en la fundición perlítica gris en estado ligado (es decir, en forma de cementita). La cantidad restante se encuentra en estado libre, o sea, en forma de grafito.

1.3.3.2 Fundición Laminar Ferrítica

En esta fundición la matriz es ferrita y todo el carbono que hay en la aleación está en forma de grafito

1.3.3.3 Fundición Laminar Aleada

La estructura de esta fundición está formada por ferrita y perlita e inclusiones de grafito. En esta fundición la cantidad de carbono ligado es menor que el 0,8 % de C

1.3.4 TRATAMIENTOS TÉRMICOS DE LA FUNDICIÓN DE GRAFITO LAMINAR

1.3.4.1 Introducción

El tratamiento térmico de las fundiciones se realiza fundamentalmente para eliminar las tensiones internas que surgen durante el fundido. Estas tensiones conducen con el tiempo, a la variación de las dimensiones y forma de la fundición, disminución de la dureza y mejoramiento de la maquinabilidad por corte y una elevación de las propiedades mecánicas.

En el proceso de tratamiento térmico de la fundición ocurren las mismas transformaciones que en el acero. Sin embargo, éstas se complican por el hecho de que durante el calentamiento de la fundición se puede desarrollar el proceso de grafitización que cambia complementariamente la estructura y, por lo tanto, las propiedades de la fundición.

Entre los tratamientos más usados para una fundición gris son: El recocido y la normalización. Otros tratamientos como el temple y el revenido son usados en ocasiones limitadas.

En términos de tratamiento térmico, las fundiciones grises pueden ser consideradas una composición de grafito libre (laminar) y fierro eutectoide (matriz). La situación puede ser adicionalmente complicada por la variedad de sección, por esta razón es necesario desarrollar experimentalmente los procesos precisos si se desea resultados óptimos.

1.3.4.2 Normalizado

La normalización es el calentamiento de la fundición hasta 850 – 950 °C con un enfriamiento posterior al aire sereno. Se emplea normalización para aumentar la dureza, tenacidad y resistencia al desgaste de la fundición. Esto se logra gracias a la total transformación de la base estructural ferrítica o ferrito-perlítica, en la de perlita de la fundición gris (perlitzación). La fundición ferrítica maleable después de la normalización a 800 – 850 °C se transforma en la fundición perlítica maleable.

1.3.4.3 Recocido

Existen dos procesos de recocido que suelen ser aplicados a las fundiciones grises:

1. De eliminación de tensiones
2. De ablandamiento

En este trabajo se estudiará con detalle el segundo tipo. Los recocidos de ablandamiento de las fundiciones grises se dan a unos 740 °C, y sirven para mejorar la maquinabilidad y ablandar el material. Fundiciones grises en las que, por causa de los elementos de aleación o por la presencia de zonas pequeñas con enfriamiento rápido, no se consigue la matriz ferrita, se recuecen a 850 °C. En nuestro caso en particular, recocemos la pieza a 900 °C para asegurarnos de que se consigue la correcta matriz en toda la muestra para obtener los resultados mas precisos posibles.

Se suelen emplear los siguientes tipos de recocidos:

- 1°. Recocido a 700 – 760 °C, llamado también subcrítico.
- 2°. Recocido a 800 – 900 °C, llamado recocido medio o completo.
- 3°. Recocido a 900 – 925 °C, llamado recocido de grafitización.

En el presente proyecto se lleva a cabo el segundo tipo de recocido con distintas finalidades.

Es usado en situaciones donde, por causa de los elementos de aleación o por la presencia de zonas pequeñas con enfriamiento rápido, obtenidas en el recocido subcrítico, no se consigue la matriz ferrita.

En este proceso la fundición es calentada a temperatura de 800 – 900 °C, llegándose de esta manera por encima de la temperatura de transformación eutectoide. Después de mantenerla por 1 h por cada 25 mm de espesor, la fundición es enfriada lentamente por la región de transformación eutectoide, promoviendo la formación de ferrita. Al calentar de 800 – 900 °C, no hay formación de grafito o esta formación tiene poca importancia, ya que la temperatura de mantenimiento no es apropiada para el depósito de gran cantidad de grafito; calentando a 850 °C por ejemplo, se formará austenita. Durante la permanencia a esta temperatura habrá formación de una pequeña cantidad de grafito y luego, en un enfriamiento sin precauciones muy especiales, al pasar la zona eutectoide, se formará perlita.

Si se calienta a 850 °C se puede obtener la microestructura de grafito y ferrita, con enfriamiento muy lento. Este tratamiento de 800 – 900 °C también es recomendable para fundiciones grises de gran dureza y para fundiciones atruchadas que contienen cementita hipereutectoide. En esos casos la dureza inicial que será francamente alta, 250 a 300 Brinell, se podrá disminuir con este recocido. En este tratamiento se calentará a unos 850°C aproximadamente y luego se cuidará que la velocidad de enfriamiento sea muy lenta, sobre todo en la zona crítica de 700 – 720 °C, para facilitar el depósito del grafito eutectoide y luego se puede enfriar al aire.

En la figura 3.2 se ve como en la zona de 700 –740 °C es en la que hay mayor formación de ferrita y de grafito y es, por lo tanto, la más crítica en esta clase de recocido.

1.3.4.4 Temple y Revenido

La posibilidad de mejorar por temple ciertas propiedades en las fundiciones es debida, como en los aceros, a que estas aleaciones, al ser calentadas a elevadas temperaturas, 750 a 900 °C se transforman, una parte en austenita. Este constituyente al ser enfriado luego, más o menos rápidamente, se convierte en martensita o en otros constituyentes intermedios.

La martensita, o los otros constituyentes intermedios, obtenidos después del temple y los constituyentes que se obtienen después de su revenido, tienen propiedades de gran interés y para numerosas aplicaciones. Dichas propiedades son mucho mejores que las que corresponden a las estructuras de bruto en colada. En general, las leyes que rigen el temple y revenido de las fundiciones son muy parecidas a las de los aceros. En ocasiones se puede endurecer y aumentar la resistencia a la tracción de las fundiciones grises por tratamiento térmico. De esta forma se consigue un gran aumento de dureza y también un aumento, aunque mucho menos sensible, de la resistencia a la tracción y de la Resistencia al desgaste. En forma general se somete a las fundiciones primero a un temple y luego a un revenido. Los resultados que se obtienen dependen siempre, como es natural, de la clase de tratamiento, de la microestructura y de la composición química de la fundición. Las fundiciones con gran cantidad de ferrita y grafito, no son las más recomendables para ser endurecidas por tratamiento térmico. En cambio, con las fundiciones de matriz perlítica se puede conseguir mejoras muy importantes de dureza y de resistencia al desgaste por temple y revenido. Con el temple aumenta la dureza y luego con el revenido disminuye;

esta disminución es tanto más sensible cuanto más elevada sea la temperatura (figura 3.3). En cambio, el efecto del temple sobre la resistencia a la tracción es diferente. En la misma figura 3.3 se observa cómo con el temple disminuye la resistencia y luego, en cambio, con el revenido, aumenta. Se observa que con revenidos a temperaturas inferiores a los 500 °C, aumenta la resistencia a medida que aumenta la temperatura de revenido. En cambio, a partir de ese punto, las fundiciones se comportan igual que los aceros y la resistencia disminuye al aumentar la temperatura de revenido.

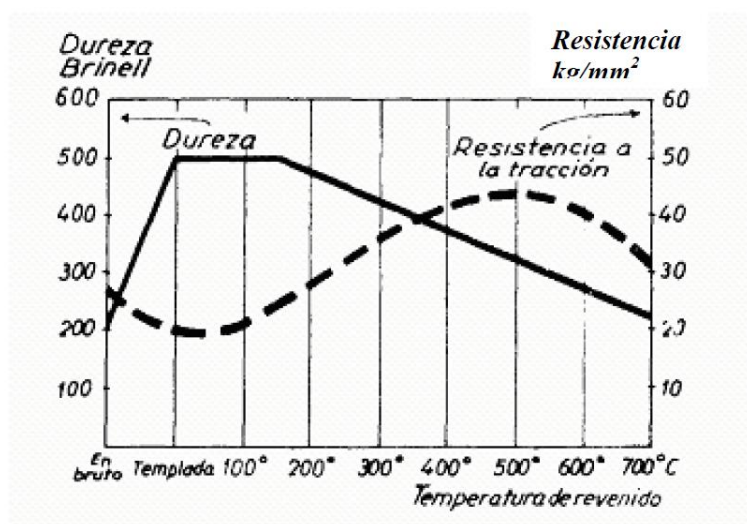


Ilustración 2. Influencia del temple y revenido en la resistencia tracción y dureza para fundiciones grises

En los resultados influye mucho la templabilidad de cada fundición. Ésta depende en gran parte de los elementos de aleación, debiendo considerarse también el espesor de las piezas y el medio de enfriamiento. En general, es más fácil que se produzcan grietas o roturas en el temple de las piezas de fundición que en las del acero, puesto que las fundiciones están constituidas por una materia más débil que la de los aceros, debido principalmente a la existencia de láminas de grafito. Las grietas se producen como consecuencia de las tensiones que se derivan del rápido y desigual enfriamiento que experimentan las distintas partes de las piezas al ser introducidas en el líquido de temple. Suele ser más conveniente enfriar en aceite que en agua, porque en este último caso la velocidad de enfriamiento es muy grande, y son muy importantes las diferencias de temperatura entre diversas zonas de la pieza durante el enfriamiento. Estas diferencias dan lugar a fuertes tensiones que pueden ocasionar deformaciones y roturas.

Pero al templar las fundiciones ordinarias en aceite, se observa que no se alcanzan altas durezas y el temple es imperfecto y por ello es necesario emplear en ocasiones elementos de aleación que mejoren la templabilidad. Los elementos usados con ese fin son el cromo, cobre, níquel y molibdeno.

1.4 CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS Y MICROESTRUCTURALES DE LA FUNDICIÓN LAMINAR ESTUDIADA EN EL PRESENTE PROYECTO

1.4.1 DESCRIPCIÓN DE LA FUNDICIÓN LAMINAR ESTUDIADA EN EL PRESENTE PROYECTO

La fundición de grafito laminar que se utiliza en el presente trabajo, con la que se realizan todas las uniones soldadas y los ensayos mecánicos, ha sido obtenida en bruto de colada y cómo podemos observar en la figura, posee una estructura donde existen inclusiones de grafito en forma de microentallas cuya cantidad, forma, tamaño y distribución varían en muy amplios rangos dando lugar a una amplia variedad de fundiciones grises.

Como se ha mencionado anteriormente, estas fundiciones son un material compuesto de grafito, y de otro material matriz que frecuentemente está compuesto por un Inter metálico cerámico (cementita), y otro material metálico, que en este caso es ferrita.

El grafito que hay presente en la fundición se designa según la norma ISO 945.

1.4.2 METODOLOGÍA DE TRABAJO

Para este trabajo, se ha llevado a cabo un estudio del tipo de fundición a utilizar (fundición gris) y de las uniones soldadas hechas por una metodología TIG con varilla de Inconel utilizado como material de aporte, sometidas a varios tratamientos térmicos.

El estudio se basa en realizar un análisis de la microestructura y de las características mecánicas de 3 diferentes tipos de muestras sometidas a diferentes circunstancias:

1. Fundición de grafito laminar obtenida en bruto de colada soldada, sin ser sometida a ningún tipo de tratamiento térmico
2. Fundición de grafito laminar soldada y sometida a un precalentamiento a 450°C
3. Fundición de grafito laminar soldada y sometida a un recocido a 900°C

Para la realización del proyecto, partimos de 1 bloque de fundición gris de dimensiones 300x100x10 mm. A partir de estos bloques hemos cortado las placas en perfil achaflanado mediante el método que se especificará a posteriori.

En el caso del pre calentado se ha sometido a 2 piezas ya cortadas en perfil achaflanado a un pre calentado a 450°C durante mas o menos 1 hora. Estas dos piezas que iban a ser soldadas a posteriori, se puntearon con arco TIG a ambos extremos de la probeta antes de entrar en el horno para facilitar la extracción de la probeta del horno y poder soldar en caliente.

En el caso el recocido, el tratamiento térmico se aplicó después de finalizar el proceso de unión mediante soldadura TIG.

El proceso de unión mediante soldadura TIG con aporte de varilla de INCONEL se ha realizado para cada muestra en el momento descrito en el párrafo anterior.

Seguidamente hemos obtenido probetas de las placas soldadas y hemos realizado una serie de ensayos para conocer las propiedades mecánicas de las probetas, tales como la microdureza Vickers o la resistencia a rotura mediante el ensayo de tracción. Además, hemos observado al microscopio la estructura mecánica.

Para la observación de la microestructura de las probetas se ha procedido a la preparación metalográfica de las muestras. Para la preparación de una muestra para su posterior observación al microscopio se tuvo que cortar un trozo pequeño de material a observar, que en nuestro caso era el cordón de soldadura con la interfase para cada tipo de muestra, utilizando una tronzadora de disco. Ésta máquina se puede ver en la imagen.



Ilustración 3. Tronzadora de disco

Teniendo en cuenta que se debe obtener una amplia superficie de observación, con un mínimo espesor debemos realizar los cortes de manera precisa y minimizando el recorrido del disco. En nuestro caso la superficie a obtener sería el lado donde podamos observar la interfase de la pieza soldada, de modo que realizaríamos un corte transversal a lo largo de la muestra y a continuación otro en el mismo sentido para obtener un espesor relativamente pequeño comparado con la superficie a atacar.

Una vez ya se tiene cortada la pieza para cada muestra que se quiere observar, en nuestro caso 3, se procede a la embutición de la muestra, la cual se realiza con la embutidora que se muestra en la imagen a continuación. La embutidora dispone de un cilindro hidráulico, cuya presión sobrepasa las 300 atm y de una resistencia calefactora. Para realizar la embutición se aportan polvos de metacrilato que se polimerizarán con la probeta obtenida de cada muestra mediante la consiguiente aportación de calor y presión.



Ilustración 4. Embutidora

Los parámetros de la máquina que definen este proceso son : Fuerza aplicada, tiempo de calentamiento y tiempo de enfriamiento. En nuestro caso se aplica una fuerza de 15 KN, se calienta durante 7 minutos y se enfría durante 7 minutos más. Éstos parámetros se encuentran especificados en un cartel informativo en el laboratorio del departamento de ingeniería de materiales de la UPV, además de una lista de instrucciones con el funcionamiento de la máquina para su correcto uso y obtención de probetas en condiciones óptimas.

Una vez las muestras están embutidas, pasamos al proceso de desbaste y pulido de la superficie a observar. Para realizar el desbaste hemos utilizado una máquina desbastadora que podemos ver en la siguiente figura. Los discos de lija utilizados para el procesado de las 3 probetas han sido los de 200, 500 y 1000 respectivamente en cada caso por separado. Estos números se refieren a la granulometría definida por el fabricante de los discos, los cuales siempre se utilizarán de menor a mayor para obtener un buen resultado.

Cambiaremos de lija cuando podamos apreciar en el microscopio las rayas ocasionadas por la misma lija. Siempre procuraremos no apretar, por el hecho de que si empleamos una fuerza hacia el disco podemos desigualar la superficie de la probeta, creando así unas ondulaciones y resultando más difícil la realización de los ensayos de micro durezas.



Ilustración 5. Lija para discos de diámetro de grano hasta 1000

Después de terminar el desbaste utilizando la lija de 1000 en cada probeta pasamos al pulido, el cual se ha realizado con discos de pasta de diamante de 0,5 micrometros hasta obtener una superficie limpia y sin rayas, similar a un espejo. La pulidora de discos de diamante utilizada es la que se puede ver en la siguiente imagen.



Ilustración 6. Lija para discos de grano 0,5 micras

El microscopio empleado para observar y realizar las fotos a las probetas consta de 4 lentes de diferentes aumentos. Hemos utilizado principalmente las lentes de 100 y 200 aumentos, aunque inicialmente se enfocaba la zona a observar con la lente de 50 aumentos, y a continuación se iba enfocando correctamente bajando a la lente de 200 aumentos pasando

primero por la de 100. El microscopio tiene además una cámara digital acoplada, con la que se van a realizar las fotos de las micrografías de las diferentes probetas a observar.



Ilustración 7. Microscopio digital x200 aumentos

Para poder observar bien la microestructura de muestras embutidas en probetas, primero debemos realizar un ataque químico a la superficie a observar con Nital 3%.

Éste compuesto químico que contiene el 97% de Alcohol y el 3% de Acido Nítrico hace que la superficie a atacar se vuelva de color gris cuando bañamos la probeta en dicho compuesto. En cuanto vemos que sucede esto, debemos de extraer la probeta del baño de Nital y enjuagarla con agua. Después de que se seque, se pasa la probeta por un baño de alcohol y se seca con un secador, teniendo ya lista la probeta para su observación en el microscopio.

En caso de que el ataque químico haya sido excesivo y no podamos observar de forma nítida la microestructura, se deberá proceder de nuevo al pulido de la superficie mediante pasta de diamante de mismo diámetro utilizado anteriormente.

El horno utilizado para pre calentar la muestra punteada en un caso y recocer la muestra en otro, es un horno situado en el laboratorio de soldadura de la UPV dentro de la nave pesada, el cual funciona con corriente trifásica y puede alcanzar una temperatura de hasta 1000 °C



Ilustración 8. Horno industrial

1.4.3 PREPARACIÓN DE LAS PROBETAS

En primer lugar, se preparan las probetas, independientemente del tratamiento térmico al que van a ser sometidas, partiendo del bloque de fundición laminar mencionado anteriormente.

El bloque se ha cortado en la anchura adecuada para obtener 6 piezas diferentes, para poder realizar 6 cordones de soldadura según requerimiento del trabajo. Se han cortado mediante una cortadora de sierra como la que se puede ver a continuación. La sierra se ha colocado en una posición de corte de 45° para así poder obtener el perfil achaflanado deseado.

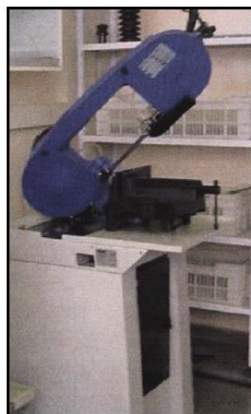


Ilustración 9. Cortadora de sierra en ángulo

Es necesario preparar los bordes para proceder a la unión mediante soldadura TIG para garantizar una correcta penetración del material, además de facilitar la deposición de dicho material durante el aporte. El cordón de soldadura quedará más uniforme debido a la facilidad de aplicación sobre un canto de dichas características.

Las piezas se colocarán de la siguiente manera para ser soldadas, siempre dejando una holgura de unos 2 mm entre ellas facilitando la unión inicial de las muestras mediante la fusión.

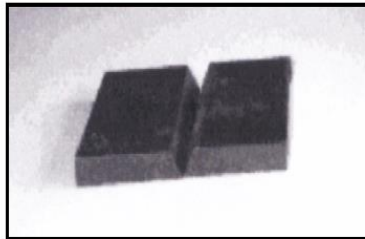


Ilustración 10. Resultado de probetas con chaflán a 45º

Posteriormente, y una vez soldadas las probetas preparadas anteriormente entre ellas, obtenemos 3 muestras distintas a partir de las 6 probetas preparadas, sometidas a diferentes condiciones térmicas.

Partiendo de estas 3 muestras, es necesario para realizar los ensayos de tracción preparar 3 probetas de cada una de las 3 muestras anteriores sujetas a la normativa UNE-EN 895 correspondiente a “Ensayos Destructivos de uniones soldadas en materiales metálicos. Ensayo de tracción transversal”

Se cortarán mediante el uso de una tronzadora de disco, con anchos de dimensiones similares para poder distribuir la acción de la mordaza que actúa en la máquina del ensayo de tracción de forma correcta (en nuestro caso 15mm)

1.4.4 ENSAYO DE TRACCIÓN

Este ensayo se rige por mediante la norma UNE-EN 10002 y tiene como objetivo determinar propiedades de los materiales que son importantes para el diseño, tales como la tensión de rotura, el límite elástico y el módulo de elasticidad.

El ensayo consiste en deformar una probeta hasta rotura, añadiendo carga de tracción que aumenta progresivamente y que es aplicada uniaxialmente a lo largo del eje de la probeta. Este ensayo se realiza con la máquina universal de ensayos, en este caso con la más moderna que existe en el laboratorio de ensayos destructibles de la nave pesada en la UPV.

Dicha máquina es capaz de registrar las fuerzas aplicadas y el alargamiento que sufre la probeta mediante un sistema de coordenadas controladas por ordenador.

La máquina consta de dos cabezales, uno fijo y otro móvil, que llevan incorporados unas mordazas mediante las cuales se amarran las probetas a ensayar. Mientras el cabezal fijo permanece estático, el móvil asciende debido a la acción mecánica de un cilindro hidráulico situado en el interior de la máquina. El pistón de dicho cilindro hidráulico va unido al cabezal móvil de la máquina, ejerciendo así una tracción sobre la probeta sujeta por la mordaza fija.

Para ejecutar un ensayo, debemos seguir las instrucciones que nos da el software de la máquina, el cual describe paso a paso y pide datos precisos a cerca de la probeta que estamos ensayando que debemos de introducir en el sistema. El esfuerzo efectuado y el alargamiento que sufre la probeta son registrados y guardados posteriormente. Pueden ser obtenidos en formato `exe`. (hoja de cálculo) o en el mismo formato del programa, que se tiene que leer en el PC asignado al equipo.

Esta hoja de cálculo que será la que utilizemos en nuestro caso para la obtención de resultados contendrá además de los datos de esfuerzo y alargamiento, nos proporcionará un diagrama de esfuerzos-deformaciones donde podremos determinar la tensión de rotura, el límite elástico, el alargamiento sufrido total y la estricción de la probeta durante el ensayo, aunque en nuestro caso esta última no procede.

1.4.4.1 Determinación de la tensión Elástica

Habitualmente se necesita conocer el nivel de tensiones para el cual una pieza o estructura empieza la deformación plástica, con el fin de saber a qué condiciones extremas son las que este material podría estar sometido.

Una curva de tracción de un metal que muestra deformaciones, elásticas y plásticas y donde se puede identificar el límite elástico es el método utilizado para determinar la tensión máxima para una deformación plástica.

Esta curva se obtiene realizando el ensayo de tracción descrito anteriormente. Al someter a una probeta a tracción aumenta el alargamiento proporcionalmente con la tensión al principio del ensayo. Existe un punto hasta el cual se mantiene la proporcionalidad, donde termina esa recta, que se llama límite de proporcionalidad P .

En la zona recta del diagrama los metales se comportan de una manera casi elástica, es decir, que en esta zona el alargamiento vuelve a cero en caso de cesar la carga aplicada. Este límite hasta el cual solamente tiene lugar un alargamiento de tipo elástico sin llegar a un estado plástico sin retorno a origen, se llama límite elástico, que está pegado al límite de proporcionalidad.

Por lo tanto, podemos describir el límite elástico de un metal como una medida de su resistencia a la deformación plástica. La tensión elástica se determina a partir de la fuerza elástica y de la sección del material, aplicando la siguiente ecuación:

$$\sigma_e = \frac{F_e}{A}$$

donde:

F_e = carga elástica del material

A = sección transversal de la probeta de ensayo

σ_e = tensión elástica del material

La carga F_e , obtenida a partir del gráfico de esfuerzos-deformaciones (en nuestro caso la hoja de cálculo nos lo proporciona automáticamente) es la carga límite a partir de la cual el material deja de ser elástico para pasar a comportarse de manera elástica.

El software de la máquina nos pide al principio del ensayo las medidas $a \times b$ de la probeta, que determinara el valor de A . Para finalizar el mismo software nos dará los resultados de forma automática, como he comentado anteriormente en formato exe.

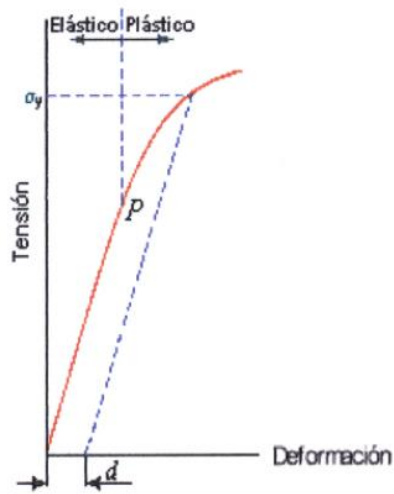


Ilustración 11. Ejemplo de curva de tracción de un metal

1.4.4.2 Determinación de la Tensión de Ruptura

Después de iniciarse la deformación plástica, la tensión necesaria para continuar la deformación de la probeta sigue aumentando hasta un máximo (M). A continuación de llegar a este punto M, empieza a disminuir hasta el punto denominado (F), que es donde se rompe.

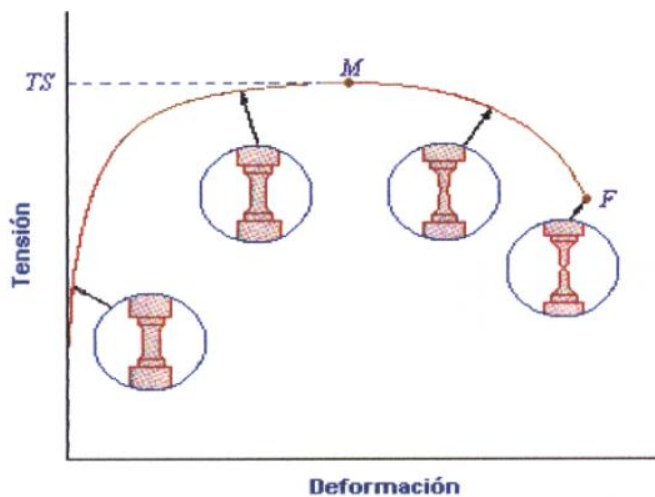


Ilustración 12. Curva típica hasta rotura de un metal

La tensión de rotura o resistencia a la tracción es el máximo del diagrama tensión-deformación (M) y se determina mediante la siguiente ecuación:

$$\sigma_r = \frac{F_r}{A}$$

donde:

F_r = carga o esfuerzo máximo efectuado sobre la probeta

A = sección transversal de la probeta de ensayo

σ_e = tensión de rotura del material

Cuando se ensaya una probeta a tracción siguiendo la normativa, podemos observar que la carga se aplica de manera continua hasta que la probeta rompe, momento en el cual se registran los datos de los resultados.

Hasta el punto M, toda la deformación es uniforme en la región estrecha de la probeta, sin embargo, cuando se alcanza la tensión máxima se empieza a formar una disminución localizada de área de sección (no visible en los ensayos para este proyecto).

Por lo tanto, cómo en este caso en particular no se aprecia ningún estrechamiento en la probeta la resistencia a la rotura, que es la máxima tensión que soporta el material en el momento de rotura será idéntica a la resistencia a tracción por no presentar ninguna caída de carga debida a la reducción de sección.

1.4.4.3 Determinación del alargamiento en %

La ductilidad es una medida del grado de deformación plástica que puede ser soportada hasta la fractura por un material. Un material que puede ser sometido a poca o ninguna deformación plástica es un material frágil.

Esto se traduce en que la curva de tensión-deformación para un material frágil es más corta en recorrido presenta un mayor gradiente. En cambio, la curva para un material dúctil es

más extensa en el eje x (implicando mayor cantidad de deformación antes de rotura) y presenta un gradiente inferior.

La ductilidad se puede expresar en forma de alargamiento porcentual y éste es determinado leyendo directamente el valor que representa el software de la máquina de ensayos.

El software de la máquina determina el alargamiento en % tomando una medida de longitud prefijada por la norma UNE-EN 10002, la cual dice que la expresión para determinar la longitud de las probetas es:

$$l_o = 5,65 \cdot \sqrt{b \cdot e}$$

donde:

l_o = longitud a tomar de referencia

e = espesor de la probeta

b = anchura de la probeta

El alargamiento porcentual a la rotura es el porcentaje de deformación plástica a rotura y se determina aplicando la siguiente formula:

$$\Delta l = \frac{l_o - l_f}{l_o} \cdot 100$$

donde:

l_o = longitud a tomar de referencia

l_f = longitud final de la probeta después del ensayo de tracción

1.4.4.4 Determinación del módulo de Elasticidad

El módulo de elasticidad es el gradiente del tramo inicial o periodo elástico de la curva tensión-deformación.

El módulo de elasticidad, también denominado módulo de Young se puede definir como el factor que relaciona tensiones y deformaciones en el campo elástico.

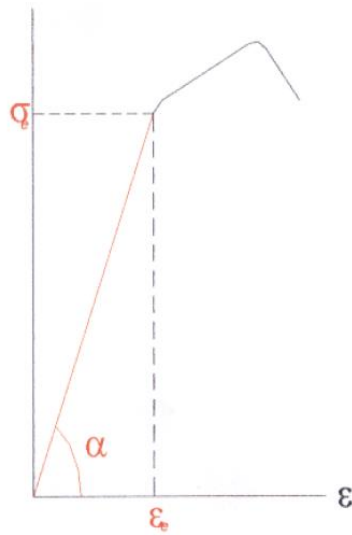


Ilustración 13. diagrama de relación tensión deformación

Para su cálculo se aplican las siguientes expresiones:

$$E = \frac{F_e \cdot l_o}{\Delta l \cdot A}$$

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \text{tg } \alpha$$

donde:

F_e = carga elástica del material

l_o = longitud inicial de la probeta

Δl = incremento de longitud sufrido por la probeta

A = sección de la probeta

E = módulo de elasticidad.

En este trabajo, se utilizarán los resultados obtenidos automáticamente por el software del equipo de tracción. Estas son las fórmulas que, en caso de querer comprobar que son correctos o tener la necesidad de calcularlos para una demostración utilizaríamos partiendo de las lecturas de los datos necesarios.

1.4.5 ENSAYO Y CÁLCULO DE MICRODUREZA

1.4.5.1 DEFINICIÓN DE DUREZA

La dureza de un material es la resistencia que opone el material a su deformación plástica permanente superficial por rayado o penetración. Siempre se cumple que la dureza de un material resulta inversamente proporcional a la huella que queda en su superficie al aplicarle una fuerza.

En este sentido, se puede definir también a la dureza de un material como aquella propiedad de la capa superficial del material de poder resistir toda deformación elástica, plástica o destrucción debido a la acción de esfuerzos de contacto locales originados por otro cuerpo (llamado indentador o penetrador), más duro, de determinada forma y dimensiones, el cual no sufre deformaciones residuales durante el contacto.

Es decir, se entiende por dureza a la propiedad que tienen los materiales en general de resistir la penetración de un indentador sometido bajo carga, de manera que la dureza representa la resistencia del material a la deformación plástica localizada en su superficie.

Esto implica que la dureza, por definición, es una propiedad de la capa superficial del material, y no es una propiedad del material en sí.

Además, los métodos de dureza por indentación, como es nuestro caso (dureza HV), presuponen la presencia de esfuerzos de contacto, y por lo tanto, la dureza puede ser cuantificada dentro de una escala.

1.4.5.2 DEFINICIÓN DEL ENSAYO PARA LA DESIGNACIÓN DE LA DUREZA VICKERS Y PROCEDIMIENTO

El ensayo Vickers viene definido por la norma ASTM E10 y se recomienda especialmente para determinar la dureza de materiales muy duros, con valores de dureza superiores a 500 HB. Para materiales con una dureza inferior, se recomienda emplear el ensayo de dureza Brinell.

En todo caso, el ensayo Vickers se considera una mejora del ensayo de dureza Brinell, en tanto en cuanto permite ensayar materiales con superficies no planas, con espesores más pequeños, además de permitir la medida de todo tipo de dureza.

Por lo tanto, para determinar la dureza de la fundición laminar, que es el material a estudiar en este trabajo necesitaremos recurrir a valores de dureza Vickers, ya que son más acordes y adecuados para determinar su dureza.

En el ensayo Vickers se emplea como elemento indentador una pirámide regular de diamante, de base cuadrada, cuyas caras laterales forman un ángulo de 136° . En la penetración del indentador contra la probeta, éste dejará una impresión cuadrada sobre el material de la probeta, que resulta más fácil de medir (más precisa) en este tipo de ensayo.



Ilustración 14. Geometría del punzón para determinación de durezas Vickers

La maquina que se ha utilizado para este trabajo posee un microscopio de hasta 200 aumentos con 1 varilla horizontal y una vertical que se pueden desplazar a lo largo de la

lente y indican la longitud de las aristas de la marca cuadrada provocado por el elemento indentador.

Las medidas leídas utilizando La rueda del aparato con divisiones de micras se introducen en el mismo aparato, que a continuación nos dará un resultado de dureza automáticamente utilizando el siguiente método, en este caso automatizado.

El valor numérico de la dureza Vickers (HV) se obtiene dividiendo la carga P (kp) aplicada entre la superficie de la huella S (mm^2) dejada sobre la probeta:

$$HV = P / S = 1,854 \cdot P / d^2$$

Siendo:

P la carga aplicada en el ensayo (Kp)

S es la superficie de la huella (mm^2)

d es el valor promedio de la diagonal de la huella impresa en la probeta (mm).

La carga en nuestro caso será de 100Kp y el tiempo de aplicación de 10 segundos.

El ensayo Vickers tiene una serie de ventajas sobre el Brinell, ya que se considera una mejora con respecto a él:

- Se puede emplear con piezas de espesores muy reducidos (hasta 0.2 mm).
- Puede medir dureza superficial, aunque la huella sea poco profunda.
- Se puede utilizar en superficies cilíndricas o esféricas.
- Se puede utilizar indistintamente con materiales muy duros, o con materiales blandos.
- No es necesario sustituir el penetrador al variar la carga (el valor de la dureza es prácticamente independiente del valor de la carga).
- Los ensayos Brinell y Vickers, dan resultados parecidos hasta un valor de 300; a partir de aquí la dureza Vickers es superior a la Brinell, ya que la deformación de la bola falsea los resultados.

1.4.6 RESULTADOS OBTENIDOS EN EL ENSAYO DE

TRACCIÓN Y CÁLCULOS.

Para determinar la resistencia a la rotura, el límite elástico, el alargamiento en % y el módulo elástico de la fundición de Grafito laminar, partimos del diagrama tensiones-deformaciones que obtenemos directamente desde el software de la máquina de ensayos en formato .exe después de realizar el ensayo de tracción. Este ensayo lo hemos realizado sobre 2 probetas en cada caso de tratamiento térmico, siendo mostrados los resultados en gráficas distintas.

En las imágenes y tablas adjuntadas posteriormente, en los apartados 1.7.1.2.1, 1.7.2.2.1 y 1.7.2.2.1 podremos observar los resultados de los diagramas generados por el ensayo de tracción y por consecuencia sus resultados para los parámetros que definen sus propiedades mecánicas obtenidas en cada caso en particular.

Para obtener las propiedades mecánicas de cada probeta, como se ha especificado anteriormente, esta máquina en concreto ofrece los resultados directamente sin necesidad de cálculo a mano y los pone a la disposición del usuario en forma de hoja de cálculo importable a cualquier equipo.

Obtendremos valor para parámetros como F_e (Kp), F_r (Kp), E (Mpa), %I entre otros. Cómo se han ensayado 2 probetas para cada tipo de tratamiento térmico a analizar en este trabajo, se van a mostrar ambos resultados por separado en 2 tablas distintas y por lo tanto 2 gráficas por separado.

Los principales parámetros que van a definir las características mecánicas de la unión de probetas de fundición laminar mediante metodología TIG con material de aporte Inconel serán presentados en forma de tabla para cada caso en particular.

1.5 PROCEDIMIENTOS DE LA SOLDADURA

1.5.1 INTRODUCCIÓN

La soldadura se trata de un proceso en el que se unen perfectamente y de forma irreversible dos piezas metálicas de igual o distintas características, obteniéndose una superficie continua. La unión se puede realizar con o sin aportación de calor y con o sin aplicación de presión.

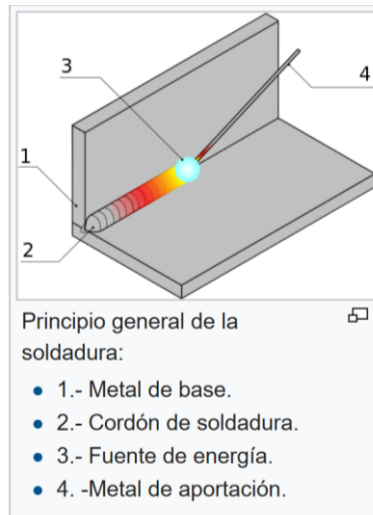


Ilustración 15. Croquis metodología de trabajo TIG

Muchas fuentes de energía diferentes pueden ser usadas para la soldadura, incluyendo una llama de gas, un arco eléctrico, un láser, un rayo de electrones, procesos de fricción o ultrasonido. La energía necesaria para formar la unión entre dos piezas de metal generalmente proviene de un arco eléctrico.

Además de por la fuente de energía que se utiliza en cada caso los tipos de soldadura utilizados en la industria, que en nuestro caso es el uso que se le va a dar al presente trabajo, se dividen en 4 grupos.

- Soldadura por fusión
- Soldadura sin fusión
- Soldadura fuerte
- Soldadura blanda

La soldadura por fusión agrupa una serie de procedimientos en los cuales la unión de los metales se realiza a una temperatura superior a la de cambio de fase a líquido del material base y de el de aportación, presentando una fase líquida inicialmente de ambos materiales como consecuencia de la fusión de ambos materiales.

Cuando la soldadura se realiza para unir piezas de composición similar se denomina soldadura homogénea, mientras que, si se trata de unir piezas de distinta composición, se denomina soldadura heterogénea.

SOLDADURA	POR FUSIÓN	Oxigás	Oxiacetilénica, otros gases, aire-acetileno, oxhídrica
		Arco Eléctrico	Electrodo, TIG, MIG, MAG, plasma, arco sumergido
		Resistencia	Por puntos, costura, chispa, recalado
		Partículas de alta energía	Rayo electrónico, rayo láser
	SIN FUSIÓN		Forja, presión en caliente, presión en frío, fricción, explosión.....
SOLDADURA FUERTE		Con soplete, en horno, por inducción, por inmersión, por fluencia, por resistencia	
SOLDADURA BLANDA			

Ilustración 16. Tipos de Soldadura

Todas las uniones soldadas de las piezas del presente proyecto han sido realizadas mediante la soldadura con fusión por arco eléctrico con metodología TIG.

1.5.2 SOLDADURA POR FUSIÓN CON ARCO ELÉCTRICO Y GAS PROTECTOR (TIG)

1.5.2.1 Descripción de la metodología

El proceso de soldadura por arco bajo la protección de gas con electrodo (no consumible), también llamado TIG (Tungsten Inert Gas), usa un arco eléctrico como fuente de energía que se establece entre el electrodo no consumible y la pieza a soldar con la envoltura protectora del gas inerte. Cuando se usa material de relleno, éste se proporciona mediante el uso de varillas, en este caso de Inconel.

Durante el proceso, la antorcha TIG debe estar conectada al polo negativo (-) y la pinza de masa al polo positivo (+).

El proceso TIG se puede utilizar para la soldadura de todos los materiales, incluidos el aluminio el magnesio y los materiales sensibles a la oxidación como el titanio.

Se trata de un proceso mayoritariamente manual con tasa de deposición menor comparado con otros procesos por lo que es utilizado para aplicaciones donde se precisa un acabado visualmente perfecto.

La posibilidad de soldar un material u otro, dependerá de las características del equipo de que dispongamos. El proceso TIG puede utilizarse tanto con corriente continua (DC) como con corriente alterna (AC). La elección de la clase de corriente y polaridad se hará en función del material a soldar, en nuestro caso con DC, siempre controlando el amperaje, definido por espesor de las muestras a soldar.

El equipo para llevar a cabo dicho proceso de unión consiste en:

- Fuente de energía.
- Máscara.
- Unidad de alta frecuencia.
- Antorcha.
- Suministro gas de protección.

Utilizando el equipo disponible en el laboratorio, de tipo convencional, el cebado del arco será mediante contacto con la pieza a soldar y la apertura del gas será manual. Siempre la distancia a mantener entre el electrodo y la superficie de la muestra es mínima y constante, para evitar la contaminación de la punta del electrodo. En caso de contaminación deberemos retirar la punta contaminada del cabezal de la antorcha y realizar un procedimiento de afilado por método abrasivo, utilizando una lima convencional disponible también en el taller.

El equipo disponible para el soldeo TIG consiste en una fuente de energía o de alimentación, una antorcha TIG equipada con un electrodo de Tungsteno no consumible, una pinza de masa y una botella de gas inerte (mayoritariamente ARGON 100%).

La antorcha Tiene la misión de conducir la corriente y el gas de protección hasta la zona de soldeo. El electrodo de tungsteno que transporta i mantiene la corriente hasta la zona de soldeo se sujeta rígidamente mediante una pinza alojada en el cuerpo porta-electrodos.

El gas de aportación llega hasta la zona de soldeo a través de una tobera de material cerámico, sujeta en la cabeza del porta-electrodos. La tobera tiene la misión de dirigir y distribuir el gas protector sobre la zona de soldeo con tal de facilitar el proceso de fusión.

La pinza de masa tiene una gran importancia en el transcurso de la unión por soldeo. Un cable de masa mal sujeto no proporcionará un contacto eléctrico consistente y la conexión se calentará, pudiendo producirse una interrupción en el circuito y la desaparición del arco.

La zona de contacto de la pinza de masa debe estar totalmente limpia sin sustancias que puedan dificultar su correcto contacto como pinturas, barnices, aceites....

En cuanto al electrodo utilizado en el proceso TIG normalmente son de Tungsteno con Torio. Dependiendo de las intensidades de corriente que vayamos a utilizar se utiliza un diámetro de electrodo, en nuestro caso de 2 mm debido a que trabajamos con intensidades del orden de entre 30 y 120 Amp.

Finalmente, refiriéndonos al ángulo de aplicación que varía con la corriente de soldadura teóricamente. En nuestro caso se ha soldado a un ángulo entre 30 y 90 grados (concretamente 45) siendo la intención de mantener dicho ángulo de inclinación de la antorcha con respecto a la superficie de la muestra algo de gran importancia en el transcurso del proceso.

A continuación, se muestra un esquema de la metodología del sistema de soldadura TIG.

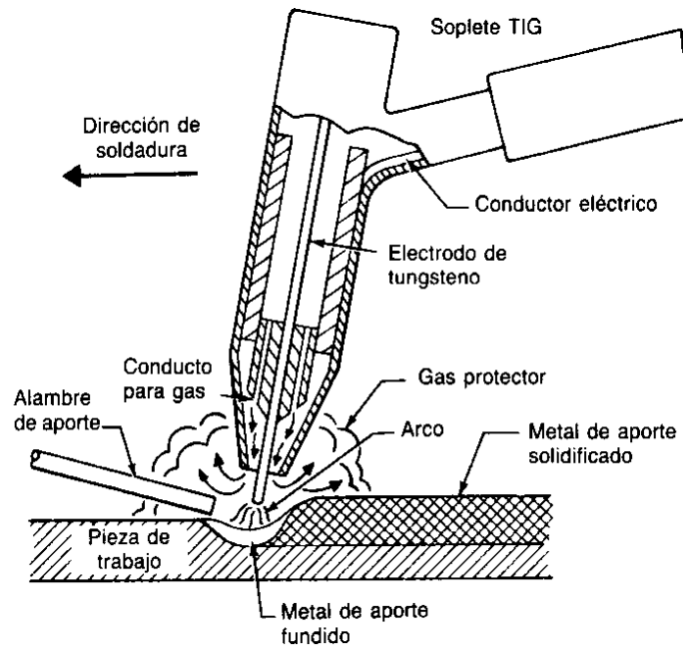


Ilustración 17. Sección de el procesode soldado empleado en este trabajo

1.5.3.2 Ventajas de este tipo de soldeo

La gran ventaja de este método de soldadura es, básicamente, la obtención de cordones más resistentes, más dúctiles y menos sensibles a la corrosión que en el resto de procedimientos, ya que el gas protector impide el contacto entre el oxígeno de la atmósfera y el baño de fusión. Además, dicho gas simplifica notablemente la soldadura de metales ferrosos y no ferrosos, por no requerir el empleo de desoxidantes, con las deformaciones o inclusiones de escoria que pueden implicar. Otra ventaja de la soldadura por arco en atmósfera inerte es la que permite obtener soldaduras limpias y uniformes debido a la escasez de humos y proyecciones; la movilidad del gas que rodea al arco transparente permite al soldador ver claramente lo que está haciendo en todo momento, lo que repercute favorablemente en la calidad de la soldadura. El cordón obtenido es por tanto de un buen acabado superficial, que puede mejorarse con sencillas operaciones de acabado, lo que incide favorablemente en los costes de producción. Además, Una ventaja muy grande del proceso *TIG* es que se puede controlar de manera muy precisa la temperatura y por lo tanto la soldadura puede penetrar aceros de gran espesor y es ideal para soldar juntas biseladas que necesitan de gran precisión porque son juntas que serán sometidas a grandes esfuerzos mecánicos.

Finalmente, como punto a favor cabe destacar que es un proceso que puede ser mecanizado o robotizado con facilidad, eliminando así de manera contundente y radical el fallo humano y los costes de mano de obra, ofreciendo así una máxima calidad y precisión.

Como inconvenientes está la necesidad de proporcionar un flujo continuo de gas, con la subsiguiente instalación de tuberías, bombonas, etc., y el encarecimiento que supone. Además, este método de soldadura requiere una mano de obra muy especializada, en caso de no estar automatizado, lo que también aumenta los costes.

1.6 VARILLA DE APORTACIÓN DE INCONEL

1.6.1 COMPOSICIÓN DE UNA VARILLA DE INCONEL

Inconel 625 es un acero de aleación de níquel resistente a la corrosión y a la oxidación, que es usado por su alta fuerza y muy buena resistencia a la corrosión acuosa. Su gran fuerza y funcionamiento se debe a la adición de niobio, el cuál actúa con el molibdeno para endurecer la matriz de la aleación. La aleación 625 tiene excelente fuerza de fatiga y resistencia a quebraduras de corrosión de esfuerzo de iones de cloruro. Esta aleación de níquel se puede soldar fácilmente y se usa frecuentemente para soldar AL-6XN. Esta aleación resiste un amplio rango de ambientes corrosivos y es especialmente resistente a picaduras y corrosión de rendija.

FICHA TÉCNICA DEL FABRICANTE DE VARILLA DE INCONEL:

Classifications																		
EN ISO 18274	AWS A5.14			Material-No.														
S Ni 6625 (NiCr22Mo9Nb)	ER NiCrMo-3			2.4831														
Characteristics and field of use																		
<p>UTP A 6222 Mo has a high nickel content and is suitable for welding high-strength and high-corrosion resistant nickel-base alloys, e. g.</p> <table border="0"> <tr> <td>X1 NiCrMoCuN25206</td> <td>1.4529</td> <td>UNS N08926</td> </tr> <tr> <td>X1 NiCrMoCuN25205</td> <td>1.4539</td> <td>UNS N08904</td> </tr> <tr> <td>NiCr21Mo</td> <td>2.4858</td> <td>UNS N08825</td> </tr> <tr> <td>NiCr22Mo9Nb</td> <td>2.4856</td> <td>UNS N06625</td> </tr> </table> <p>It can be used for joining ferritic steel to austenitic steel as well as for surfacing on steel. It is also possible to weld 9 % nickel steels using this wire due to its high yield strength. Its wide range of uses is of particular significance in aviation, in chemical industry and in applications involving seawater.</p> <p>The special features of the weld metal of UTP A 6222 Mo include a good creep rupture strength, corrosion resistance, resistance to stress and hot cracking. It is highly resistant and tough even at working temperatures up to 1100° C. It has an extremely good fatigue resistance due to the alloying elements Mo and Nb in the NiCr-matrix. The weld metal is highly resistant to oxidation and is almost immune to stress corrosion cracking. It resists intergranular penetration without having been heat-treated.</p>							X1 NiCrMoCuN25206	1.4529	UNS N08926	X1 NiCrMoCuN25205	1.4539	UNS N08904	NiCr21Mo	2.4858	UNS N08825	NiCr22Mo9Nb	2.4856	UNS N06625
X1 NiCrMoCuN25206	1.4529	UNS N08926																
X1 NiCrMoCuN25205	1.4539	UNS N08904																
NiCr21Mo	2.4858	UNS N08825																
NiCr22Mo9Nb	2.4856	UNS N06625																
Typical analysis in %																		
C	Si	Cr	Mo	Ni	Nb	Fe												
< 0,02	< 0,2	22,0	9,0	balance	3,5	1,0												
Mechanical properties of the weld metal																		
Yield strength $R_{p0,2}$		Tensile strength R_m		Elongation A		Impact strength K_v												
MPa		MPa		%		J [RT] - 196 °C												
> 460		> 740		> 30		> 100 > 85												
Welding instruction																		
<p>The welding area has to be free from impurities (oil, paint, grease). Minimize heat input. The interpass temperature should not exceed 150° C. Heat input < 12 kJ/cm</p>																		
Approvals																		
TÜV (No. 03461), GL, DNV, ABS																		
Rod diameter x length [mm]		Current type			Shielding gas (EN ISO 14175)													
1,6 x 1000		DC (-)			R 1													
2,0 x 1000		DC (-)			R 1													
2,4 x 1000		DC (-)			R 1													
3,2 x 1000*		DC (-)			R 1													
*available on request																		

Ilustración 18. Ficha técnica de varilla de INCONEL según nuestro fabricante

1.6.2 DESCRIPCIÓN Y RAZONAMIENTO DE LA IDONEIDAD DE DICHO MATERIAL DE APORTACIÓN PARA ESTE CASO EN CONCRETO

La aleación de Inconel 625 tiene excelentes características de fabricado y soldado. Puede ser forjada o trabajada en caliente a una temperatura que se mantenga entre un rango de 980° a 1176° C. Idealmente, para controlar el tamaño del grano, las temperaturas para el acabado en caliente deben ser las del límite bajo del rango en que se trabaja. La aleación 625 también se puede trabajar en frío debido a su buena ductilidad. Sin embargo la aleación se endurece rápidamente al trabajarla, así que necesita un tratamiento de recocido para la formación o fabricación de componentes complejos. Para poder restaurar el mejor balance de sus propiedades, todas las partes trabajadas en frío o en caliente deben ser recocidas, como sucede en uno de los casos a tratar en este trabajo. Esta aleación de níquel puede ser soldada con métodos de soldado manual o automáticos, incluyendo arco con gas tungsteno, arco con gas metal, rayo de electrón y soldadura por resistencia. Muestra buenas características de soldado a sujeción.

1.7 SOLDADURA DE FUNDICIÓN LAMINAR CON MÉTODOS UTILIZADOS EN EL PROYECTO

1.7.1 SOLDADURA CON VARILLA DE INCONEL SIN TRATAMIENTO TÉRMICO

1.7.1.1 Descripción del método empleado

Después de mecanizar y tratar las piezas según el contenido de las normas UNE- EN 875, UNE-EN 895 y UNE-EN 910 se procede a realizar la soldadura de las piezas.

Como características técnicas se puede mencionar que la soldadura se ha realizado con corriente directa, mediante el empleo de un equipo TIG descrito con anterioridad y que podemos ver en la siguiente imagen. La intensidad ha sido aproximadamente de 140 Amperios y con polaridad directa.

Conforme se ha descrito en el apartado anterior la pinza de la masa, conectada con el polo positivo, se ha sujetado a la mesa de trabajo, donde se va a llevar a cabo la soldadura, que es de material metálico con el fin de cerrar el arco provocado por el electrodo colocado en la antorcha del equipo, conectado al polo negativo. Esto favorecerá el paso de electrones

y calentará en mayor medida la plancha a soldar. En la siguiente imagen se puede apreciar la manera en la que se dispuso el equipo utilizado.

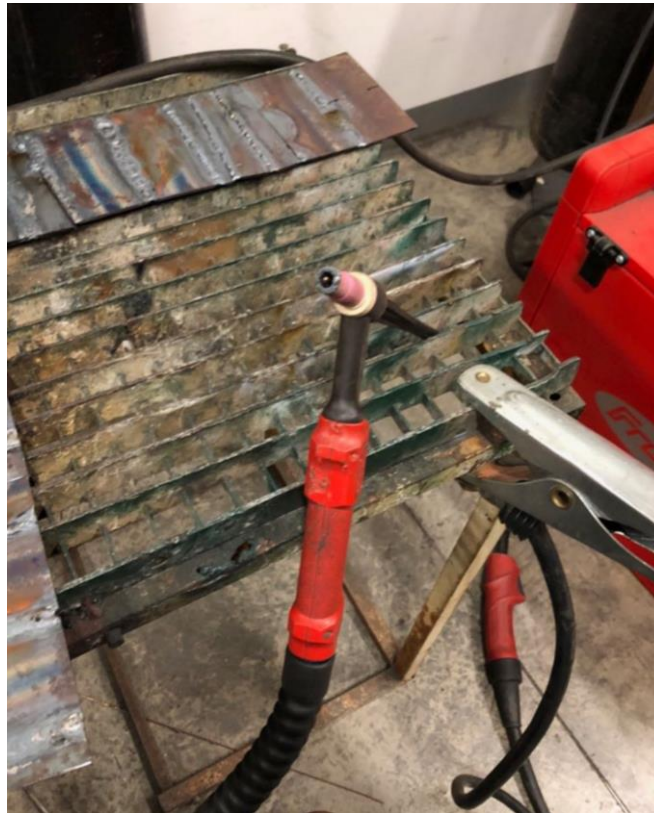


Ilustración 19. Equipo de soldadura empleado en este trabajo

En este caso en particular, no se le ha aplicado ningún tratamiento térmico a la fundición antes de soldarla. La realización de la soldadura ha sido de difícil ejecución y acabado, siendo esto algo habitual entre este tipo de uniones con dicho material. Han surgido diferentes inconvenientes, presentes también en el resto de las soldaduras llevadas a cabo en este trabajo, ya que se ha utilizado la misma metodología y el mismo material base.

Estos inconvenientes que se han presentado han sido:

- Falta de penetración en la soldadura
- Excesiva intensidad de soldeo por el mal funcionamiento ocasional del equipo. Esto se debía al elevado calentamiento del material. Como consecuencia se debía de apagar el equipo durante un tiempo, y volver a encenderlo, comprobado que de nuevo llegaba a ofrecer el máximo amperaje definido por el fabricante, y no uno inferior.
- Falta de fluidez en el desplazamiento del material junto con la antorcha. Debido a la dificultad de la metodología empleada descrita anteriormente, los acabados no

han sido profesionales, dando lugar a la aparición de porosidades y grietas, visibles a posteriori en el proceso de preparación de las probetas para ensayo

Después de haber sido soldadas, las muestras se dejaron enfriar a temperatura ambiente para posteriormente ser tratadas con el objetivo de obtener un espesor constante a lo largo de toda la muestra, eliminando así el exceso de material presente en el cordón de soldadura.

Éste es el aspecto final que presentaba la muestra antes de ser cortada en probetas posteriormente:



Ilustración 20. Cordón de soldadura terminado sin tratamiento térmico

Se pueden apreciar dos cordones de soldadura uniformes, amolados con la radial y la muestra lista para ser cortada con la sierra. Hemos tomado las precauciones necesarias para evitar un calentamiento excesivo del material que pudiese afectar a la microestructura de la muestra.

1.7.1.2 características mecánicas de las uniones soldadas

1.7.1.2.1 Resultados del ensayo de tracción

Cómo se ha mencionado en apartados anteriores en este trabajo, mediante el ensayo de tracción determinamos la resistencia a rotura, el límite elástico y el alargamiento. Este ensayo se realizará con la máquina universal de ensayos, disponible en el laboratorio.

Para determinar las características mecánicas de esta soldadura se han cortado 2 probetas según vimos en el apartado 1.4.3.

En la siguiente imagen podemos ver las probetas ensayadas ya rotas.



Ilustración 21. Probetas de ensayo de tracción para material sin tratamiento térmico

A continuación, se muestran los resultados obtenidos para estas soldaduras en el ensayo de tracción y los diagramas esfuerzos-deformaciones.

RESULTADOS:

Módulo de elasticidad (E)	1750,596	MPa
Límite elástico convencional (Rp)	27,511	MPa
Alargamiento porcentual total de rotura (At)	3,4631	%
Alargamiento porcentual no proporcional a Fm (Ag)	0,6663	%
Alargamiento porcentual total a Fm (Agt)	3,2963	%
Long. base deformación (Le) Lon.	0	mm
Long. base carrera	50	mm

DIAGRAMA:

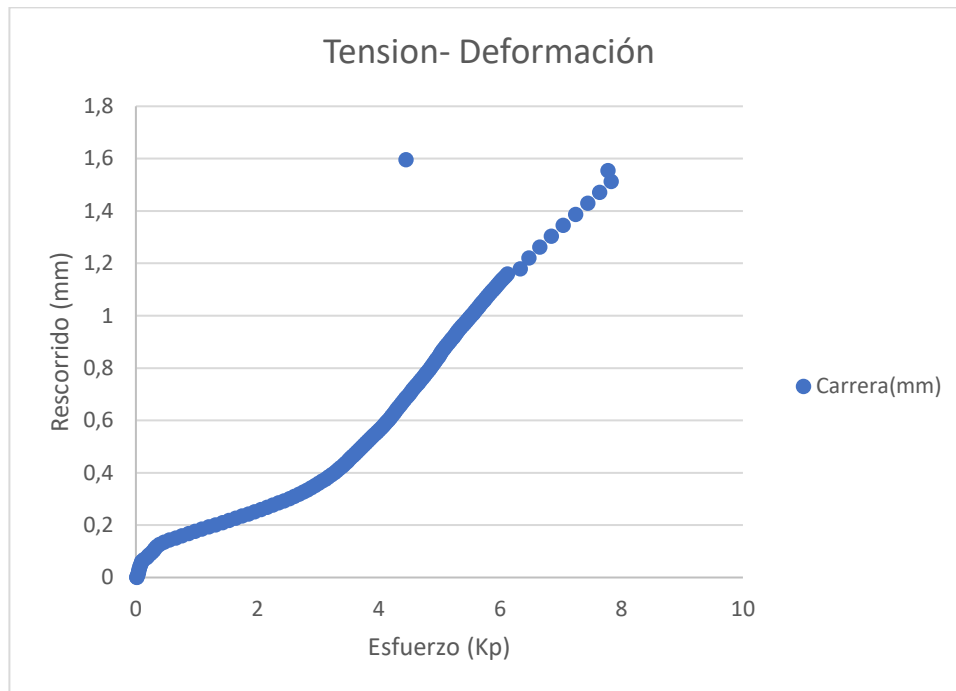


Ilustración 22. Diagrama esfuerzo recorrido para material sin tratamiento térmico

1.7.1.2.2 Evolución de la dureza a lo largo de la unión soldada

Para realizar este estudio se ha realizado el ensayo de Micro dureza Vickers según la norma **UNE-112-029**. Este método se aplica de la forma descrita en el apartado 1.4.5.2 obteniendo, así como resultado final unos valores en la escala HV habiendo introducido en el aparato de medida las longitudes de las superficies laterales de la marca realizada por el punzón sobre la superficie.

La dureza Vickers viene dada por la siguiente formula, Que en nuestro caso, el mismo aparato va a calcular automáticamente:

$$HV = \frac{2 \cdot P \cdot \sin 68^\circ}{d^2} = 1,8544 \cdot \frac{P}{d^2}$$

Dónde d es la media aritmética de las dos diagonales medidas por cada marca del punzón.

Como se ha descrito anteriormente, para obtener las probetas utilizadas para medir microdurezas se cortan muestras de pequeño espesor de la sección transversal de la soldadura, que es la zona en la cual nos va a interesar obtener resultados de durezas.

En este estudio se realiza un análisis de la dureza de las diferentes soldaduras realizadas a la fundición de Grafito laminar estudiada en el presente proyecto. Estas probetas fueron preparadas cuando se prepararon las probetas para los ensayos de tracción, y son las mismas que hemos utilizado para observar su estructura por micrografía.

Para realizar el ensayo se cortan piezas de pequeño espesor, como se especifica anteriormente en este trabajo y se embuten, se desbastan y se pulen siguiendo los métodos descritos para obtener una superficie final libre de rayas. A continuación se atacan con nital 3%, consiguiendo así el acabado espejo que se precisa para poder observarlos de manera correcta bajo el microscopio.

Una vez preparadas las muestras preparadas para cada tipo de soldadura , se procede a realizar las huellas necesarias en las distintas áreas a estudiar, con la maquinaria disponible.



Ilustración 23. Microdurómetro INNOVATEST para realizar durezas en este trabajo

El método de trabajo consiste en marcar varias huellas en cada una de las zonas correspondientes a la soldadura, estas incluyen:

1. Zona de material de aporte
2. Zona interfase metal-soldadura
3. Zona de material base

RESULTADOS:

SIN TRATAMIENTO TÉRMICO		
	Nº LECTURA	VALOR (HV)
INTERFASE	1	434,4
	2	264,6
	3	314,9
	MEDIA	337,966667
	Nº LECTURA	VALOR (HV)
MAT. APORTE	1	314,9
	2	314,9
	3	314,9
	MEDIA	314,9
	Nº LECTURA	VALOR (HV)
FUNDICIÓN	1	281
	2	296,6
	3	250
	MEDIA	275,866667

En la tabla adjunta tenemos los resultados de la dureza Vickers que hemos obtenido para la soldadura de fundición de Grafito laminar por metodología TIG y con varilla de aporte de Inconel sin ser sometida a ningún tratamiento térmico.

1.7.1.3 Microestructuras de las uniones soldadas y análisis de los resultados

El análisis micrográfico de la unión soldada se realiza sobre la probeta que ha sido embutida, y que hemos utilizado para la obtención de los resultados de micro durezas.

Cuando se observa al microscopio se realizan microfotografías en el mismo aparato, que se guardarán en formato JPG y son las adjuntas a continuación. Las microfotografías se realizarán, al igual que los ensayos de micro dureza, en las distintas zonas visibles en la probeta. A continuación, se mostrará una foto de la micrografía del material de aporte, una de la zona de interfase y finalmente una de la zona de material base.

MATERIAL DE APORTE Y INTERFASE

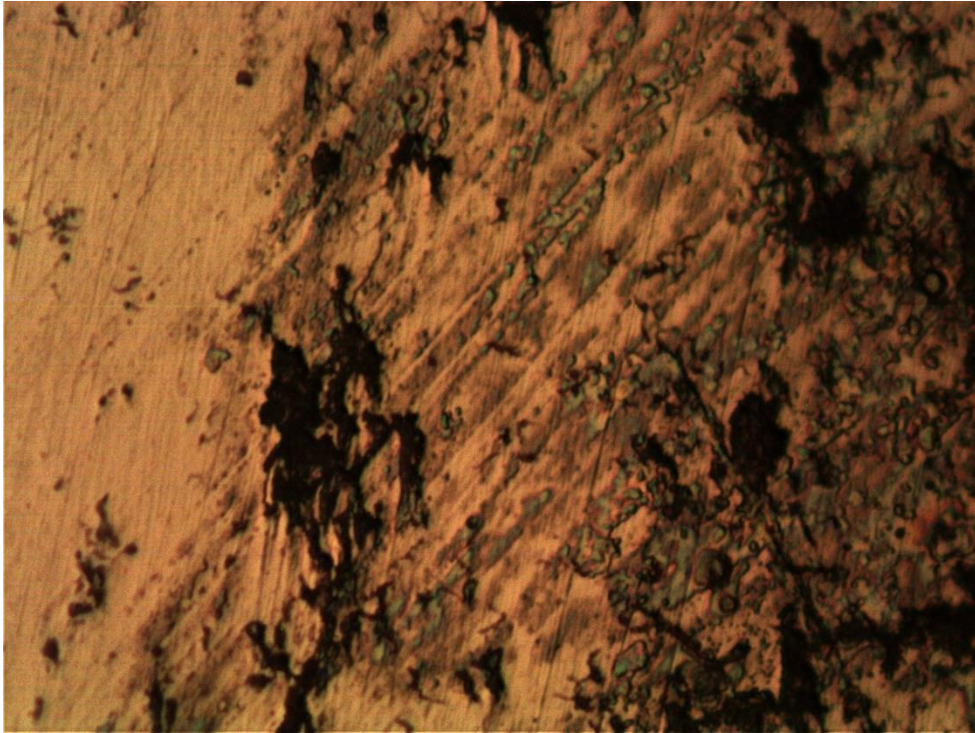


Ilustración 24. Material de aporte y interfase para muestra sin tratamiento térmico

INTERFASE

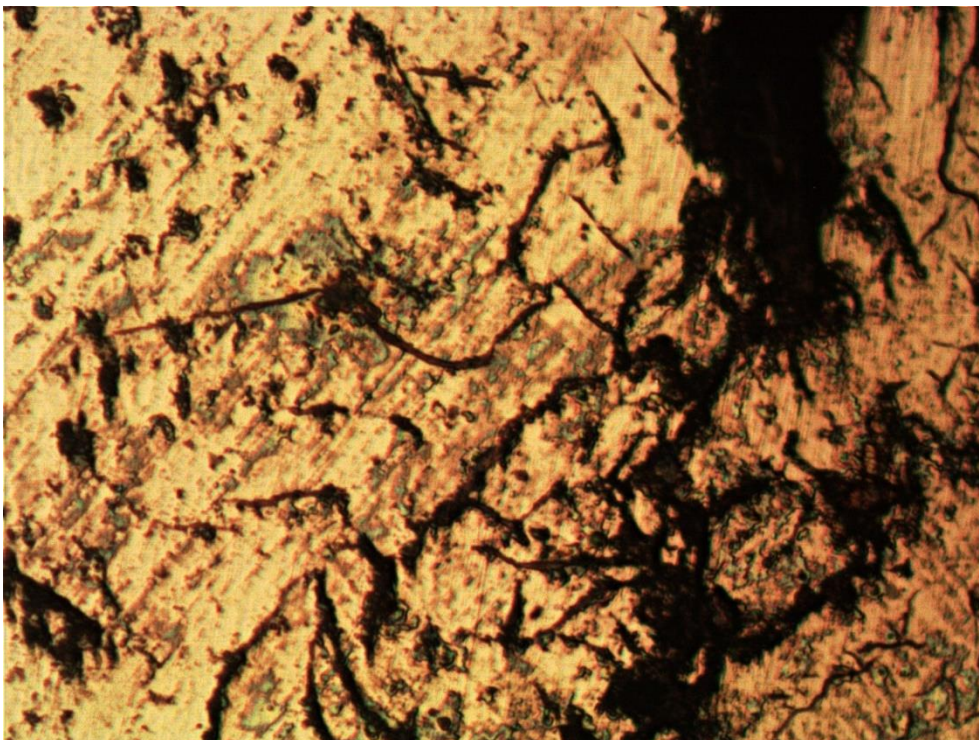


Ilustración 25. Interfase para muestra sin tratamiento térmico

MATERIAL BASE Y INTERFASE

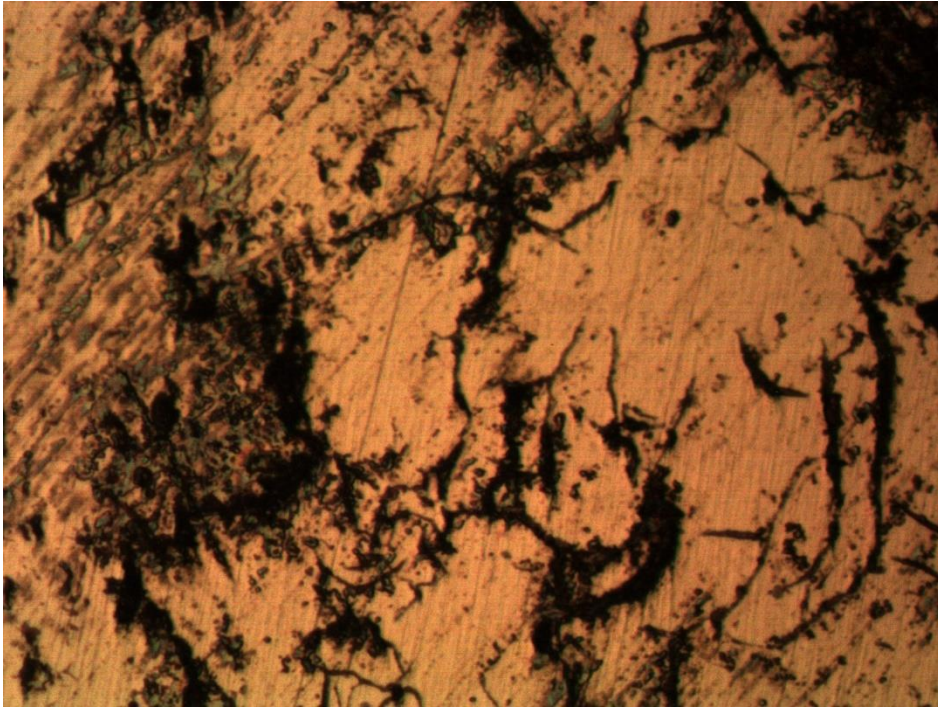


Ilustración 26. Material base y interfase muestra sin tratamiento térmico

Analizando los resultados visibles para este caso en concreto en cuanto al material base podemos seguir viendo la presencia de grafito laminar. Al no se sometida a un tratamiento térmico la parte de la muestra de material de aporte sigue siendo fundición gris sin haberse visto afectada su microestructura. El material base sigue por lo tanto un patrón de matriz ferrítico perlítica.

En cuanto a la interfase de materiales podemos identificar la aparición de grafito nodular, dando pie a una fundición blanca con una dureza más elevada a la de la fundición laminar debido a la presencia de cementita columnar con matriz perlítica.

1.7.2 SOLDADURA CON VARILLA DE INCONEL CON PRECALENTAMIENTO PREVIO A 450°

1.7.2.1 Descripción del método empleado

En este caso se va a seguir exactamente la misma metodología de trabajo pero se ha decidido aplicar previamente a la soldadura un tratamiento térmico, que es un precalentado a 450 °. Las razones por las cuales se ha decidido someter a esta muestra a este tipo de tratamiento térmico están especificadas con anterioridad en este trabajo.

Una vez las dos planchas de fundición laminar con su correspondiente mecanizado para realizar un chaflán están punteadas a los laterales, la muestra se introduce en un horno que está a unos 550 °. Una vez abierta la puerta introducimos la muestra con pinzas y dejamos que la temperatura se estabilice. La muestra permanecerá en el interior del horno durante mas o menos 1 hora, para que la temperatura alcanzada por la pieza de fundición sea homogénea. LA razón por la cual ponemos el horno 100 grados por encima de la temperatura a la cual queremos mantener la muestra es por que cuando sacamos la pieza del horno se produce un choque térmico y las piezas se enfrían rápidamente, siendo la temperatura de las piezas cuando se sacan del horno de 450 °.

Una vez la muestra es extraída del horno debemos colocarla sobre la superficie de la mesa de trabajo y fijarla en los laterales con 2 gatos mecánicos. Esto es para que la pieza al enfriarse a temperatura ambiente no sufra un esfuerzo de contracción y provoque grietas o roturas.

Durante el proceso de soldeo, que deberá realizarse con la mayor agilidad y rapidez posible tenemos que procurar que la temperatura sea de unos 450 °.

Al aplicar este tratamiento térmico la intensidad aplicada ha sido menor, debido a la menor necesidad de incremento de temperatura para llegar al punto de fusión de los materiales. Cuando la pieza está totalmente soldada se deja enfriar al aire, con lo cual se espera la formación de martensita debido al rápido enfriamiento.

Éste es el aspecto final que presentaba la muestra antes de ser cortada en probetas posteriormente



Ilustración 27. Cordón de soldadura terminado con precocido

1.7.2.2 características mecánicas de las uniones soldadas

1.7.2.2.1 Resultados del ensayo de tracción

Cómo se ha mencionado en apartados anteriores en este trabajo, mediante el ensayo de tracción determinamos la resistencia a rotura, el límite elástico y el alargamiento. Este ensayo se realizará con la máquina universal de ensayos, disponible en el laboratorio.

Para determinar las características mecánicas de esta soldadura se han cortado 2 probetas según vimos en el apartado 1.4.3.

En la siguiente imagen podemos ver las probetas ensayadas ya rotas.



Ilustración 28. Probetas de ensayo de tracción para material con precalentamiento

A continuación, tenemos los resultados obtenidos para estas soldaduras en el ensayo de tracción y los diagramas esfuerzos-deformaciones.

RESULTADOS:

Módulo de elasticidad (E)	1186,401	MPa
Límite elástico convencional (Rp)	0	MPa
Alargamiento porcentual total de rotura (At)	7,4418	%
Alargamiento porcentual no proporcional a Fm (Ag)	-1,161	%
Alargamiento porcentual total a Fm (Agt)	7,4418	%
Long. base deformación (Le) Lon.	0	mm
Long. base carrera	50	mm

DIAGRAMA:

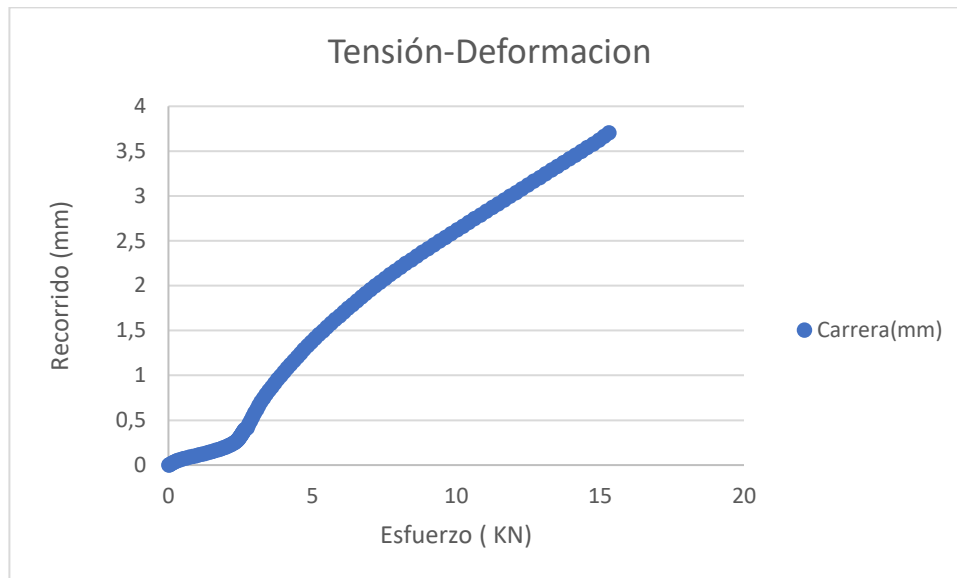


Ilustración 29. Diagrama esfuerzo recorrido material con precalentamiento

1.7.2.2.2 Evolución de la dureza a lo largo de la unión soldada

El ensayo se ha realizado como se ha indicado en los casos anteriores, tomando huellas en la zona de material de aporte, en la interfase y en el material base.

A continuación, se presentan los resultados de la dureza Vickers que hemos obtenido para la soldadura de fundición laminar por metodología TIG y con varilla de Inconel sometida a un precalentamiento previo a 450°.

RESULTADOS:

PRECOCIDO 450º		
	Nº LECTURA	VALOR (HV)
INTERFASE	1	343,5
	2	334,9
	3	334,9
	Nº LECTURA	VALOR (HV)
MAT. APORTE	1	319,9
	2	322,7
	3	361,5
	Nº LECTURA	VALOR (HV)
FUNDICIÓN	1	204
	2	227
	3	204

1.7.2.3 Microestructuras de las uniones soldadas y análisis de los resultados

Cómo en el caso anterior, el análisis micrográfico de la unión soldada se realiza sobre la probeta que ha sido embutida, y que hemos utilizado para la obtención de los resultados de micro durezas.

Cuando se observa al microscopio se realizan microfotografías en el mismo aparato, que se guardarán en formato JPG y son las adjuntas a continuación. Las microfotografías se realizarán, al igual que los ensayos de micro dureza, en las distintas zonas visibles en la probeta.

A continuación, se muestra una foto de la micrografía del material de aporte, una de la zona de interfase y finalmente una de la zona de material base.

MATERIAL DE APORTE Y INTERFASE:



Ilustración 30. Material de aporte e interfase muestra con precalentamiento

INTERFASE:

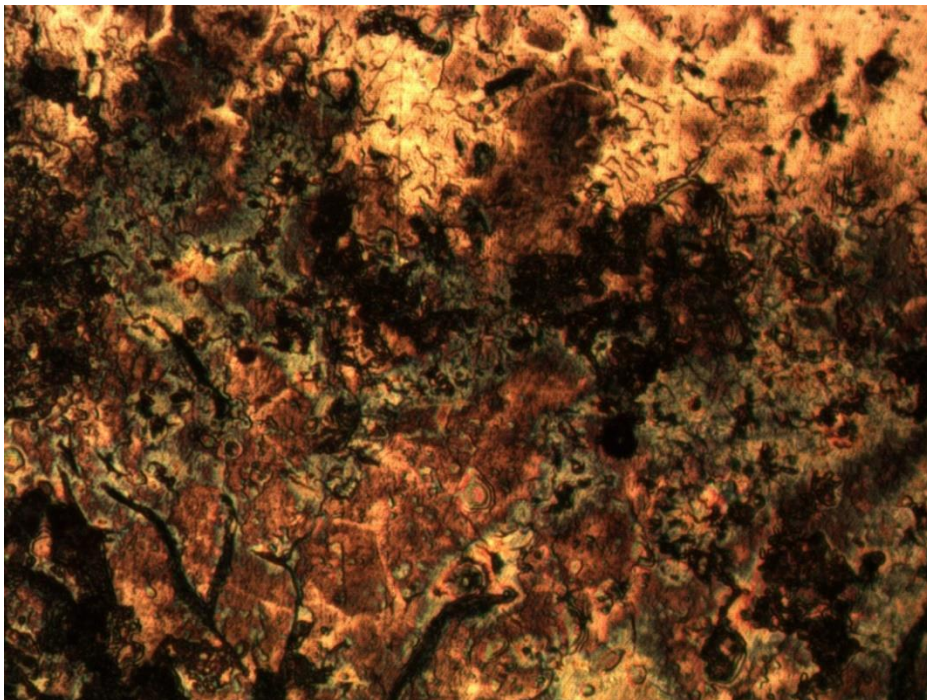


Ilustración 31. Interfase muestra con precalentamiento

MATERIAL BASE Y INTERFASE:

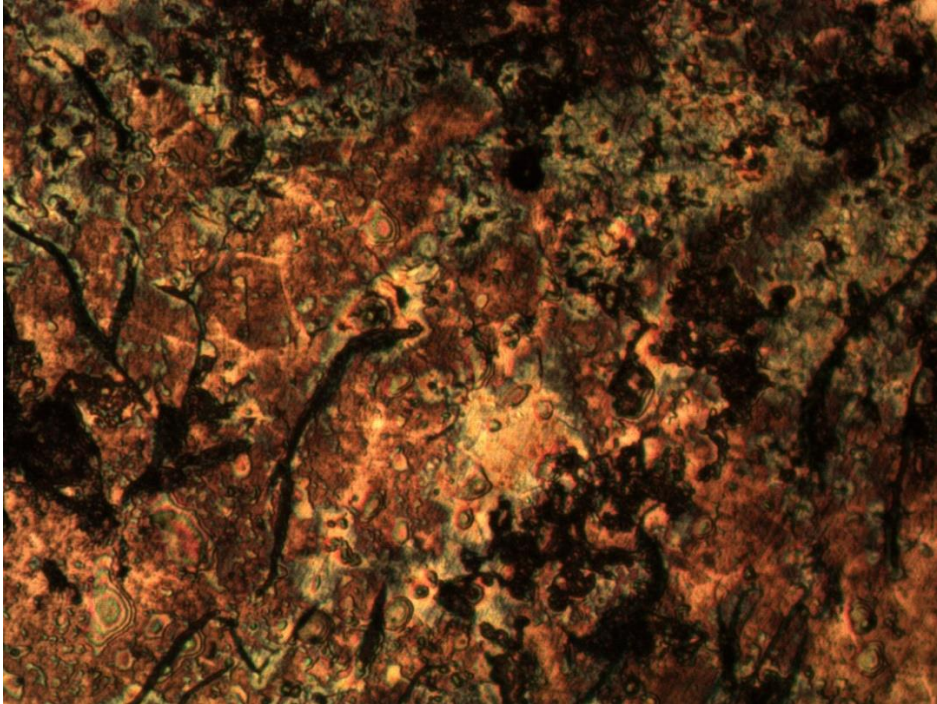


Ilustración 32. Material base e interfase muestra con precalentamiento

Analizando los resultados de micrografías para este resultado en concreto podemos identificar una estructura similar a la anterior en cuanto al material base. Sigue habiendo presencia de grafito laminar manteniendo, así como material base la fundición gris. En cuanto a la interfase el grano de grafito laminar aparece en forma nodular de la misma manera que en la anterior muestra, pero en este caso de manera mucho más compacta y uniforme.

A lo largo del cordón de soldadura se puede ver también la aparición de ledeburita junto con precipitados de cementita.

1.7.3 SOLDADURA CON VARILLA DE INCONEL CON RECOCIDO A 900°

1.7.3.1 Descripción del método empleado

En este caso se va a seguir exactamente la misma metodología de trabajo pero se ha decidido aplicar de manera posterior a la soldadura un tratamiento térmico, que es un recocido a 900 °. Las razones por las cuales se ha decidido someter a esta muestra a este tipo de tratamiento térmico están especificadas con anterioridad en este trabajo.

Después de mecanizar y tratar las piezas según el contenido de las normas UNE- EN 875, UNE-EN 895 y UNE-EN 910 se procede a realizar la soldadura de las piezas.

La unión de las muestras se va a realizar mediante metodología TIG teniendo en cuenta todos los puntos mencionados en el apartado 1.7.1.1 , con la única diferencia que en este caso, después de completar el proceso de soldado correctamente, en vez de dejar enfriar las muestras al aire, se ha sometido la muestra a un recocido de al menos 1 hora en un horno industrial a 900°C.

Después del transcurso de este tiempo, se apaga el horno y se deja enfriar la muestra lentamente dentro del mismo, sin abrir la puerta.

Éste es el aspecto final que presentaba la muestra antes de ser cortada en probetas posteriormente



Ilustración 33. Cordón de soldadura terminado para muestra sometida a un recocido

1.7.3.2 características mecánicas de las uniones soldadas

1.7.3.2.1 Resultados del ensayo de tracción

Cómo se ha mencionado en apartados anteriores en este trabajo, mediante el ensayo de tracción determinamos la resistencia a rotura, el límite elástico y el alargamiento. Este ensayo se realizará con la máquina universal de ensayos, disponible en el laboratorio.

Para determinar las características mecánicas de esta soldadura se han cortado 2 probetas según vimos en el apartado 1.4.3.

En la siguiente imagen podemos ver las probetas ensayadas ya rotas.



Ilustración 34. Probetas de ensayo de tracción para material sometido a un recocido

A continuación, tenemos los resultados obtenidos para estas soldaduras en el ensayo de tracción y los diagramas esfuerzos-deformaciones.

RESULTADOS

Módulo de elasticidad (E)	1417,219	MPa
Límite elástico convencional (Rp)	14,381	MPa
Alargamiento porcentual total de rotura (At)	6,4277	%
Alargamiento porcentual no proporcional a Fm (Ag)	-0,9192	%
Alargamiento porcentual total a Fm (Agt)	6,4277	%
Long. base deformación (Le) Lon.	0	mm
Long. base carrera	50	mm

DIAGRAMA

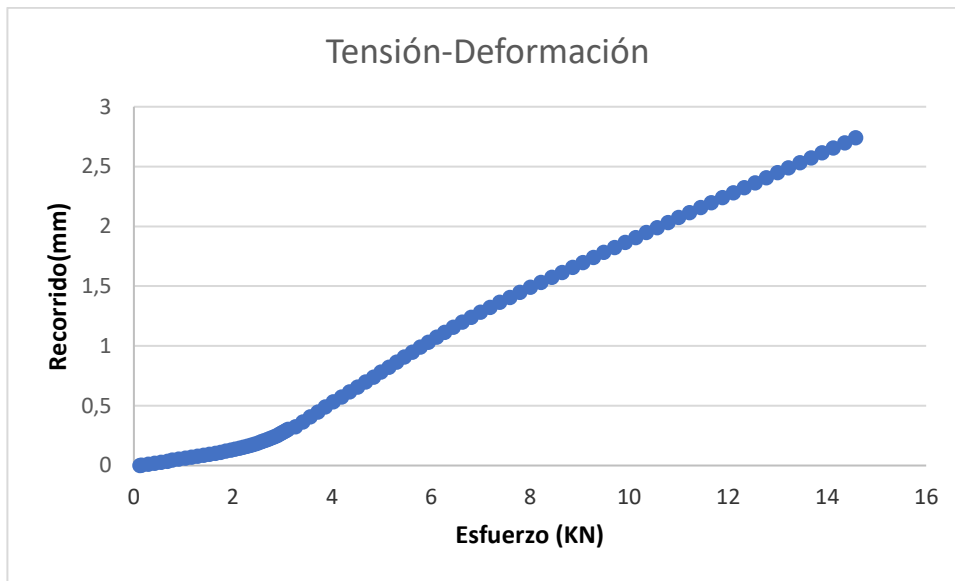


Ilustración 35. Diagrama Esfuerzo recorrido para muestra sometida a un recocido

1.7.3.2.2 Evolución de la dureza a lo largo de la unión soldada

El ensayo se ha realizado como se ha indicado en los casos anteriores, tomando huellas en la zona de material de aporte, en la interfase y en el material base.

A continuación, se presentan los resultados de la dureza Vickers que hemos obtenido para la soldadura de fundición laminar por metodología TIG y con varilla de Inconel sometida a un Recocido a 900°C.

RESULTADOS:

RECOCIDO 900°		
	Nº LECTURA	VALOR (HV)
INTERFASE	1	194
	2	194
	3	194
	Nº LECTURA	VALOR (HV)
MAT. APORTE	1	307
	2	279,9
	3	314,9
	Nº LECTURA	VALOR (HV)
FUNDICIÓN	1	177,2
	2	162,1
	3	148,8

1.7.3.3 Microestructuras de las uniones soldadas y análisis de los resultados

Cómo en el caso anterior, el análisis micrográfico de la unión soldada se realiza sobre la probeta que ha sido embutida, y que hemos utilizado para la obtención de los resultados de micro durezas.

Cuando se observa al microscopio se realizan microfotografías en el mismo aparato, que se guardarán en formato JPG y son las adjuntas a continuación. Las microfotografías se realizarán, al igual que los ensayos de micro dureza, en las distintas zonas visibles en la probeta.

A continuación, se muestra una foto de la micrografía del material de aporte, una de la zona de interfase y finalmente una de la zona de material base.

MATERIAL DE APORTE Y INTERFASE:

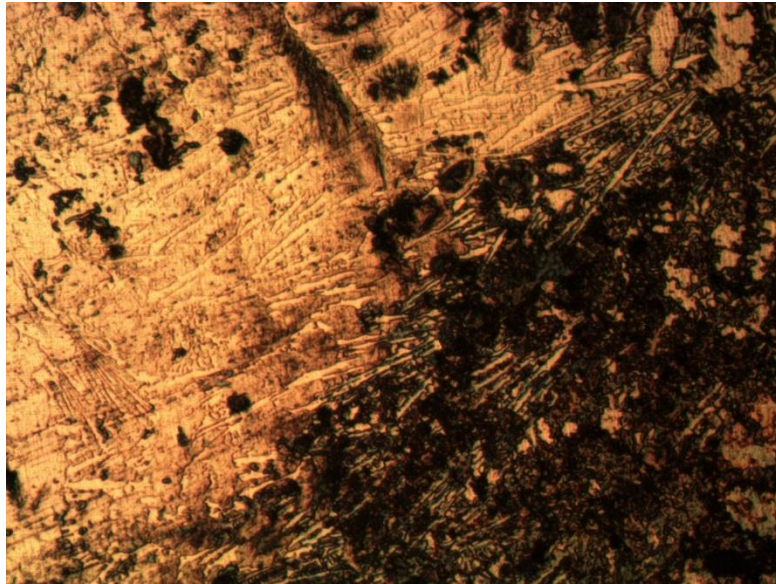


Ilustración 36. Material de aporte e interfase muestra sometida a un recocido

INTERFASE:

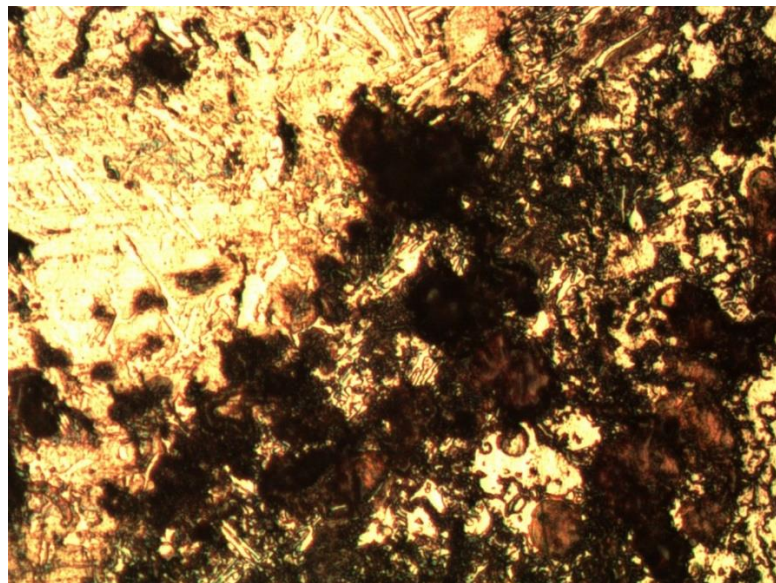


Ilustración 37. Interfase muestra sometida a un recocido

MATERIAL BASE Y INTERFASE:

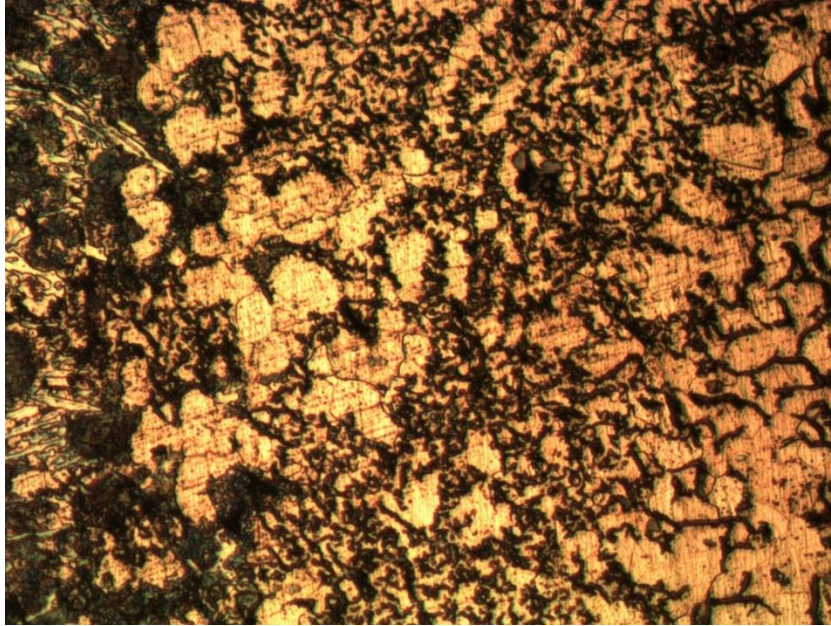


Ilustración 38. Material base e interfase para muestra sometida a un recocido

Analizando los resultados de las micrografías para este caso en particular en cuanto a referencia al material base seguimos viendo que es una fundición laminar, hasta que no se acerca a la interfase se mantiene como fundición gris. Una vez entramos en la interfase de materiales podemos identificar la presencia de grafito nodular más uniformemente repartido debido a el tratamiento térmico que se ha sometido a la muestra después de ser soldada utilizando un material de aporte con alto contenido de Nickel.

A lo largo de la interfase de materiales en el cordón de soldadura existe la presencia de cementita circular con matriz perlítica, lo que provocará unos resultados de dureza inferior a la muestra que no ha sido sometida a tratamiento térmico, como podremos verificar con nuestros resultados.

Finalmente, cabe destacar la presencia de ferrita a lo largo del cordón de soldadura, concretamente en los extremos.

CAPÍTULO II: PLIEGO DE CONDICIONES

2.1 FENÓMENOS PRODUCIDOS POR EL ENCENDIDO DEL ARCO

La fuente de energía empleada para el soldeo TIG debe presentar una característica descendente (de intensidad constante), para que la corriente de soldeo se vea poco afectada por las variaciones de longitud del arco.

Además, la fuente de energía debe tener un rango de variación continua de intensidad y una intensidad mínima baja (5-8 A). Lo último es importante para la función “disminución progresiva de intensidad o control de pendiente”. Además, la fuente de energía debe ser capaz de suministrar una intensidad tan alta como sea requerida por los espesores y el material que se va a soldar. Se da a continuación una indicación de las intensidades requeridas por milímetro de espesor de chapa para diferentes materiales.

En cuanto a tipos de fuente de energía para soldeo con corriente continua existen varios:

- Equipos ordinarios para trabajar con electrodos revestidos en corriente continua, equipados con porta electrodos TIG. Esta es la solución más simple, pero tiene sus limitaciones, especialmente al comenzar y terminar la soldadura.
- El mismo que el anterior pero equipado con un control de gas y otras funciones necesarias.
- Rectificador especialmente preparado para el soldeo TIG. La máquina posee una unidad de control de gas, una unidad de alta frecuencia y otras funciones necesarias.

COMPONENTES:

1. Transformador.

Función: Convierte la corriente de a red en corriente adecuada para el soldeo disminuyendo la tensión de la red e incrementando la intensidad.

2. Rectificador.

Función: Convertir la corriente alterna en corriente continua.

3. Ventilador.

Función: Enfriar el transformador y rectificador para evitar la destrucción por sobrecalentamiento

4. Controlador del agua de refrigeración.

Función: Control de la presión del agua de refrigeración.

5. Válvula magnética del gas de soldeo.

Función: Apertura y cierre del gas de protección mediante medios electromagnéticos.

6. Módulo de control.

Funciones: Encendido y apagado de la corriente de soldeo. Regulación de la corriente de soldeo. Control del gas de protección con tiempo ajustable de pre y post flujo.

2.2 DEFECTOS PRODUCIDOS EN EL CORDÓN POR LA LONGITUD DEL ARCO

1. Mordeduras:

Pueden ser causadas por cosas como trabajar con intensidad de soldeo demasiado elevada, trabajar con un ángulo de desplazamiento excesivamente pequeño (posicionando el electrodo perpendicular a la pieza o alejar demasiado el portaelectrodo provocando así un exceso de longitud del arco de trabajo

Se pueden evitar este fenómeno seleccionando la intensidad adecuada para el espesor de la chapa y tipo de electrodo. También se puede inclinar el electrodo hasta unos 10 grados , siempre sin tocar la muestra con el electrodo.

2. Inclusiones de escoria:

Pueden ser causadas por el uso de una intensidad muy baja o trabajar con una velocidad de desplazamiento demasiado elevada.

Se puede evitar este fenómeno extremando la limpieza y reduciendo la velocidad de desplazamiento.

3. Porosidad:

Pueden ser causadas por la presencia de suciedad en el metal base o soldar utilizando un arco demasiado largo.

Puede ser remediado eliminando cualquier resto de grasa o óxido en el material base antes del soldeo y utilizando una longitud de arco adecuada y mantenerla constante durante el soldeo.

4. Grietas en el cráter:

Pueden ser causadas por una interrupción del arco de forma brusca, especialmente cuando se suelda con altas intensidades, como es nuestro caso.

Se puede evitar utilizando una técnica de interrupción del arco adecuada.

5. Falta de fusión en los bordes:

Pueden ser causados por una orientación inadecuada del electrodo o el uso de una intensidad de soldeo insuficiente o velocidad excesiva.

Se pueden evitar orientando el electrodo correctamente o eligiendo los parámetros de soldeo de una manera correcta.

<https://es.slideshare.net/manuelquiroz5076/18-defectos-tpicos-en-la-soldadura>

2.3 PREPARACIÓN DE LOS BORDES PARA LA SOLDADURA

La preparación de bordes para soldeo TIG podemos decir que es la misma que en arco manual, pero teniendo en cuenta que en las uniones en esquina y a tope no deben dejarse separaciones, en lo posible, para que no haya escape de gas y pérdidas de protección.

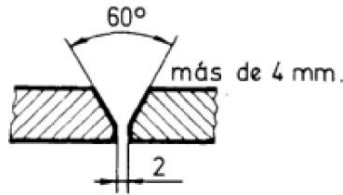


Ilustración 39. Croquis del diseño del chaflán para las probetas

2.4 INTENSIDAD DE CORRIENTE

En la siguiente tabla se indican las intensidades admisibles en función del tipo de corriente y del diámetro del electrodo.

Si la intensidad de corriente es baja para el diámetro del electrodo, el arco es errático e inestable. Si, por el contrario, la intensidad de corriente es demasiado elevada, se produce un calentamiento excesivo con fusión del electrodo y pueden caer gotas de wolframio en la soldadura. El arco se vuelve inestable.

Diámetro del electrodo (mm)	Corriente continua (A)				Corriente alterna (A)	
	Electrodo negativo (-)		Electrodo positivo (+)		Volframio puro	Volframio con óxidos
	Volframio puro	Volframio con óxidos	Volframio puro	Volframio con óxidos		
1,6	40 a 130	60 a 150	10 a 20	10 a 20	45 a 90	60 a 125
2	75 a 180	100 a 200	15 a 25	15 a 25	65 a 125	85 a 160
2,5	130 a 230	170 a 250	17 a 30	17 a 30	80 a 140	120 a 210
3,2	160 a 310	225 a 330	20 a 35	20 a 35	150 a 190	150 a 250

Ilustración 40. Tabla regulación de corrientes para soldadores TIG según tipo de electrodo

2.5 EQUIPO DE SOLDADURA

El equipo de soldadura que se ha empleado en el presente proyecto es el siguiente:



Ilustración 41. Equipo de Soldadura TIG

A continuación presentamos los enseres necesarios que hacen posible el proceso de soldeo y que deben ser utilizados de forma correcta para su buen funcionamiento.

1. Portaelectrodo:

Tienen la misión de conducir la corriente y el gas de protección hasta la zona de soldeo. Pueden ser de refrigeración natural (por aire) o de refrigeración forzada (mediante circulación de agua, como se observa en la fig.8). Los primeros se emplean en el soldeo de espesores finos, que no requieren grandes intensidades, y los de refrigeración forzada se recomiendan para trabajos que exijan intensidades superiores a los 150-200 amperios. En estos casos la circulación del agua por el interior del porta electrodos evita el sobrecalentamiento del mismo. A partir de 300 amperios en régimen discontinuo es necesario que también la boquilla esté refrigerada por agua.

El electrodo de wolframio que transporta la corriente hasta la zona de soldeo se sujeta rígidamente mediante una pinza alojada en el cuerpo del porta electrodos. Cada porta electrodos dispone de un juego de pinzas, de distintos tamaños, que permiten la sujeción de electrodos de diferentes diámetros.

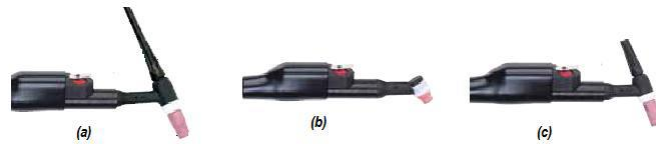


Ilustración 42. Configuraciones del porta electrodos TIG

Configuraciones del porta electrodos TIG (a) Normal; (b) Recta; (c) Corta

El gas de protección llega hasta la zona de soldeo a través de una tobera de material cerámico, sujeta en la cabeza del porta electrodos. **La tobera** tiene la misión de dirigir y distribuir el gas protector sobre la zona de soldeo. A fin de acomodarse a distintas exigencias de consumo, cada porta electrodos va equipado con un juego de toberas de diferentes diámetros.

Hay que tener en cuenta que el electrodo de wolframio debe estar perfectamente centrado dentro de la tobera para que el chorro de gas inerte proteja bien el baño de fusión y, también, en caso de tobera de cobre, no se produzca el arco doble, esto es, que el arco salte primero entre el electrodo y la tobera y después continúe entre ésta y el metal base.

2. Pinza de masa:

Puede estar constituida por unas sencillas prensillas, y también debe mantenerse en buen estado de limpieza y sujeta siempre al cable de masa.



Ilustración 43. Pinza de masa

3. Careta contra radiaciones:

Suele ser de fibra o de plástico, con los lados bien anchos. Posee un vidrio claro transparente por el lado de trabajo y otro inactínico o de color apropiado por el lado de la cara. En nuestro caso hemos utilizado siempre una careta automática, para facilitar el transcurso del trabajo.

El vidrio claro transparente debe de ser reemplazado cuando está lo bastante picado o rayado, pues dificulta la visibilidad del baño de fusión. Hay muchas tonalidades de vidrios de color, sienta mas fuertes cuanto mayor sea la intensidad de trabajo del equipo.



Ilustración 44. Careta automática soldeo

2.6 CAUSAS DE PROTECCIÓN EN LA SOLDADURA

La utilización de electrodos desnudos, por carecer de cráter en su extremo, aumenta el ángulo de radiación; la ausencia de escoria ocasiona baños muy reflectores y brillantes; y el empleo de arcos de gran densidad de corriente da lugar a radiaciones que si bien son de la misma naturaleza que las del arco con electrodos revestidos, son de mayor intensidad. Por ejemplo, la radiación ultravioleta puede ser tres o cuatro veces más fuerte y la infrarroja unas dos veces.

Por consiguiente, los cristales de protección deben elegirse de acuerdo con la intensidad de la radiación. Además, para aminorar las molestias de brillo y reflejos del baño, conviene utilizar gafas polarizadas debajo de la pantalla de cabeza, principalmente en el soldeo del aluminio.

En soldadura TIG, cuando sea necesario proteger las manos de la radiación, deben elegirse guantes de piel fina que garanticen la sensibilidad de tacto necesaria, pero que aíslen suficientemente del calor.

2.7 NORMATIVA CONSIDERADA EN CADA PROCESO DEL TRABAJO

2.7.1 PROCESO DE SOLDADURA

- Norma ASTM 380 para la soldadura de hierros y aceros inoxidables
- Norma EN 292 para la protección contra nocivos creados por un proceso de soldeo

2.7.2 PREPARACIÓN DE MUESTRAS

- Normativa NTP 153 para el uso de cizallas

2.7.3 ENSAYO DE TRACCIÓN

- Normativa UNE-EN 10002 que rige el transcurso de dicho ensayo

2.7.4 MICROGRAFÍAS

- Normativa UNE-EN 643 que rige la determinación del tamaño del grano aparente en metales

2.7.5 DUREZAS VICKERS

- Normativa UNE 112-029 que rige el transcurso de dicho ensayo

2.8 NORMATIVA DE SEGURIDAD UTILIZADA EN CADA PROCESO Y DESCRIPCIÓN

2.8.1 PROCESO DE SOLDADURA

Ciñéndonos a la normativa vigente EN292 para la protección en trabajos de soldadura hemos utilizado los siguientes equipos de protección individual para el transcurso de dicha actividad en este trabajo:

- Botas de seguridad
- Bata de trabajo
- Guantes de protección
- Careta automática contra radiaciones de arco eléctrico

2.8.2 PREPARACIÓN DE MUESTRAS

Ciñéndonos a la normativa vigente NTP 133M para la protección en trabajos con tronadora de disco. Hemos utilizado los siguientes equipos de protección individual para el transcurso de dicha actividad en este trabajo:

- Gafas de protección
- Guantes de protección

2.8.3 ENSAYO DE TRACCIÓN

Ciñéndonos a la normativa vigente ASTM E8, normativa internacional para seguir la metodología standard para ensayos de tensión en materiales metálicos.. Hemos utilizado los siguientes equipos de protección individual para el transcurso de dicha actividad en este trabajo:

- Guantes de seguridad
- Gafas de seguridad

2.8.4 MICROGRAFÍAS

Ciñéndonos a la normativa vigente ISO 643 para determinación del tamaño de grano aparente en metales, incluyendo la metodología a seguir para la preparación de las probetas embutidas. Según especificado en esta norma, hemos utilizado los siguientes equipos de protección individual para el transcurso de dicha actividad en este trabajo:

- Gafas de protección
- Guantes de protección

2.8.5 DUREZAS VICKERS

Ciñéndonos a la normativa vigente ASTM E10 que incluye la descripción del método de ensayo para la determinación de la dureza y las medidas de protección que se deben de utilizar hemos usado los siguientes equipos de protección individual :

- Guantes de protección

CAPÍTULO III: PRESUPUESTO

3.1 INTRODUCCIÓN

En el presente proyecto, el presupuesto de ha elaborado mediante cuadros de precios elementales y un cuadro de precios descompuestos, dónde se reflejan los materiales utilizados y la preparación de las probetas a ensayar.

Hemos distinguido los precios por separado divididos en los siguientes grupos:

- Materiales (Kg, Ud)
- Tratamientos térmicos (Hrs, min)
- Procesos de soldeo (Kwh)
- Procesos de mecanizado y preparación de muestras(Hrs)
- Preparación de probetas por embutición

3.2 CUADRO DE PRECIOS ELEMENTALES

En los cuadros de precios elementales se ha valorado el coste de los materiales empleados en el trabajo y el coste de los tratamientos térmicos.

Materiales					
Ref.	Descripción	Ud.	Cant.	Precio (€)	Precio Total (€)
A1	Placas de fundición de grafito laminar obtenida en bruto de colada de dimensiones 400x100x10	Kg	3	7,5	22,5
A2	Varilla de Inconel	Ud	20	1	20
				TOTAL A	42,50 €

Tratamientos térmicos					
Ref.	Descripción	Ud.	Cant.	Precio(€)	Precio Total(€)
B1	precalentamiento a 450°C	Kg	1	37,5	37,5
B2	Recocido a 900°C	Kg	1	75	75
				TOTAL B	112,50 €

3.3 CUADRO DE PRECIOS DESCOMPUESTOS

A continuación, en los cuadros descompuestos se ve reflejado el coste de soldadura y de preparación de las muestras.

Proceso de soldeo					
Ref.	Descripción	Ud.	Cant.	Precio(€)	Precio total(€)
C1	Energía consumida por metro lineal de soldadura por el equipo de soldeo	Kwh	3	0,1	0,3
C2	Mano de obra directa de oficial soldador de 1ª	h	3	50	150
				TOTAL C	150,30 €

Mecanizado					
Ref.	Descripción	Ud.	Cant.	Precio(€)	Precio total(€)
D1	corte de un conjunto de 9 muestras de dimensiones 20x100x10 mm a partir de la placa inicial en forma de chaflán con sierra angular.	h	1,75	0,5	0,875
D2	Operador de 1ª en máquina de corte	h	3	35	105
				TOTAL D	105,88 €

Preparación probetas por embutición					
Ref.	Descripción	Ud.	Cant.	Precio(€)	Precio total(€)
E1	Corte de un pequeño trozo de material con sección del cordón de soldadura mediante tronadora de disco(mano de obra incluida)	Pza.	3	3	9
E2	Corte de un pequeño trozo de material con sección del cordón de soldadura mediante tronadora de disco	Pza.	3	0,6	1,8
E3	Corte de un pequeño trozo de material con sección del cordón de soldadura mediante tronadora de disco	Pza.	3	0,2	0,6
				TOTAL E	11,40 €

3.4 RESUMEN PRESUPUESTO TOTAL

DESCRIPCIÓN	COSTE TOTAL(€)
A) MATERIALES	42,50 €
B)TRATAMIENTOS TÉRMICOS	112,50 €
C)PROCESO DE SOLDEO	150,30 €
D)MECANIZADO	105,88 €
E)PREPARACIÓN PROBETAS POR EMBUTICIÓN	11,40 €
COSTE DEL PROYECTO	422,58 €
COSTES INDIRECTOS (3%)	12,68 €
HONORARIOS (15%)	63,39 €
TOTAL	498,64 €
IVA (16%)	79,78 €
TOTAL DEL PRESUPUESTO	578,42 €

El presupuesto de ejecución del presente trabajo asciende a la cantidad de QUINIENTOS SETENTA Y OCHO CON CUARENTA Y DOS CÉNTIMOS.

4. BIBLIOGRAFÍA

- <https://es.wikipedia.org/wiki/Soldadura>
- <https://www.solter.com/es/procesos-soldadura/tig>
- http://www.megamex.com/span/inconel_625.html
- <https://www.suministrosindustrialeshuelva.com/productos.raw?task=download&fid=337>
- insht.es
- [manual de soldadura Reina Gómez](#)
- [The welding Handbook](#)