

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA DEL DISEÑO



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

“Análisis de la microestructura y estudio de las propiedades en piezas soldadas por soldadura MAG entre acero F-1140 y fundición laminar sometidas a tratamientos térmicos”

TRABAJO DE FIN DE GRADO:

INGENIERÍA MECÁNICA

Autor: Marcos Roca Ortiz

Tutor: Manuel Pascual Guillamón

Valencia, 2019

ÍNDICE

1	INTRODUCCIÓN	1
1.1	Objetivo del proyecto	2
1.2	Desarrollo del proyecto	2
1.3	Antecedentes del proyecto	2
1.4	Justificación del proyecto	3
1.5	Viabilidad del proyecto	3
2	MATERIAL UTILIZADO	4
2.1	Fundición Laminar	4
2.1.1	Composición Química	4
2.1.2	Propiedades	5
2.1.3	Aplicaciones	5
2.2	Acero F-1140	5
2.2.1	Composición química	5
2.2.2	Propiedades	6
2.2.3	Aplicaciones	6
2.3	Hilo de acero F-1110	6
2.3.1	Composición química	6
2.3.2	Propiedades	7
2.3.3	Aplicaciones	7
3	PROCESO DE SOLDADURA	8
3.1	Definición de soldadura	8
3.2	Zonas dentro del proceso de soldadura	9
3.2.1	Zona afectada por el calor (ZAC)	9
3.2.2	Unión soldada	10
3.3	Tipos de soldadura	11
3.3.1	Soldadura de forja	11
3.3.2	Soldadura con energía	12
3.3.3	Soldadura con Gas	12
3.3.4	Soldadura de estado sólido	13
3.3.5	Soldadura por arco eléctrico	14
4	PROCESO DE SOLDADURA UTILIZADO Y TRATAMIENTOS TÉRMICOS APLICADOS	18
4.1	Proceso de soldadura MIG/MAG	18
4.1.1	Definición	18
4.1.2	Aplicaciones y usos	19
4.1.3	Uso de la soldadura	20

4.1.4	Equipo utilizado	20
4.1.5	Defectos encontrados al realizar el proceso de soldadura	21
4.2	Tratamientos térmicos	24
4.2.1	Definición	24
4.2.2	Diagrama de fase y curvas TTT	25
4.2.3	Tratamientos térmicos utilizados	27
5	ELABORACIÓN DE LAS PROBETAS DE ENSAYO	32
5.1	Introducción	32
5.2	Preparación del material base	32
5.2.1	Obtención del material	32
5.2.2	Corte previo con cizalla al proceso de soldadura	32
5.2.3	Proceso de soldadura	34
5.2.4	Corte de las uniones soldadas y elaboración de las probetas	34
5.2.5	Marcado de las piezas	35
5.2.6	Corte de las piezas	35
5.2.7	Secado y almacenamiento de las probetas	35
6	MICROGRAFÍA	36
6.1	Introducción	36
6.2	Proceso de preparación	36
6.2.1	Corte de la muestra de estudio	36
6.2.2	Montaje y conformado de la probeta	37
6.2.3	Desbaste y pulido metalográfico de la probeta	38
6.2.4	Ataque de la pieza	39
6.2.5	Análisis de la microestructura	39
6.3	RESULTADOS	40
6.3.1	Normalizado (Temperatura Ambiente)	40
6.3.2	Recocido	43
6.3.3	Pre calentamiento (450°C)	45
6.3.4	Comparación de resultados	47
7	ENSAYO DE DUREZA	49
7.1	Introducción	49
7.2	Equipo Utilizado	50
7.3	Método Empleado: Ensayo Vickers	50
7.4	Resultados	52
7.5	Conclusión	53
8	ENSAYO DE TRACCIÓN	54

8.1	Introducción	54
8.2	Equipo y medición del ensayo	56
8.3	Resultados	60
8.4	Conclusión	60
9	Conclusión	61
10	BIBLIOGRAFÍA	63
11	PLIEGO DE CONDICIONES	64
11.1	Proceso de soldadura de las piezas	64
11.1.1	Equipo utilizado	64
11.1.2	Rutinas dentro de la instalación	65
11.1.3	Normas de seguridad en la instalación	65
11.1.4	Normativa	65
11.2	Preparación de las probetas	66
11.2.1	Equipo utilizado	66
11.2.2	Rutinas dentro de la instalación	66
11.2.3	Normas de seguridad en la instalación	67
11.2.4	Normativa	67
11.3	Realización de ensayos y análisis de la microestructura	67
11.3.1	Equipo utilizado	67
11.3.2	Rutinas dentro de la instalación	69
11.3.3	Normas de seguridad en el laboratorio	70
11.3.4	Normativa	70
12	PRESUPUESTO	71
12.1	Introducción	71
12.2	Material Utilizado	71
12.3	Mano de obra	72
12.4	Coste de utilización de la maquinaria	73
12.5	Coste total del presupuesto	74

1 INTRODUCCIÓN

Durante toda la historia ha sido de suma importancia la investigación y el desarrollo de materiales para la creación de estructuras, herramientas y aplicaciones que son utilizadas hoy en día. A su vez, la evolución en la industria ha exigido que se realizasen pruebas en base a la composición química de algunos materiales y cómo han de ser tratados para mejorar la eficiencia del uso de éstos y, así, especificar un uso en concreto.

Los materiales estudiados se clasifican de varias formas, una de ellas es mediante su composición química. Estos materiales están divididos de la siguiente forma:

- Materiales férreos: Material que tiene como base Hierro-Carbono (Fe-C).
- Materiales no férreos: Elementos metálicos propios.
- Polímeros: Materiales formados por macromoléculas unidas entre sí por varios métodos.

Centrándose en aquellos denominados como férreos, el acero forma parte de este grupo al tratarse de un material derivado del procesamiento industrial del hierro. Este material puede variar sus propiedades según la cantidad de carbono que contenga en su composición química y, de este modo, destinarse para realizar una función o uso concreto.

Actualmente, la gran parte del acero producido por la industria siderúrgica se constituye del llamado acero al carbono. Material destinado mayormente para el mundo de la construcción (tanto civil como mecánica) abarcando campos como la creación de herramientas o estructuras. Concretamente, uno de los aceros más utilizados es el F-1140 según la normativa UNE.

El acero F-1140 es un acero de fácil obtención a la hora de la compra ya que es bastante usado para la mecanización de piezas como pueden ser manguitos, ejes y elementos de maquinaria gracias a su buena resistencia mecánica.

Por otra parte, se han de tener en cuenta que existan combinaciones entre distintos elementos sólidos con el objetivo de crear nuevos materiales que posean una combinación de sus propiedades. A estos materiales se les denomina aleaciones y en su mayor parte están constituidas por elementos como el Hierro (Fe), Aluminio (Al), Cobre (Cu) y el Plomo (Pb) entre otros más.

Dentro de las aleaciones, la fundición laminar o fundición gris es bastante empleada debido a su bajo coste y su gran maquinabilidad. La fundición gris es un material formado por Carbono (C), Silicio (Si) además de un porcentaje menor de Manganeso (Mn), Azufre (S) y Fósforo (P).

Partiendo del concepto de la unión de materiales para observar si existen modificaciones en su estructura y comportamiento se realizan procesos de unión denominados proceso de soldadura el cual, mediante varios tipos de soldados se unirán esos materiales formando una sola pieza y se formará una microestructura nueva en la zona de unión lo que dará paso a que el material adquiera un nuevo comportamiento mecánico.

1.1 Objetivo del proyecto

El objetivo de este proyecto es realizar un estudio sobre la microestructura, comportamiento mecánico y soldabilidad de un proceso de unión por soldadura MIG MAG (Metal Active Gas) entre el acero F-1140 (más conocido como acero industrial) y material de fundición laminar. A su vez, se tratarán las probetas previas a su soldadura con distintos tratamientos térmicos para, posteriormente, realizar una comparación entre los datos obtenidos.

Ambos materiales se estudiarán según tres tipos de tratamientos térmicos antes y después de realizar el proceso de soldadura. Estos serán el soldado y enfriamiento a temperatura ambiente, un proceso de recocido y, por último, el calentamiento de la probeta con enfriamiento dentro del horno.

1.2 Desarrollo del proyecto

Durante la realización del presente trabajo final de grado se puede identificar la estructura de este como un estudio el cual está dividido en cuatro grandes bloques. Estos son las siguientes:

- **Preparación del material:** Durante esta fase del proyecto el tiempo invertido está destinado a la preparación del material (tanto el acero F-1140 como el material de fundición laminar) en probetas adecuadas para su posterior soldado. A su vez, también se incluirá la práctica y adquisición de conocimientos necesarios en soldadura.
- **Realización de la soldadura del acero F-1140 y el material de fundición laminar:** En esta parte del proyecto se realizará un proceso de soldado de las probetas previamente preparadas mediante soldadura MIG MAG (Metal Active Gas).
- **Ensayos mecánicos y análisis de la microestructura del material soldado:** Durante este bloque del proyecto se les realizarán ensayos mecánicos a las probetas una vez estén soldadas y se realizará un análisis a la microestructura que presentan.
- **Recopilación, interpretación y comparación de los datos obtenidos:** Por último, se realizará un estudio de los datos obtenidos tras la realización de los ensayos mecánicos y el análisis de la microestructura del material.

1.3 Antecedentes del proyecto

Hablando de los antecedentes de este proyecto son, en esencia, la realización de un trabajo final de grado dentro del grado de Ingeniería Mecánica entre el alumno, el Departamento de Ciencia de los Materiales de la Universidad Politécnica de Valencia y la Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño.

1.4 Justificación del proyecto

A la hora de presentar una justificación para la realización de este proyecto se podrían encontrar tres motivos principales por los que se ha realizado el trabajo final de grado:

- En primer lugar, para plasmar los conocimientos adquiridos sobre este tema en asignaturas cursadas a lo largo del grado. Por ejemplo, en asignaturas como Ciencia de los materiales (I, II) y soldadura.
- Después, por la necesidad del tutor del trabajo final de carrera en realizar un estudio sobre el comportamiento y análisis de estos materiales cuando se les aplica un tratamiento térmico y son soldados.
- Por último, para completar los requisitos necesarios para la adquisición del título universitario.

En resumen, estos serían los motivos por los cuales se justificaría la realización del proyecto.

1.5 Viabilidad del proyecto

A la hora de desarrollar un proyecto es de vital importancia que este sea viable, es decir, que el proyecto tenga probabilidades de llevarse a cabo o de realizarse gracias a unas circunstancias específicas o que posea unas características que faciliten el desarrollo y la puesta en marcha.

Hablando de la viabilidad de este proyecto, los factores que han ayudado a que se pudiese llevar a cabo han sido varios. Dentro de los más destacados serían el sustento tecnológico por parte del departamento de Ciencia de los Materiales de la Universidad Politécnica de Valencia y el apoyo que han ofrecido los técnicos del departamento.

Por último, hablado del apartado económico y financiación del proyecto, cabe decir que este trabajo de fin de grado ha corrido a cargo de la Universidad Politécnica de Valencia ya que se ha hecho responsabilizado de todos los costes que han ido surgiendo durante la realización.

2 MATERIAL UTILIZADO

Este apartado se dedicará a hacer un análisis de los materiales utilizados en el proyecto, analizando su composición química, propiedades, funcionalidad y aplicaciones.

De este modo, ha sido necesario para la realización de este proyecto un conocimiento de este punto ya que la finalidad era realizar un estudio y comparación de los valores obtenidos y el análisis de la microestructura.

Como previamente se ha citado, los materiales a analizar son los siguientes:

- Fundición Laminar o fundición gris
- Acero F-1140
- Hilo de acero

2.1 Fundición Laminar

Cuando hablamos de fundición laminar, se entiende la fundición como el proceso de producción de piezas metálicas a través del vertido de metal fundido sobre un molde hueco, por lo general hecho de arena. Es decir, el metal se funde y se vacía en el molde hasta que este se enfríe.

Sin embargo, este antiguo método se ha ido sustituyendo por otros más recientes como el fundido a presión (el metal se inyecta en un molde a presión), la extrusión (el metal fundido es dirigido a través de una abertura mediante la compresión), la forja (el material es comprimido entre dos bloques usando impacto a presión) o el mecanizado y el laminado (el material reduce su espesor al pasar por fuerzas ejercidas por dos rodillos).

2.1.1 Composición Química

Dentro de todos los tipos de fundición, están aquellas que se realizan con el hierro como material base. Estas se caracterizan por poseer un porcentaje del 2% al 5% en carbono, cantidades de silicio del 2% al 4%, un bajo contenido de manganeso hasta el 1% y bajo contenido en azufre y fósforo.

Dicho esto, la composición química de la fundición laminar será, según los datos recopilados, los siguientes:

Elemento	Símbolo	Porcentaje	Rango (%)
Carbono	C	3,12%	2-5 %
Silicio	Si	2,04%	2-4%
Manganeso	Mn	0,52%	<1%
Azufre	Si	0,03%	-
Fósforo	P	0,02%	-

2.1.2 Propiedades

En cuanto a propiedades, este material se caracteriza por:

- Aspecto: Como su propio nombre indica, la superficie exterior de este material viene dado por un color gris.
- Temperatura de fusión: Varía según su composición, pero el promedio está alrededor de los 1200°C
- Mecanización: El material posee una buena capacidad para la mecanización de piezas.
- Soldabilidad: La fundición laminar no está dotado de buenas aptitudes para formar uniones soldadas dentro de un proceso de soldadura.
- Formabilidad: Este material está pensado para piezas coladas prácticamente en su forma final.
- Reciclabilidad: La fundición laminar se puede recuperar como chatarra para la posterior fabricación de nuevas piezas.

Así, los demás valores propios del material se tratarán en su respectivo apartado cuando hablemos de ensayos destructivos enfocados a ver el comportamiento de la unión soldada.

2.1.3 Aplicaciones

La fundición gris es bastante utilizada en varios campos como en las bases de las máquinas, herramientas, bastidores para maquinaria pesada o partes de vehículos como pueden ser los discos de freno o bloques y soportes del motor. Además, también se utiliza dentro del mundo agrícola.

Esto es debido a su gran capacidad de soportar vibraciones, por lo que la categoriza como un material idóneo para toda fabricación de herramientas y partes de un conjunto donde se tengan que soportar vibraciones continuas durante el encendido de la maquinaria.

2.2 Acero F-1140

Son aceros no aleados cuyas propiedades mecánicas básicas dependen directamente del contenido en carbono perteneciente al grupo de aceros denominados como aceros de construcción. Es un acero de fácil obtención ya que es utilizado para la mecanización de piezas en múltiples campos de la industria.

2.2.1 Composición química

La composición química de este tipo de acero es la siguiente:

Elemento	Símbolo	Porcentaje (%)	Tolerancia (%)
Carbono	C	0,42-0,50	±0,02
Silicio	Si	0,4 máx.	±0,03
Manganeso	Mn	0,50-0,80	±0,04
Fósforo	P	0,035 máx.	±0,005
Azufre	S	0,035 máx.	±0,005

2.2.2 Propiedades

Dentro de las propiedades más características de los aceros, estos se basan en:

- Alta resistencia mecánica: Los aceros presentan una gran resistencia al someterlos a esfuerzos tanto de tracción como de compresión gracias a su composición química
- Elasticidad: Poseen un valor muy alto ya que el valor de la elongación es considerable antes de llegar al límite elástico del material.
- Ductilidad: Son materiales que presentan facilidades al trabajar doblándose y torciéndose cuando se le aplica un tratamiento térmico.
- Soldabilidad: Si bien el material no posee las mejores características a la hora de soldarse, se pueden someter tratamientos térmicos como el recocido para facilitar la unión.
- Formabilidad: Este material puede adoptar cualquier forma al calentarse y recibir impactos.
- Trabajabilidad: El material pese a su gran resistencia se puede cortar y perforar.

2.2.3 Aplicaciones

Este tipo de acero se emplea para fabricación de piezas pequeñas que engloben dentro de un conjunto como pueden ser ejes, manguitos o tornillos. Además, es utilizado para la fabricación de palancas o cubos de rueda.

Aunque no sea recomendable para soldar, en el caso de aplicarle algún tratamiento térmico como el temple se pueden ampliar sus aplicaciones dentro del mundo de la fabricación industrial.

2.3 Hilo de acero F-1110

Como material de aporte en este proyecto se va a utilizar hilo de acero F-1110. Este tipo de acero es ideal como material de aporte en procesos de soldadura por su bajo contenido en carbono.

Por otra parte, este hilo de acero estará revestido con cobre para prevenir la oxidación del material.

2.3.1 Composición química

La composición química del material es la siguiente:

Elemento	Símbolo	Porcentaje Máximo (% Máx)	Porcentaje Mínimo (% Min)
Carbono	C	0,200	0,100
Manganeso	Mn	0,600	0,300
Silicio	Si	0,400	0,150
Fósforo	P	-	0,035
Azufre	S	-	0,035

2.3.2 Propiedades

Las propiedades más características de este material son:

- Posee un límite elástico entre 25/40 Kg/mm².
- Admite muy bien la soldadura por su bajo contenido en carbono.
- Perfecto para proceso de embutición o plegado.
- Es un material tenaz (capacidad de detener las grietas en el material).
- Soldable en cualquier espesor

2.3.3 Aplicaciones

Este material es usado principalmente para procesos de embutición o plegado y en la fabricación de elementos de maquinaria que deban poseer una buena tenacidad. Además, se emplea en la fabricación de piezas de baja resistencia como clavos, tornillos ... etc.

Por último, es un buen material de aporte para los procesos de soldadura ya que se puede soldar en cualquier espesor. Este acero se ha comercializado mucho debido a su bajo coste.

3 PROCESO DE SOLDADURA

En este punto se procederá a hablar del proceso de soldadura, haciendo hincapié en los conceptos básicos a la hora de realizar la soldadura y su definición además de explicar los distintos métodos a la hora de soldar. Además, se explicarán términos teóricos o valores que caracterizan a la soldadura.

Más tarde, se explicará con más exhaustividad el proceso de soldadura elegido para este proyecto explicando el por qué y qué beneficios ha aportado al cordón de soldadura.

3.1 Definición de soldadura

Se define como soldadura a aquel proceso de fabricación por el cual dos o más piezas de metal se unen por la aplicación de calor, presión, o una combinación de ambos, con o sin aporte de metal.

Al hablar de los materiales soldados y el metal de aportación se puede clasificar un proceso de soldadura como homogéneo cuando los materiales que se sueldan y el material de aportación son de la misma naturaleza (en el caso de que se realice sin material de aportación se le puede denominar como autógeno) y heterogéneo, cuando los materiales poseen naturalezas distintas.

Dentro de los procesos de soldadura, se pueden diferenciar según si se aporta calor. Estos son:

a) Soldadura por presión o soldadura en frío

Tipo de soldadura donde la unión de los metales se produce sin un aporte de calor. Este tipo de soldadura resulta muy útil en aplicaciones donde no se quiera alterar la estructura o propiedades del material. Este soldado se puede realizar de dos maneras distintas:

- Por presión en frío o caliente: El material es limpiado de manera exhaustiva y se le aplica presión en las superficies hasta que se forme la unión.
- Por fricción: Se coloca una de las piezas en una máquina que la hace girar y, al poner en contacto la otra pieza se realiza la unión mediante el calor producido por fricción.

b) Soldadura por fusión

En términos teóricos, la definición de soldadura por fusión es dada como un proceso de fijación de dos o más piezas (generalmente metales o termoplásticos) logrado normalmente a través de la fusión. Estas piezas son soldadas gracias a la fundición de los mismos materiales o agregando un material de aporte a lo largo del recorrido que, fundiéndose, forma un charco por todo el tramo y, al enfriarse, se convierte en la unión de ellos denominado cordón. Es decir, dos o más materiales se unen formando una sola pieza por una zona que forma un todo homogéneo con las zonas adyacentes.

Dentro de lo que es un proceso de soldadura, en esencia, se puede dividir en distintas fases:

- Se prepara el material de forma que esté listo para realizar el proceso de soldadura. En el caso de que se quiera realizar una lámina formada por dos o más materiales se pasa por un proceso de corte de estos (por ejemplo, con una cizalla).
- Una vez que el material esté preparado, se procede al aporte de calor de forma directa al material (las dos o más piezas donde se va a realizar el proceso de soldadura se calientan) o de forma indirecta (el material que se vaya a aportar para realizar la unión es calentado). El calor se ha de aplicar lo suficiente para que los materiales se fundan y se forme la unión.
- Después, se realiza el proceso de unión uniendo las piezas hasta que se forme la mezcla realizando lo que es denominado cordón de soldadura.
- Cuando se ha formado el cordón de soldadura entre los materiales, se deja enfriar y solidificar debidamente hasta que finalmente obtenemos el producto final entre el material soldado.

En la realización del proyecto expuesto, se realizará el proceso de soldado mediante la soldadura por fusión con material de aporte para formar el cordón de soldadura entre las dos probetas preparadas.

3.2 Zonas dentro del proceso de soldadura

Dentro de lo que representa la unión soldada, se puede diferenciar en varias zonas con distintas características que influyen directamente en la estructura tanto del material base unido como del material de aporte utilizado a lo largo de todo el proceso.

A continuación, vamos a realizar una descripción de a que se refiere cada una de las zonas dentro de la soldadura.

3.2.1 Zona afectada por el calor (ZAC)

Con zona ZAC nos referimos al volumen de material dentro o cerca de la unión soldada donde las propiedades del material han sido modificadas debido al calor proporcionado en el proceso de fusión. Esta zona puede variar en tamaño y fortaleza de esta. Esta zona depende directamente de la difusividad térmica del material (propiedad implícita de cada material que caracteriza la conducción del calor a través de él, analizando cuan rápido el material reacciona a un cambio de temperatura). La cantidad de calor aportado durante el proceso de soldadura también desempeña un papel de gran importancia ya que dependiendo del proceso de soldadura y el método de enfriamiento esta zona se verá aumentada o disminuida (cuanto más lento sea el proceso de enfriamiento, mayor será la zona afectada por el calor del proceso).

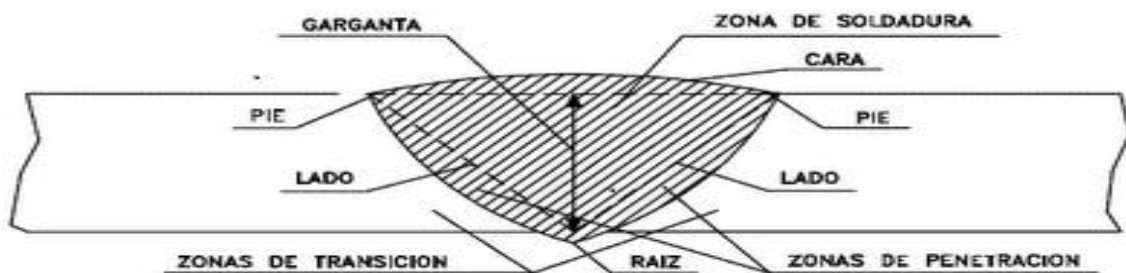
El material base que se encontraba en esa localización antes del proceso de soldadura ha sufrido un proceso de cambio metalúrgico ya que posee propiedades distintas.

Dentro de un proceso de soldadura, es muy importante realizar un estudio del material para la posible disminución de la zona afectada térmicamente ya que podría provocar fallos como fisuras dentro de la pieza o una posible rotura de la unión soldada.

3.2.2 Unión soldada

Con unión soldada nos referimos a la zona por donde se ha realizado el cordón de soldadura durante el proceso. Esta zona está compuesta por el depósito del metal fundido a lo largo del proceso

A continuación, se procederá a diferenciar las partes que componen el cordón de soldadura, es decir, la zona donde se ha realizado el soldado y sus principales dimensiones que determinan el cordón.



- **Zona de soldadura:** Denominada así a la zona central del cordón de soldadura, es decir, situada entre los materiales a los que se le ha realizado el proceso, esta zona está formada principalmente por el metal que se le ha aportado en el proceso de soldado.
- **Zona de penetración:** Parte de las piezas que han sido fundidas para realizar la soldadura. Esta zona es de vital importancia ya que la penetración que posee la soldadura vendrá dada por la cantidad de material que ha sido fundido en el proceso y, si la penetración ha sido pobre, se podría determinar cómo defectuosa.
- **Zona de transición:** Es nombrada zona de transición a la parte del material unido que está más próximo al proceso de soldadura. Generalmente, analizando la microestructura del proceso. También recibe el nombre de zona afectada por el calor.
- **Garganta:** Es la altura máxima del triángulo isósceles comprendida entre las dos caras de las piezas que se han unidos. El vértice de los lados se denomina pie.

- **Cara y Raíz:** Se denomina cara a la parte visible donde se ha efectuado el proceso de soldado y Raíz al extremo opuesto (hasta donde ha llegado el material aportado).

Además, cabe destacar el concepto de zona afectada por el calor dentro de la soldadura (ZAC) o la zona afectada térmicamente. Con zona ZAC nos referimos al volumen de material dentro o cerca de la unión soldada donde las propiedades del material han sido modificadas debido al calor proporcionado en el proceso de fusión. Esta zona puede variar en tamaño y fortaleza de esta. Esta zona depende directamente de la difusividad térmica del material (propiedad implícita de cada material que caracteriza la conducción del calor a través de él, analizando cuan rápido el material reacciona a un cambio de temperatura). La cantidad de calor aportado durante el proceso de soldadura también desempeña un papel de gran importancia ya que dependiendo del proceso la zona.

3.3 Tipos de soldadura

Como se ha citado en la introducción, existen varios tipos de soldadura según el método que se utilice. Tanto de las que se realizan por fusión como de las que se realizan aplicando una presión, una vez explicado los conceptos del proceso de soldadura como las regiones afectadas de los materiales sometidos a la unión se pasará a ver cuáles son los principales tipos de soldadura y enunciaremos sus características.

3.3.1 Soldadura de forja

La soldadura de forja, o también conocida como soldadura de Fragua es el proceso de soldadura más antiguo a nivel histórico. Aunque, a nivel industrial ya no es utilizado, cabe nombrarlo ya que la mayoría de los procesos actuales han derivado de este antiguo método.

Este proceso consiste en calentar dos trozos de acero con un porcentaje de Carbono pequeño hasta alcanzar una temperatura de alrededor de los 1000 °C y, con un martillo, realizar la unión a base de impactos.

Es un proceso muy versátil ya que le permite al usuario emplearlo para fabricar una gran variedad de productos. Sin embargo, el tiempo empleado en la realización es excesivamente largo, se necesita de una gran habilidad por parte del usuario y el material soldado puede verse afectado por el carbón utilizado en la fragua.

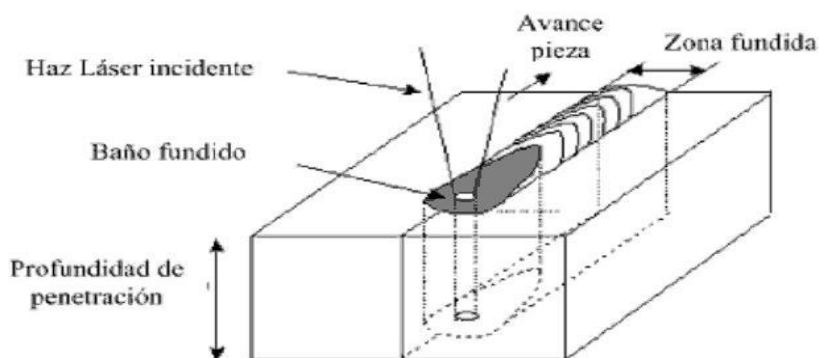


3.3.2 Soldadura con energía

La soldadura con energía o por haz láser (laser-beam-welding) es un proceso que realiza la unión por fusión donde la energía aportada viene dada por un haz de luz con una alta intensidad que permite la fundición de los materiales involucrados y que, en la mayoría de los casos, es un proceso que no utiliza material de aporte.

La soldadura por láser puede aplicarse de forma correcta para unir materiales con gran precisión entre ellos. Este tipo de soldadura se utiliza principalmente en el proceso de soldado de aceros, aleaciones y en la unión de plásticos y polímeros. Sin embargo, puede resultar inviable a la hora de sustituir a otros métodos más convencionales.

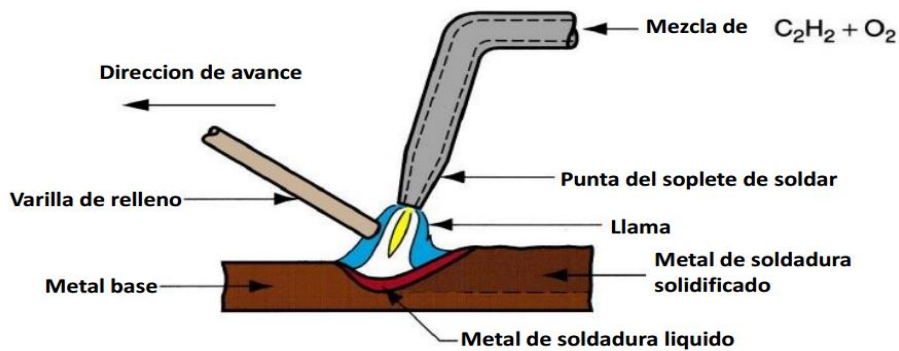
Produce una soldadura de buena calidad, con contracción del material y una distorsión mínima. Además, posee una buena resistencia y un carácter dúctil.



3.3.3 Soldadura con Gas

Siendo uno de los primeros procesos de soldadura realizados por fusión, este proceso engloba a todo tipo de soldadura que emplea gas para generar la energía en forma de calor para fundir el material aportado. Consiste en crear una llama mediante la combustión del oxígeno junto al acetileno, esta llama dirigida mediante un soplete calienta la superficie deseada hasta unir los materiales. Algunas veces se aporta material, pero con el fin de limpiar la superficie o la prevención de la aparición de óxido.

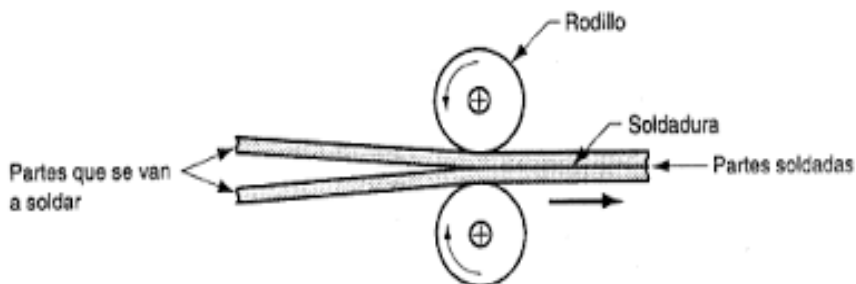
Este tipo de soldadura se utiliza para diversos fines dentro del entorno industrial ya que el coste de realizar este proceso es bastante económico, pero los tiempos de enfriamiento son bastante largos (durante los últimos años se ha ido sustituyendo por la soldadura con arco).



3.3.4 Soldadura de estado sólido

Tipo de soldadura donde la unión de los metales se produce sin un aporte de calor. Este tipo de soldadura resulta muy útil en aplicaciones donde no se quiera alterar la estructura o propiedades del material. Este soldado se puede realizar de dos maneras distintas:

- Por presión en frío o caliente: El material es limpiado de manera exhaustiva y se le aplica presión en las superficies hasta que se forme la unión.
- Por fricción: Se coloca una de las piezas en una máquina que la hace girar y, al poner en contacto la otra pieza se realiza la unión mediante el calor producido por fricción.



Si bien los métodos anteriormente citados son los más conocidos cuando se habla de soldadura de estado sólido, cabe añadir que se ha desarrollado otros procesos como pueden ser:

- Soldadura por presión caliente
- Soldadura de inducción
- Soldadura de pulso electromagnético
- Soldadura de coextrusión

3.3.5 Soldadura por arco eléctrico

La soldadura por arco o bien soldadura electrógena es aquella en la cual el proceso de soldado se crea a partir de la formación de un arco voltaico entre el útil del soldador (dotado de un electrodo) y el metal que se desee soldar. Dicho arco es el que genera la energía en forma de calor para calentar el material hasta su punto de fusión.

Este proceso es muy popular dentro del entorno industrial ya que se caracteriza por su bajo coste y su facilidad a la hora de emplearse.

Por último, como se citó en el apartado de soldadura con gas, la mayoría de las empresas han optado por sustituir el anterior método por este ya que los tiempos de enfriamiento son menores y permiten optimizar el proceso de producción y economizar costes.

Entre los tipos de soldadura con arco, los más importantes son los siguientes:

3.3.5.1 Soldadura con electrodo de metal (SMAW)

El proceso de soldado con electrodo de metal SMAW (Shield Metal Arc Welding) se trata de un proceso de soldadura por arco eléctrico donde el electrodo que genera el arco voltaico junto al material base está revestido cuya función principal es la protección del metal fundido de escoria, la estabilidad del proceso, la facilitación de inicio de creación del arco y el proveer elementos para aleaciones, además de transmitir más o menos calor y determinar la viscosidad y fusión de la escoria.

Durante este proceso las temperaturas suelen rondar los 3500°C en la punta del electrodo, la cual es más elevada de la temperatura de fusión de la gran parte de los materiales utilizados.

A medida que se va realizando el cordón de soldadura, el calor provocado funde los materiales base y va creando un líquido que lo constituye a lo largo de todo el tramo. El amperaje utilizado durante el proceso de soldadura depende directamente del diámetro del electrodo utilizado y el tipo de revestimiento que se utilice, además de por el voltaje de la longitud del arco.



Existen diversos tipos de electrodos:

- Aluminio
- Corte
- Cobre
- Bronce
- Fundición de hierro

MEMORIA

- Aceros Inoxidables
- Rutilicos
- Celulósicos
- Bajos en hidrógeno
- Para combatir el desgaste

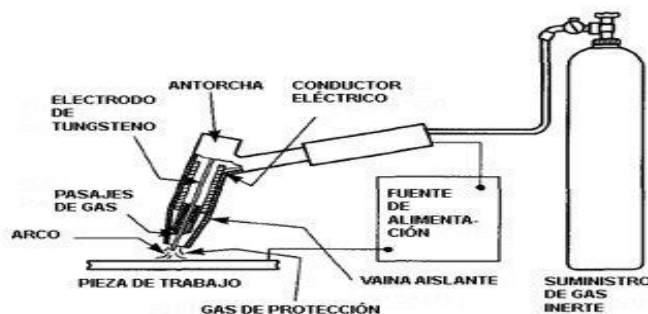
Es un proceso de soldadura simple y flexible, que permite su uso en el exterior y tiene un fácil acceso a lugares difíciles como juntas. Además de que se puede utilizar en la mayoría de los metales. Sin embargo, el rendimiento y la velocidad de deposición del material es menor que con otros procesos.

3.3.5.2 Soldadura por arco con gas inerte (TIG)

Proceso de soldadura con siglas TIG (Tungsten Inert Gas) donde un electrodo infusible (que no se puede fundir) es utilizado junto a un gas inerte para generar el arco que producirá el calor necesario para la fusión del material base. El electrodo utilizado es de tungsteno o una aleación de este.

La función principal que aporta el gas inerte al proceso es la protección del material fundido, el electrodo no consumible y la zona de soldadura.

El material de aporte utilizado para soldar suele ser otra varilla de un material consumible que se irá consumiendo por el arco producido.



Este proceso tiene como ventaja que permite soldar espesores delgados y que la superficie soldada queda neta, sin escoria ni residuos de la soldadura. Además, permite soldar en cualquier posición y no se producen chispas ni humos dañinos para la salud.

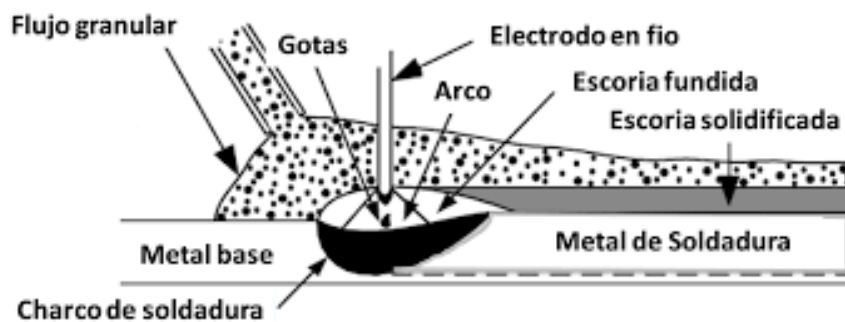
Sin embargo, el inconveniente principal es la necesidad de añadir un flujo constante de gas por lo cual es necesaria una instalación de tuberías o bombonas. Además, la necesidad de poseer estos extras encarece el proceso y es más costoso que otros anteriormente citados en otros apartados.

3.3.5.3 Soldadura por arco sumergido (SAW)

Se denomina soldadura por arco sumergido SAW (Submerged Arc Welding) al procedimiento en el cual el arco formado por el electrodo y el material base no es visible ya que está cubierto por un polvo granulado denominado flux. La función principal de este polvo es proteger la zona de soldadura de la atmósfera donde se esté produciendo el proceso.

El calor producido por el arco eléctrico funde el electrodo, el material de aporte y el metal base, formando lo que viene a ser el arco de soldadura donde el material se va depositando delante del arco voltaico. Al solidificarse, se extrae el exceso de material con fines de reutilizarlo.

Es un método principalmente utilizado para proyectos donde el espesor mínimo de las piezas a soldar sea de unos 5 mm y permite cordones largos y rectos ya que normalmente el cabezal es desplazable.

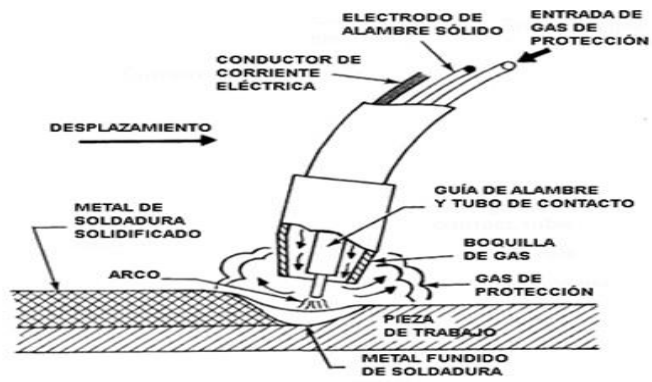


El principal uso de este tipo de soldadura está en la aplicación en los aceros suaves de bajo contenido en carbono, aunque se estén desarrollando nuevos fundentes que amplíen el uso de este método en otros metales como el cobre o aleaciones de aluminio y titanio. También es un método comúnmente utilizado dentro de la industria naval o industrias donde trabajan con estructuras metálicas, tubos y tanques de almacenaje.

3.3.5.4 Soldadura por arco con metal gas (GMAW – MIG/MAG)

La soldadura MIG / MAG (Metal Inert Gas o Metal Active Gas) es un proceso de soldadura por arco eléctrico con gas protector utilizando un electrodo consumible, este arco está formado por las piezas a unir donde se quiera realizar la soldadura y un electrodo consumible.

MEMORIA



Este proceso de soldadura, al ser el utilizado en el proyecto presente, será tratado más adelante en el próximo apartado.

4 PROCESO DE SOLDADURA UTILIZADO Y TRATAMIENTOS TÉRMICOS APLICADOS

Una vez realizada la introducción, haber hecho una breve descripción de los diferentes tipos de soldadura que existen en el ámbito industrial y detallado las características de los materiales utilizados durante la realización de este proyecto se dará comienzo a la descripción de los pasos efectuados durante todo el proceso.

Para una mejor comprensión del lector y con la finalidad de que la secuencia de todos los pasos sea clara y concisa, en este punto se incluirá también la explicación del proceso de soldadura utilizado para la unión de las dos láminas de material que, a posteriori, serán cortadas para la realización de las probetas y de los tratamientos térmicos que han sido utilizados y nos han permitido observar las diferencias entre los valores obtenidos. Además, se incluirá la maquinaria y utillaje empleado en cada punto.

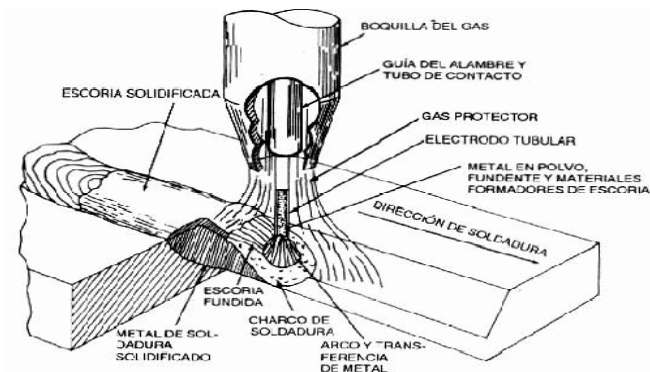
Dicho esto, se empezará explicando el tipo de soldadura utilizado y los tipos de tratamientos térmicos aplicados en los materiales base. La estructura de este punto será la siguiente:

- Explicación del proceso de soldadura MIG/MAG
- Tratamientos térmicos aplicados
-

4.1 Proceso de soldadura MIG/MAG

4.1.1 Definición

El proceso de soldadura mediante gas denominado MIG (Metal Inert Gas) o MAG (Metal Active Gas) es un tipo de soldadura perteneciente al grupo de soldaduras por arco eléctrico. En este proceso la energía en forma de calor es provocado por un arco voltaico formado por el electrodo, el cual se va consumiendo a lo largo del tramo, y el metal base que se desee unir bajo una cubierta de gas que tiene como función la protección de los elementos citados con la atmósfera.



Las diferencias entre soldadura MIG o soldadura MAG recaen en la utilización de un gas protector u otro, a su vez del objetivo del proceso, las dimensiones de las piezas y el espesor de estas.

- METAL ACTIVE GAS (MAG)

Denominamos a un proceso de soldado con gas MAG (Metal Active Gas) cuando el gas de que se utiliza para proteger el electrodo consumible y el material es Dióxido de Carbono (CO_2) puro o mezclado con otros elementos como el Argón que, mediante un proceso termoquímico reacciona con la soldadura.

Cuando el gas protector es Dióxido de Carbono puro es necesario el uso de calentadores para prevenir la formación de hielo.

Es un proceso con una velocidad y penetración grande, ya que el aporte térmico es mayor. Sin embargo, posee la desventaja de tratarse de un proceso en el cual se crea una cantidad de humos considerable y el aspecto del cordón es bastante menos estético que con otros métodos.

- METAL INERT GAS (MIG)

La soldadura con gas MIG (Metal Inert Gas) se caracteriza porque el gas de aporte es inerte (no reacciona bajo unas determinadas condiciones de presión y temperatura) ya que ofrece una protección y ionización perfectas.

Este proceso tiene un aporte térmico más controlado que la soldadura con gas activo, además de que el aspecto estético es mejor y la generación de humos dañinos para el usuario son en menor cantidad.

Al tratarse de un proceso donde la cantidad de calor que queremos aplicar está más controlada, por tanto, es un método utilizado para la soldadura de materiales como el acero inoxidable o el aluminio.

4.1.2 Aplicaciones y usos

Este proceso de soldadura tiene varias aplicaciones que le pueden beneficiar al usuario. Primeramente, se ha de citar que es un método que no sólo se aplica a nivel industria, sino que es bastante empleado en talleres pequeños y centros de formación, por tanto, se está hablando del proceso más utilizado hoy en día.

Hablando de sus usos dentro de la industria, es un método que se utiliza en muchos campos como pueden ser en la producción de oleoductos o en la industria naval, así como en el procesamiento de chapas. Además, está muy presente en la industria automotriz.

Como se ha podido ver, es un proceso muy versátil ya que permite depositar material y crear el cordón de soldadura a gran velocidad, siendo ideal para la soldadura de materiales de pequeño espesor y que permite trabajar con una buena precisión. También es utilizada a la hora de trabajar con estructuras muy pesadas que precisen una gran resistencia, pero al proceso se le deberían de introducir hilos tubulares.

4.1.3 Uso de la soldadura

Una vez explicado el concepto del proceso de soldadura por MIG/MAG, se va a aclarar las causas de la selección de este método en nuestro proyecto con uno de los dos.

Se ha seleccionado el proceso de soldadura mediante gas activo (MAG) ya que el proyecto trata de preparar unas probetas con acero F-1140 y fundición laminar para realizar posteriormente ensayos de dureza y tracción además de analizar su microestructura. Al tratarse de materiales donde su espesor era pequeño, hablando de un espesor de 3 milímetros para la lámina de acero y otro de 6 milímetros para el material de fundición gris o laminar se necesitaba trabajar con un tipo de soldadura que funcionase bien en espesores pequeños y aceros.

Por otra parte, el ambiente donde se realizaba el proceso de soldadura también estaba destinado a otros fines y, por tanto, al proteger el arco voltaico de la soldadura con un gas inerte nos aseguraba que la atmósfera no iba a dañar el cordón y no iba a provocar reacciones con el entorno. Además, el cordón que deja este método en las piezas soldadas es bastante estético.

Por último, cabe destacar también que es un proceso sencillo y fácil de ejecutar, por lo que no se necesita demasiada experiencia del usuario para realizar un cordón de soldadura en buenas condiciones. Esto es así ya que al aplicarle tratamientos térmicos como un precalentamiento a 450°C y un recocido la forma de soldar facilita a la realización sin problemas de la soldadura.

4.1.4 Equipo utilizado

Para realizar con éxito el proceso de soldadura dentro de este proyecto, se ha contado con un Soldador digital Transpuls Synergic 2700. Este tipo de soldador es un equipo de soldadura especializado en procesos de soldadura por arco pulsado, se denomina digital ya que la fuente de corriente está totalmente digitalizada y controlada por un microprocesador.

Abarcando un rango de corriente de soldadura desde 3 a 270 amperios, esto le permita realizar un proceso de soldadura en diversos materiales con una amplia gama de espesores. Sin embargo, este equipo está indicado para aceros, cromo, níquel, chapa galvanizada y aluminio.

Dependiendo del material a soldar, el equipo viene con una serie de valores predeterminados grabados en la memoria del equipo.

El soldador Transpuls Synergic 2700 cuenta con una gran versatilidad ya que, a parte de la soldadura MIG MAG, se pueden realizar otro tipo de procesos como la soldadura TIG o la soldadura por electrodo.

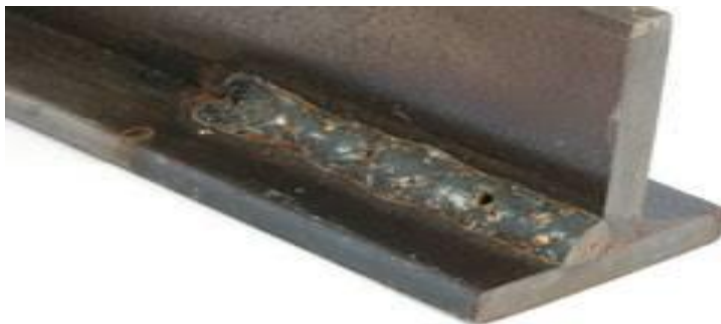
Por último, las revoluciones del motor que retroalimenta con hilo el proceso de soldadura también está controlado digitalmente y se puede ajustar la velocidad de retroalimentación en varios niveles desde 0 hasta 22.

4.1.5 Defectos encontrados al realizar el proceso de soldadura

Durante todo proceso de soldadura, y a lo largo de este proyecto, se ha podido observar varios defectos característicos típicos de la soldadura. A continuación, vamos a realizar una descripción de los defectos que han ido apareciendo y cómo se deben de corregir para que no vuelvan a aparecer:

Porosidad

La porosidad hace referencia a la formación de discontinuidades con forma de cavidad denominadas poros durante la realización del cordón debido al aprisionamiento de gas durante la solidificación del metal fundido.

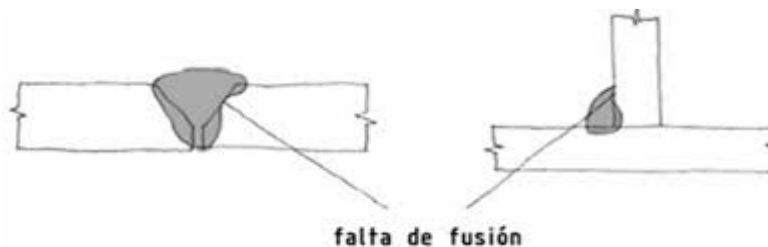


Este defecto suele ser causado por la mal calibración del gas (demasiado alto o bajo) o su contaminación, por un electrodo en mal estado, por la velocidad de la pasada (demasiado rápida) o porque la distancia entre la pistola y el material a soldar sea demasiado alta.

Como medidas a tomar para que no aparezcan este tipo de defecto sería el ajuste del caudal del gas y realizar una pasada a una velocidad constante manteniendo una distancia favorable a la creación del arco.

Falta de fusión en la soldadura

Se trata de una discontinuidad en la soldadura debido a que la fusión entre el electrodo y el material base no se han fundido correctamente, suele darse en una de las superficies del material base. Es decir, los materiales están pegados entre ellos, pero no se han unido en una superficie homogénea.

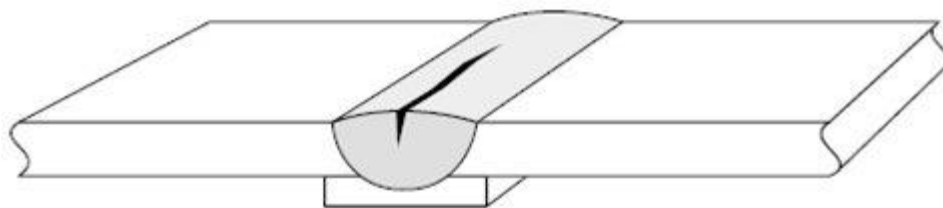


Sus principales causas suelen ser el mal posicionamiento de la pistola a la hora de soldar la unión de las superficies, un ángulo de soldadura demasiado ancho o la realización de cordones demasiado anchos.

Sus soluciones suelen ser la reducción de la velocidad en la pasada a su vez que la extensión del cordón, cerciorarse de que el calor aportado se está distribuyendo de una manera uniforme, aumentar la separación de las piezas entre ellas o aumentar la tensión y velocidad en la que el alambre es suministrado.

Grietas

Durante el proceso de soldadura de soldadura cabe la posibilidad de la aparición de grietas a lo largo del cordón de soldadura, estas grietas pueden ser en la superficie o en el interior de la soldadura. Es un defecto muy para tener en cuenta ya que puede suponer un gran problema en la estructura ya que pueden provocar la rotura.



La principal causa de estas grietas suele ser por una mala realización del cordón de soldadura donde se van creando tensiones residuales al enfriarse la pieza o un embriamiento excesivo.

Para prevenir la formación de las grietas, se puede realizar un precalentamiento en el material base para reducir las tensiones residuales o utilizar un electrodo de un metal más dúctil. Además, se ha de ver si la fijación de las piezas es demasiado fuerte.

Agujeros en las piezas

Con agujero en el material base se refiere a que durante el proceso de soldadura se ha penetrado en el material creando perforaciones en las piezas.



Esto es debido a una intensidad y voltaje demasiado alto o bien por haber realizado el proceso con una velocidad extremadamente lenta.

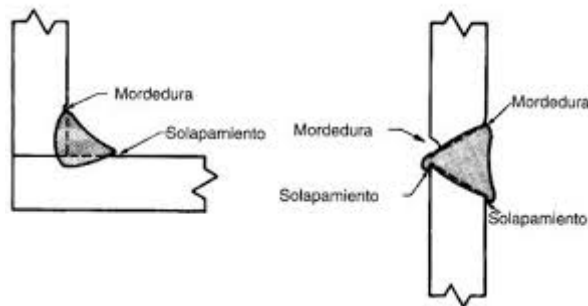
Para evitar este proceso hay que utilizar una intensidad acorde con el espesor de la pieza y mantener un ritmo constante a la hora de realizar la pasada.

Falta o exceso de material aportado

Dependiendo de la velocidad a la que se realice la pasada, puede pasar que el espesor de la pasada sea demasiado fino y se puede partir o que exista un exceso de material aportado. Ambos son causados por llevar una velocidad incorrecta, este problema se soluciona manteniendo una velocidad constante a lo largo de todo el cordón.

Mordeduras y solapamientos

La mordedura es la falta de metal en forma de surco en cualquiera de los bordes del cordón de soldadura. Pudiendo aparecer entre el material base y éste o entre dos cordones de soldadura. Por otro lado, con solapamiento se refiere a un exceso de metal aportado que rebosa sobre el metal base.



Este problema viene dado principalmente por una oscilación excesiva a la hora de realizar el cordón de soldadura o por una mala inclinación a la hora soldar.

Normalmente, disminuyendo la velocidad del desplazamiento y fijándose bien en el movimiento lateral suele arreglarse. En el caso de que no fuese así, se probaría a disminuir la tensión.

En resumen, estos son los principales defectos que se han ido presentando durante la realización y práctica del proyecto. Si bien algunos tienen fácil arreglo, aunque conlleven la repetición de la pieza, otros podrían acarrear problemas a gran escala si se tratase del soldado de estructuras metálicas de vital importancia para varios tipos de construcciones.

4.2 Tratamientos térmicos

Una vez explicado el proceso de soldadura que se va a realizar en este proyecto, se va a dar paso a la explicación de los distintos tratamientos térmicos que han sido aplicados a las probetas.

4.2.1 Definición

Se define como tratamiento térmico al proceso de variar la temperatura del material, pero sin variar la composición química con el objetivo de mejorar las propiedades de los metales tratados con un carácter mecánico como pueden ser la dureza, la resistencia y la elasticidad. Es un proceso donde el metal o aleación se calienta hasta las temperaturas definidas según el tratamiento y manteniéndose a esa temperatura lo suficiente para después enfriar a unas velocidades adecuadas.

Las características mecánicas de los materiales dependen por una parte de la composición química que posean y por otra de la estructura cristalina que se tenga (con estructura cristalina nos referimos a la forma sólida de cómo están ordenados los átomos, moléculas o iones).

Dentro de los principales propósitos de los tratamientos térmicos podemos encontrar los siguientes:

- **Homogeneizar:** Eliminar la segregación de solutos e impurezas que se derivan de cualquier material.
- **Ablandar:** Con el objetivo de mejorar su maquinabilidad, procesos como el recocido disminuye la dureza del material para una mejor mecanización.
- **Distensionar:** Las piezas puedan acumular tensiones producidas por la soldadura o fusión cuando los espesores de los materiales son distintos.
- **Endurecer:** Aumentar el límite elástico del material, su resistencia máxima y su comportamiento a fatiga.
- **Aumentar la tenacidad:** Se realizan tratamientos térmicos para aumentar la resistencia a la capacidad de deformación antes de romperse.
- **Añadir y remover elementos químicos**

De este modo, al calentar y dejar sucesivamente la estructura cristalina va variando ya que el calor es una forma de energía y, al aportar energía al proceso, esta provocará cambios en las uniones entre átomos y moléculas.

Los tratamientos térmicos se aplican principalmente a materiales como acero y fundición, es decir, a aquellos materiales que están formados por hierro y carbono.

Hablando de las características mecánicas que pueden verse afectadas, tenemos las siguientes:

- **Resistencia al desgaste:** La resistencia proporcionada por el material al proceso de erosión cuando entra en contacto con otros materiales.

- **Tenacidad:** Capacidad que tiene un material al absorber la energía dentro de su estructura sin que se produzcan fisuras. Esto es conocido también como resistencia al impacto.
- **Mecanizabilidad:** La facilidad que posee un material al someterse a un proceso de mecanizado para la fabricación de piezas.
- **Dureza:** Se le llama dureza a la capacidad que tiene un material al dejarse penetrar. Existen varias unidades que categorizan su dureza como pueden ser la escala Brinell (HB), la escala Rockwell (HRC) y la escala Vickers (HV).

En cualquier tratamiento térmico se pueden diferenciar tres fases en el proceso:

- **Calentamiento hasta la temperatura adecuada**
Durante esta fase se tiene como objetivo el llegar hasta la temperatura adecuada para la finalidad del proceso y se tiene en cuenta la temperatura crítica del material, el tiempo que tarda el proceso en alcanzar esa temperatura y si el calentamiento se ha realizado modificando la velocidad.
Es decir, si por ejemplo la temperatura llega al valor de la temperatura crítica superior es porque se busca una estructura formada por austenita en el material objeto de estudio. Por otra parte, si durante el proceso se ha modificado la velocidad de calentamiento, la transformación de la microestructura aparecerá más tarde si se ha aumentado o más pronto si se ha disminuido.
- **Mantenimiento de la temperatura hasta lograr una distribución homogénea**
Se trata del período del proceso donde se busca que la temperatura de todo el material esté en equilibrio para crear una distribución homogénea en la estructura del metal. A mayor velocidad de calentamiento, esta fase deberá de tardar más.
- **Enfriamiento de la pieza**
Es la última fase y la más decisiva de todo el proceso en la mayoría de los tratamientos. Dependiendo del tiempo que tarde la pieza en enfriarse ocurrirá a mayor o menor escala la transformación de la microestructura. Es decir, si se procede con un enfriamiento lento o rápido el tipo de constituyentes que aparecerán en la microestructura serán de un tipo u otro.

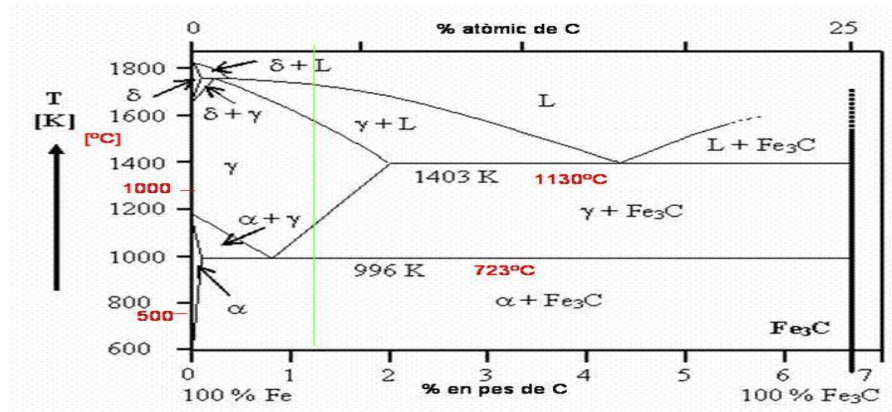
4.2.2 Diagrama de fase y curvas TTT

Una vez vista las tres fases que constituyen cualquier tratamiento térmico, se ha visto que hay tres valores que influyen de forma significativa en cualquier proceso. Estos son transformación, tiempo y temperatura. Estos valores se representan mediante la plasmación de curvas representativas dentro del diagrama correspondiente.

A continuación, se va a explicar cómo se representan estos valores dentro del diagrama de Hierro Carbono Fe-C y el diagrama TTT, ya que tanto el acero F-1140 y la fundición laminar se incluyen dentro del tipo de metales en base férrica con un porcentaje de carbono.

4.2.2.1 Diagrama Fe-C

El diagrama de hierro- carbono es una representación gráfica de las transformaciones que sufren los aceros al carbono con la temperatura, donde el calentamiento y enfriamiento del material se realiza de modo estable para que los procesos de difusión tengan tiempo en realizarse.



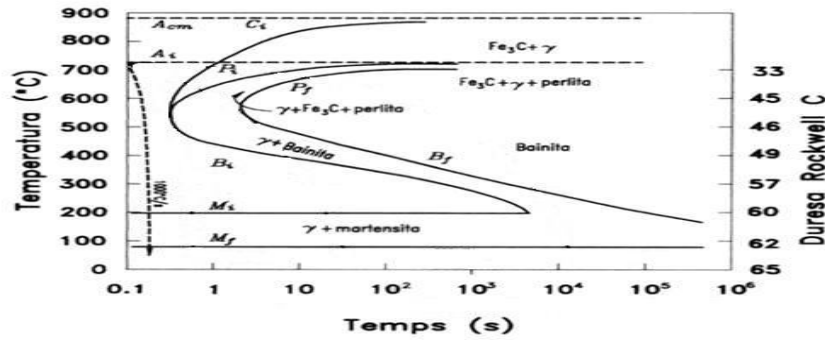
Como se puede ver en la imagen, se marcan como puntos la localización en base a temperatura y porcentaje de carbono donde se producen las transformaciones en la estructura y, al unir dichos puntos, se obtienen unas líneas que indican las condiciones de las transformaciones.

Dentro del diagrama, podemos remarcar que las líneas más relevantes serían las siguientes:

- La línea A1 corresponde a la temperatura del eutectoide.
- La línea A3 hace referencia a la línea de transformación alotrópica de austenita en ferrita.
- La línea Am representa la curva de pérdida de solubilidad de carbono en la austenita.

4.2.2.2 Diagrama TTT

El diagrama TTT (temperatura, tiempo, transformación) abarca todas las posibles transformaciones que sufre la austenita para cada acero, este diagrama es de vital importancia para el diseño del tratamiento térmico adecuado y la interpretación de la microestructura resultante.



Dentro de cada diagrama se muestran las líneas de enfriamiento, las temperaturas críticas y las diferentes transformaciones de la Austenita en función de la velocidad de enfriamiento.

Los tratamientos térmicos han adquirido una gran importancia en todos los campos de la fabricación industrial ya que es un medio que sufre constantes innovaciones en cualquier campo por lo que cada vez se requiere de un metal que posea unas mejores características mecánicas como puede ser una mayor resistencia al desgaste o que soporte mejor las tensiones.

4.2.3 Tratamientos térmicos utilizados

El uso de un tratamiento térmico es uno de los procesos más fundamentales para alcanzar las propiedades mecánicas para las cuales el material está creado. El objetivo principal de los tratamientos térmicos consiste en producir reacciones dentro del material, tanto en aceros como en aleaciones no férricas, donde estas se dan lugar en el proceso de calentamiento y enfriamientos de las piezas, siguiendo unos tiempos predeterminados.

Dentro de lo que es la realización de este proyecto, se le han realizado al material varios tratamientos térmicos. A la primera tanda de probetas sencillamente se le han aplicado un normalizado para ver cómo eran sus características mecánicas y microestructura en un estado natural de la pieza, a la segunda serie de probetas se ha usado un recocido a 900°C para ablandar lo que es la estructura de la pieza y, por último, se ha aplicado a las probetas restantes un precalentamiento del material a 450 °C.

Dicho esto, se pasará a explicar en mayor profundidad los tratamientos térmicos antes citados.

4.2.3.1 Normalizado

El normalizado de un metal consiste en el calentamiento de un material seguido de un enfriamiento a temperatura ambiente. Dentro de lo que es el proceso de normalizado, el material es llevado unos 50°C por encima de la temperatura crítica superior (temperatura límite del material donde llega el límite de endurecimiento al calentarse, identificado por un color rojo brillante). Después de un proceso de austenización interno, el material se enfría a temperatura ambiente con el objetivo de lograr una estructura más fina y homogénea que en otros tratamientos térmicos como puede ser el recocido.

El procedimiento consiste en calentar la pieza entre 30 y 50 grados Celsius por encima de la temperatura crítica superior para todos los tipos de aceros y fundiciones, después se debe mantener esa temperatura el tiempo suficiente para conseguir una transformación completa en austenita (perlita y ferrita). A continuación, se deja enfriar al aire para obtenerse una estructura uniforme.

El proceso depende directamente de varios factores. Dentro de los más importantes se podría destacar el no sobrepasar en exceso la temperatura crítica del material y que el tiempo expuesto a esta temperatura sea lo más corto posible. Además, se ha de intentar que el tiempo que tarda el material en llegar a la temperatura crítica sea rápido y que la velocidad de enfriamiento sea acorde con el material que se esté tratando.

El enfriamiento en aire del normalizado afecta de varias formas la transformación de la microestructura de la pieza. Sin embargo, como el enfriamiento de este proceso no se produce en condiciones de equilibrio, no se pueden predecir la cantidad exacta de ferrita o cementita que existirán a temperatura ambiente.

Se ha seleccionado el siguiente tratamiento térmico para ver cómo se comportan las probetas a los ensayos mecánicos y cómo sería su microestructura de la forma más acercada al estado natural de la unión.

Uso en el proyecto

En la realización del proceso de soldadura de las dos chapas sometidas a un tratamiento térmico de normalizado dentro de nuestro proyecto se realizarán los pasos siguientes:

- Lo primero que se ha de hacer es colocar las chapas encima de la mesa de trabajo con las dos superficies que se vayan a soldar casi en contacto (separadas por un pequeño espacio)
- Después, fijamos estas chapas a la mesa de trabajo con mordazas. La fijación ha de ser eficiente pero no se ha de exceder porque se podrían crear tensiones dentro de la unión soldada.
- Se realiza el cordón de soldadura y se deja enfriar a temperatura ambiente hasta que se pueda coger la pieza.

Una vez realizadas las siguientes piezas, se dispondrá de las dos chapas unidas y preparadas para sus posteriores trabajos donde se ha aplicado un tratamiento térmico de normalizado.

4.2.3.2 Recocido

Este proceso consiste en un calentamiento del metal hasta la temperatura de austenización (alrededor de los 900°C) con un enfriamiento lento a posteriori dentro del horno en el cual se ha calentado. Este tratamiento dota al material de un aumento en su elasticidad, pero disminuye la dureza. Hablando de la mecanización de piezas, el tratamiento térmico del recocido facilita su mecanizado al afinar el grano y ablandar el material, ya que elimina las tensiones internas.

Dentro de los tipos de recocido, podemos diferenciar tres grandes tipos:

- **Recocido de austenización completa o de regeneración**
En este proceso el calentamiento de la pieza se hace a una temperatura ligeramente superior a la crítica superior para asegurar la austenización completa de la microestructura del material. Una vez hecho esto, este proceso sirve para ablandar el acero y regenerar su estructura.
- **Recocido subcrítico de ablandamiento**
El objetivo principal, como su nombre indica, es el de ablandar el acero expuesto a este tratamiento de un manera rápida y económica. Se utiliza principalmente para mecanizar el acero y el proceso consiste en calentar el material hasta una temperatura inferior a la temperatura crítica para después enfriarlo al aire. Es un proceso bastante más rápido que otros recocidos donde se busca la austenización del material ya que no es preciso el enfriar la pieza dentro del horno.
- **Recocido de austenización incompleta (globulización)**
Es un tipo de tratamiento que suele tomar como objetivo aceros y aleaciones con un bajo contenido en carbono con el propósito de ablandar la pieza y mejorar su maquinabilidad. Este proceso consta de una serie de calentamientos prolongados con temperaturas intermedias entre la crítica superior (límite de endurecimiento) y la crítica inferior (temperatura por debajo de la cual, si se calienta durante algún tiempo la perlita laminar, el cementita adopta la forma de glóbulos incrustados en la masa de ferrita, recibiendo entonces la denominación de perlita globular). Por otra parte, a veces se realiza este proceso con un intervalo de ciclos que oscilan entre temperaturas superiores a la transformación de la austenita e inferiores para un posterior enfriamiento en el horno.

De este modo, se consigue la menor dureza posible y una estructura microscópica favorable para la mecanización de las piezas.

Uso en el proyecto

Dentro del proyecto, hemos optado por la elección de un recocido con austenización completa ya que lo que nos interesaba era ver cómo se comportaba el material después de aplicarle un tratamiento térmico de recocido donde se realiza un proceso de austenización.

El orden de los pasos a realizar será el siguiente:

- Primero, se colocarán los materiales base dentro de un horno especial y se fijará la temperatura del horno hasta alcanzar el valor de 900°C.
- Después, el usuario previsto de unas pinzas y guantes y peto térmicos sacará las piezas del horno con extrema precaución y los colocará encima de la mesa de trabajo.
- Posteriormente, se realizará el proceso de soldadura con la mayor rapidez posible.
- Por último, se volverá a colocar la unión soldada dentro del horno y se apagará para dejar enfriar la muestra de una forma lenta.

De esta manera, al sacar de nuevo las piezas del horno, el material habrá estado expuesto a un tratamiento de recocido adecuado y su microestructura y comportamiento mecánico se habrán visto afectados.

4.2.3.3 Pre calentamiento

El siguiente tratamiento térmico tiene como objetivo el reducir la velocidad de enfriamiento en el proceso de soldadura con la finalidad de modificar la microestructura del material y modificar el nivel y la distribución de las tensiones residuales presentes por la realización de tal proceso.

Hablando de la temperatura de pre calentamiento óptima, esta es la mínima necesaria que ha de ser alcanzada en todo el espesor del material. Suele estar entre la temperatura ambiente y los 450°C, pero puede llegar a alcanzar los 600-700°C en algunos casos. Esta temperatura debe estar balanceada con el calor aportado por el arco voltaico durante el proceso de soldadura y debe ser acorde con el tipo de acero y las propiedades mecánicas que se buscan para la unión soldada.

Cabe decir que existe una relación muy cercana entre el proceso térmico del pre calentamiento y el término de soldabilidad (cualidad de los metales o aleaciones para formar uniones soldadas con unas mejores o peores propiedades mecánicas). Es decir, para fijar las condiciones del proceso de pre calentamiento se debe tener un conocimiento de la soldabilidad del metal a unir.

Dentro de lo que es nuestro proyecto, se realizará un pre calentamiento del material base hasta unos 450°C para su posterior enfriamiento dentro de una vasija de porcelana.

Uso en el proyecto

Dentro de lo que es nuestro proyecto, se realizará un pre calentamiento del material base hasta unos 450°C para su posterior enfriamiento dentro de una vasija de porcelana.

En lo que el uso de este tratamiento térmico supone, las muestras de material base destinadas a que se le realice un proceso de pre calentamiento han seguido una serie de pasos durante el proceso de soldadura:

- Primero, se realiza un calentamiento de las dos chapas dentro del horno hasta alcanzar una temperatura de unos 450°C.

MEMORIA

- Luego, se sacarán las chapas calentadas y se posicionarán en la mesa de trabajo de modo que las superficies a soldar estén casi en contacto.
- Se realizará el proceso de soldadura mediante arco voltaico de tipo MAG.
- Se dejarán enfriar la unión soldada en una vasija de porcelana para que la velocidad de enfriamiento no sea tan alta.

Una vez seguido estos pasos, se dispondrá de una unión soldada a la cual se le ha aplicado un tratamiento térmico de normalizado correctamente.

5 ELABORACIÓN DE LAS PROBETAS DE ENSAYO

5.1 Introducción

En este punto se tratará de explicar el proceso de elaboración de las probetas del material unido mediante un proceso de soldadura por arco eléctrico. De este modo, se va a describir todas las partes del proceso desde la obtención de las láminas de material base hasta la creación de las probetas utilizadas tanto en el análisis de su microestructura como en los ensayos de dureza y tracción.

Dicho esto, este apartado queda dividido en los siguientes apartados dispuestos según el orden de realización dentro de la estructura del proyecto expuesto:

- Preparación del material base para la realización del proceso de soldadura
- Proceso de soldadura
- Corte de las piezas y elaboración de las probetas

Una vez realizado todos estos procesos se dispondrá de las probetas necesarias para sus posteriores ensayos.

5.2 Preparación del material base

Dentro de este punto, se va a narrar cómo ha sido el proceso de preparación de ambas chapas para su posterior proceso de soldadura. Por tanto, los puntos analizados dentro de lo que corresponde a la preparación del material base son:

5.2.1 Obtención del material

Hablando de la obtención del material, lo que abarca la compra de las chapas para la realización del proceso, cabe decir que toda la compra ha corrido a cargo del departamento de ciencia de los materiales de la universidad politécnica de Valencia. De esta manera, una vez concretada la lista de materiales necesarios para el proyecto, el tutor del trabajo de fin de grado se puso en contacto con el encargado de realizar las operaciones comerciales dentro del mismo departamento para que hiciese el pedido.

Dentro del proyecto, el material necesario eran una chapa de acero F-1140 con espesor de 3 mm, una chapa de fundición laminar del mismo espesor y el material de aporte que se utilizaría dentro de lo que es la práctica por parte del estudiante y el proceso final de soldadura (en nuestro caso hilo de acero F1110). Sin embargo, surgió el problema de que el espesor mínimo de la fundición laminar era de 6 mm y supuso la realización del proyecto con dos espesores distintos.

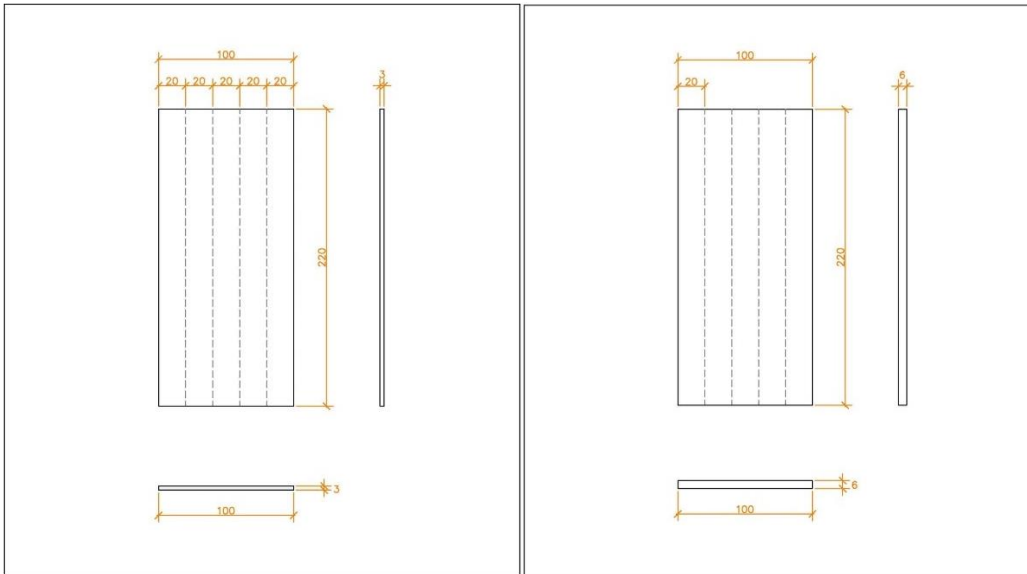
Una vez comprado el material, éste se dividió en tres partes de forma que se destinase un tercio de cada chapa a la creación de las probetas correspondientes.

5.2.2 Corte previo con cizalla al proceso de soldadura

Con las chapas ya en el laboratorio, el siguiente punto es la elaboración de tres partes iguales de ambos materiales para destinar cada una de las divisiones a su respectivo tratamiento térmico.

MEMORIA

Para ello, lo primero que se hizo fue medir la longitud y el ancho total de las piezas junto con el espesor de cada una. De esta forma, obtenemos unas dimensiones iniciales de 220x100x3 mm hablando de chapa de acero F-1140 y, por otra parte, unas dimensiones de 220x100x6 mm en el material de fundición laminar. Las chapas de material base quedarán de la siguiente forma:



Como se ha dicho, la necesidad del proyecto solicita que se realice una división en tres partes. Por tanto, la longitud inicial se dividirá en tres segmentos obteniendo unas longitudes aproximadas de unos 75x100x3 mm en el acero F-1140 y de 75x100x6 mm en la fundición laminar.

Para ello, se utilizará una cizalla manual fijada a una mesa de trabajo localizada dentro de lo que son las instalaciones donde se va a realizar el proceso de soldadura. La utilización de este método de corte dentro del proyecto viene dada por la rapidez y facilidad a la hora de cortar, además de que nos permitirá abaratar costes al utilizar una herramienta ya proporcionada por el propio departamento de materiales.

Sin embargo, como se ha citado en los anteriores párrafos, el objetivo era de obtener unas dimensiones aproximadas ya que, aunque este método sea rápido y fácil de usar no dispone de una precisión exacta a la hora de la realización del corte.

El método para el corte será el siguiente.

- Primero, marcamos las piezas con tiza por los tramos que se quiera cortar. Se realizan líneas perpendiculares a la longitud de 220 milímetros.
- Después, se coloca la chapa entre el soporte y filo de la cizalla de tal forma que la hoja de metal que realice el corte y el recorrido de la chapa marcado con tiza se sitúen uno encima el otro.
- Una vez hecho esto, se realizará una fuerza por parte del usuario para que la hoja de la cizalla ejerza presión en la chapa.
- Se repite el proceso las veces necesarias

Una vez realizado este proceso, se dispondrá de las chapas cortadas para someterlas a un posterior proceso de soldadura.

5.2.3 Proceso de soldadura

Con las chapas preparadas para el proceso de soldadura, se dispondrá a realizar la unión soldada de los dos materiales base. El proceso de soldadura utilizado es mediante la formación de un arco eléctrico del tipo MAG (Metal Active Gas).

Como se ha explicado en su anterior punto, ha cada una de las chapas se le aplicará un tratamiento térmico distinto para su posterior estudio de las características mecánicas y análisis de la microestructura. Esta vez, para aprovechar de una manera más eficiente las dimensiones de las chapas, se soldarán por el lado de la chapa de 100 mm de longitud.

Una vez realizado el proceso de soldadura, se procederá a reducir el espesor del cordón mediante una amoladora radial Bosch para poder observar con una mayor claridad su microestructura y reducir el escalón entre la diferencia de espesor que presenta la fundición laminar y el acero F-1140.

5.2.4 Corte de las uniones soldadas y elaboración de las probetas

Posteriormente al proceso de soldadura, se habrá obtenido un conjunto de tres uniones soldadas entre el acero F-1140 y el material de fundición laminar. A continuación, se procederá a realizar el último paso que finalizará con la creación de las probetas para la realización de ensayos.

Dentro de este paso se realizará el corte de la unión soldada de unos 100 milímetros de longitud en 5 partes. Para ello, dentro de este proyecto se ha hecho uso de una sierra mecánica localizada dentro de lo que son las instalaciones del departamento de materiales de la universidad politécnica de valencia. El uso de esta sierra mecánica en lugar de la cizalla manual utilizada en los pasos anteriores es porque al realizar una fabricación de piezas donde el ancho máximo de ellas es de 20 milímetros se necesitaba una herramienta que pudiese cortar de forma más precisa.



Dentro de este proceso se pueden diferenciar varias etapas o pasos que se ha de realizar:

5.2.5 Marcado de las piezas

Las piezas se situarán encima de una mesa de trabajo y, de forma precisa, se marcará el trayecto que posteriormente será cortado. Estas líneas se realizarán cada 20 milímetros de la longitud total dividiendo el total en tres series de 5 partes cada una. Cabe decir que durante la realización de los tramos se ha de utilizar un útil donde la calidad de la tinta sea lo suficientemente buena para que la marca no se borre al entrar en contacto con la lubricación de la sierra mecánica ya que podría dar lugar a confusión si la tinta se diluye durante la realización del primer tramo.

A su vez, cada tramo individual se marcará con un símbolo significativo del proceso de tratamiento térmico aplicado para evitar la confusión a la hora de guardarlas.

5.2.6 Corte de las piezas

Una vez las piezas están marcadas y listas para someterse al corte de la sierra mecánica, se colocará la unión soldada dentro de los topes y se ajustarán estos para que la pieza esté fija y no pueda desplazarse durante el corte. A su vez, se dispondrá la pieza de tal forma que la marca anteriormente realizada se sitúe lo más próxima al centro de esta ya que al cortar la pieza se deberá tener en cuenta el diámetro de la sierra (el espesor de la hoja es de unos 2 mm) y, de este modo, realizar unas divisiones lo más equivalentes posibles.

Dicho esto, presionaremos el botón de encendido y cerraremos la cubierta para evitar que el líquido lubricante se salga de la máquina.

A la hora de realizar los cortes, se irá tirando de una palanca situada al lado de la máquina lentamente ejerciendo una fuerza constante. Realizando de forma cuidadosa este proceso, se evitarán enganches de la sierra con el material a cortar y el propio corte en lo que es la base de la máquina. Se repite este proceso hasta terminar con la división de todas las uniones soldadas. Se repite este proceso hasta terminar con la división de todas las uniones soldadas.

5.2.7 Secado y almacenamiento de las probetas

Por último, se secarán las probetas después de haber sido cortadas para prevenir la formación de óxido en el material, se volverán a marcar para diferenciarlas y se almacenarán en recipientes con cierre hermético para protegerlas hasta la realización de los ensayos.



6 MICROGRAFÍA

Una vez visto todo el proceso que conlleva la creación de las muestras de la unión soldada, se va a pasar a realizar un análisis de ellas para ver cómo han afectado los tratamientos térmicos a su estructura cristalina.

6.1 Introducción

La ciencia que estudia el análisis de la estructura de los materiales es la metalurgia. Es decir, su definición sería la ciencia que estudia la estructura básica de metales y aleaciones. La estructura del metal o aleación estudiado es la que establece prácticamente todas las propiedades del material.

Esta estructura viene dada por los enlaces de los átomos formados, en el caso de los metales el nombre que se le corresponde a esta unión es la de enlace metálico.

Los metales son elementos químicos cuya característica principal es que los átomos se agrupan siguiendo un orden definiendo estructuras geométricas (cada átomo tiene una posición fija dentro de ellos) y la rotura de los enlaces entre ellos conlleva una cierta dificultad. Además, la posición de los átomos en estado sólido es propia de cada metal.

El estudio de la estructura de los materiales posee un papel muy importante en la caracterización y los usos de cada material. Sabiendo cual va a ser el tamaño del grano (constituyentes que lo forman) y cuales van a ser sus propiedades mecánicas y químicas.

6.2 Proceso de preparación

A continuación, se va a narrar cómo se han preparado las muestras una vez realizada la unión soldada entre los materiales base para poder realizar el análisis de la microestructura.

Por tanto, el orden seguido será el siguiente:

6.2.1 Corte de la muestra de estudio

Una vez tenemos las muestras preparadas donde cada una se le corresponde un tratamiento térmico aplicado, se dará paso a la preparación de la probeta que se estudiará. Para ello, dentro del análisis ha de quedar expuesta la unión soldada, por lo que esta será la zona de donde se partirá a la hora de realizar la preparación.

Al tener que someterse a un proceso de embutido, el diámetro del cabezal de la empastilladora (3mm) será el tamaño máximo al que se deba trabajar. Por tanto, será necesario el corte de las muestras para que sea posible el proceso. El diámetro del cabezal de nuestra

Para ello, se volverá a pasar la muestra por la sierra mecánica manual para reducir su longitud. Se realizará un corte transversal para estudiar la unión soldada.

Una vez hecho esto, la pieza estará preparada para el siguiente paso.

6.2.2 Montaje y conformado de la probeta

Una vez la muestra está cortada, se realizará un proceso de empastillado donde se mezclará la muestra con un compuesto formado por materiales plásticos termoendurecibles. Este proceso consiste en embutir la probeta con un producto termoendurecible de forma que el conjunto sea manejable para el estudio de la microestructura.

La empastilladora automática utilizada será el modelo "IPA EVOLUTION" de la empresa Remet y el material utilizado para conformar la probeta será el Polimetilmetacrilato (Resina sintética que posee el aspecto del vidrio) de la empresa TransOptic.



Para ello, los pasos a seguir son los siguientes:

- Se coloca la muestra en un portapiezas y se sitúa en la hendidura de la empastilladora automática. Para mayor facilidad, se accionará el pistón hidráulico hasta llegar al borde para una colocación más fácil.
- Luego, se volverá a bajar el pistón hasta que este quede a una altura coherente para el volcado del Polimetilmetacrilato. Es importante el cálculo de la altura deseada para la probeta porque el excederse o contenerse a la hora del volcado del compuesto podría suponer un mal empastillado y tener que repetir el proceso.
- Después, se cerrará herméticamente el hueco para la colocación de la pieza hasta que esté bien sellado y se accionará el cilindro hidráulico hasta el tope para que el material esté bien prensado.
- Encendemos la máquina y aparecerán dos valores en rojo y verde (correspondientes a la temperatura deseada y la temperatura actual).
- El proceso de empastillado depende del tamaño y la cantidad de polímero que se vuelque para conformar la probeta. Pero el valor de la temperatura de la pieza debe de alcanzar el valor teórico y después ambos disminuir hasta el valor de la temperatura ambiente. Durante el proceso de espera, se estará realizando el conformado de la probeta.
- Una vez la temperatura haya disminuido hasta el valor ambiental se accionará el pistón para extraer la probeta.
- Apagamos la máquina.

Una vez realizados estos pasos, la probeta estará lista para avanzar al siguiente proceso.

6.2.3 Desbaste y pulido metalográfico de la probeta

Con la probeta ya conformada, se dará paso al pulido de la superficie que, posteriormente, se estudiará su estructura. Para ello, se someterá la pieza a un proceso de desbaste. El proceso de desbaste de la superficie de estudio de la probeta consiste en la eliminación de posibles capas innecesarias que pudiesen existir sobre la muestra mediante el contacto con una serie de superficies con abrasivos.

Dentro del proyecto se someterá a la pieza a una serie de procesos de desbaste progresivos realizando un cambiando la posición de la probeta unos 90 grados para conseguir una total eliminación de impurezas y evitar las rayas en la superficie.

Los útiles empleados serán tres platos giratorios donde se colocará un papel de lija con distinto grosor de grano, siendo el grosor de 220 μm , 500 μm y un abrasivo de pasta de diamante de 3 μm en la última fase (pulido de la superficie). Además, para el desbaste de la probeta se utilizará agua para reducir la fricción del material con la lija.

El proceso se divide principalmente en tres fases:

Desbaste inicial

Fase inicial cuyo objetivo es el de crear un plano en la cara expuesta de la probeta provocado por la presión que ejerce la probeta sobre la lija. Durante este proceso se colocará la probeta de tal forma que la rotación de la lija incida en la misma dirección que el sentido de la probeta.

A su vez, mientras que se esté efectuando este proceso de desbaste no se ha de ejercer demasiada presión ya que se podrían crear planos inclinados en la superficie de estudio.

Desbaste Intermedio

Fase previa al proceso de pulido. Durante esta fase se utiliza un papel de lija de grano más fino que en el desbaste inicial. Para ello, se girará la pieza 90° de tal forma que las rayas creadas por el papel de lija sean perpendiculares a la superficie.

Pulido

Una vez se han eliminado suficientes capas de superficie mediante el proceso de desbaste, se pasará a pulir la superficie para su posterior análisis de la microestructura. El proceso consiste en conseguir el mejor acabado de una superficie haciéndola lo más plana y brillante posible.

Para ello, se utilizará una pasta de diamante que, colocada en la lija, hará la función de abrasivo en la probeta. A su vez, se irá alternando la dirección de la pieza para evitar rayaduras creadas en pasos anteriores.

Una vez hecho esto, se obtendrá una probeta en perfecto estado para su análisis de la microestructura.

6.2.4 Ataque de la pieza

Una vez la superficie de la pieza esté pulida, se procederá a realizar un ataque químico. El principal objetivo de este proceso es mejorar la visualización de las características principales de la estructura de la probeta donde se pueda diferenciar claramente las diferentes partes de la estructura cristalina. Para ello, se utilizará un ácido disuelto en alcohol, agua u otros solventes.

Para nuestro proyecto se utilizará una solución de alcohol y ácido nítrico bastante utilizada en los procesos de ataque químico de los metales denominada Nital 3 cuyo contenido en ácido nítrico es de un 3%.

Para realizar un correcto ataque químico a la probeta se han de seguir los siguientes pasos:

- Primero, se prepararon dos recipientes con el reactivo químico y alcohol.
- Luego, la superficie que se desee atacar de la probeta se pondrá en contacto con el nital para que esté disuelto ataque químicamente a la estructura y se mantiene por un tiempo de unos 5-10 segundos para asegurarse de que la probeta ha sido atacada. Es muy importante no excederse en el tiempo de exposición ya que podría dañar la pieza.
- Posteriormente, se enjuaga la pieza con agua y jabón para limpiar el reactivo.
- Por último, se pone en contacto la superficie atacada con el alcohol para eliminar por completo los restos de Nital y se seca con fibra o papel absorbente.

Se repetirá el anterior proceso para cada una de las probetas y, se dispondrá a realizarse el análisis de la microestructura.

6.2.5 Análisis de la microestructura

Con las probetas ya atacadas químicamente, se colocarán en el microscopio para una observación de la estructura cristalina de los metales soldados. Posteriormente, mientras se vayan analizando las probetas, se irán tomando fotos de estas a través de un software desarrollado para la toma de éstas.

El modelo de microscopio utilizado es el creado por la empresa Nikon "MICROPHOT-FX" dotado con 4 objetivos con diferentes aumentos que cubren un rango desde los 50x aumentos hasta los 400x. Aunque durante el proyecto se trabajará como mínimo con 100x aumentos. Además, este dispositivo está dotado con luz verde que mejora la resolución de la imagen.

El proceso de análisis será el siguiente:

- Primero, se pone un portamuestras fijado con dos pinzas en la pletina del microscopio.
- Una vez esté fijada el portamuestras, se coloca la probeta encima. Es importante que la probeta sea colocada sin ocasionar golpes o arañazos ya que este tipo de dispositivos son bastante delicados. Para ello, se ajustará la altura mediante el dispositivo de enfoque formado por dos partes, una rueda gruesa para desplazar

la pletina con mayor rapidez y otra más fina para realizar movimientos más precisos.

- Después, utilizando los oculares del microscopio, se enfoca la pieza haciendo uso nuevamente del dispositivo de enfoque.
- El usuario se desplaza a través de la probeta mediante dos ruedas que permiten realizar movimientos en los cuatro sentidos.
- En el caso de que se necesitare un aumento mayor, cambiar el objetivo utilizando una pieza giratoria denominada revólver y volver a enfocar la imagen.
- Por último, mediante el software del ordenador conectado al microscopio, se tomarán las fotografías necesarias ajustando el enfoque y el brillo si es necesario.

Durante la realización de este proyecto se han tomado diversas fotos para las tres probetas sometidas a diferentes tratamientos térmicos. Cada probeta ha sido analizada tanto en las partes de material base y la interfase entre dicho material con el cordón de soldadura como en el propio cordón de soldadura.

De este modo, se podrá representar el desarrollo que ha sufrido la microestructura de la unión en toda la probeta.

6.3 RESULTADOS

6.3.1 Normalizado (Temperatura Ambiente)

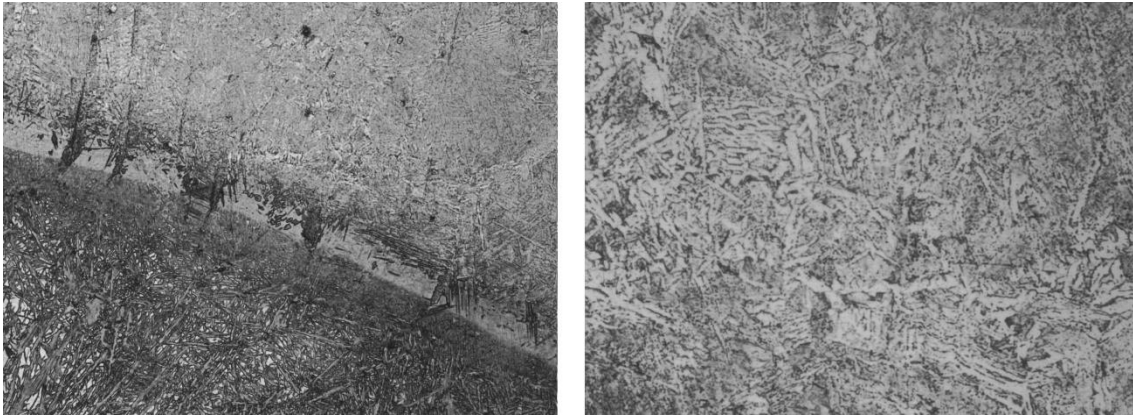
La primera probeta posee la microestructura de una unión soldada en estado natural dejada enfriar a temperatura ambiente .

Material Base (Acero F-1140)



El material base presenta una estructura ferrítico-perlítica donde la perlita (rayas negras) tiene una alineación horizontal propia del acero laminado. Esta es la estructura típica de las láminas de acero que se encuentran en el mercado.

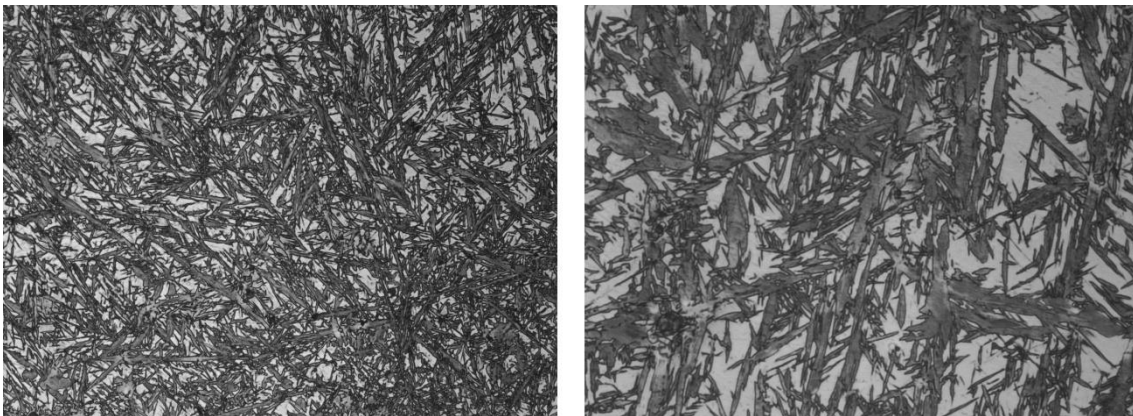
Interfase entre Acero F-1140 y Cordón de soldadura



Al observar la zona de transición entre el material base y el cordón de soldadura, se puede ver cómo se diferencia una línea de transición muy marcada. A su vez, el material base del acero cercano posee también una estructura ferrítico-perlítica. Sin embargo, la perlita ha perdido su forma laminada y se ha convertido en granos equiaxiales (deformes).

Una vez en la interfase, el material sufre una transformación hasta convertirse en martensítica.

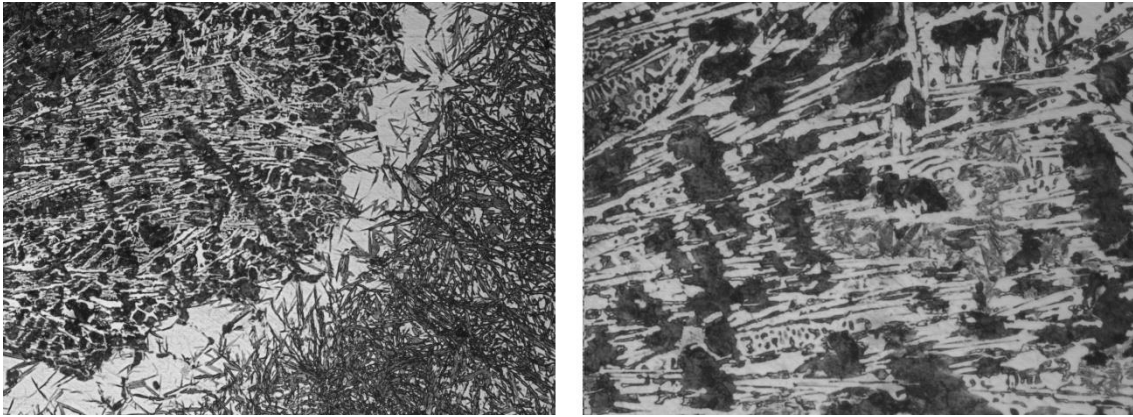
Cordón de soldadura



Analizando la microestructura dentro del cordón de soldadura, se puede observar claramente como es una estructura martensítica pura. Este microconstituyente se caracteriza por poseer una elevada dureza y su forma de aguja.

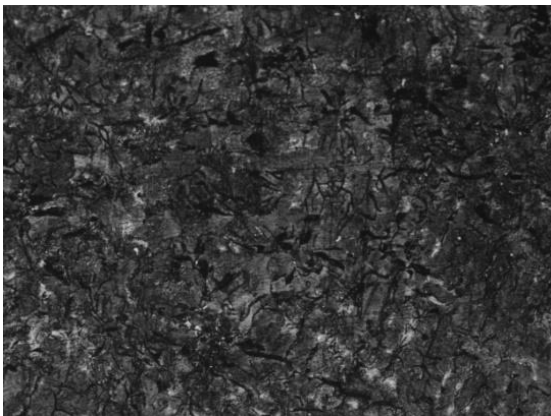
La estructura martensítica posee una elevada dureza y la rotura del material es frágil.

Interfase entre fundición laminar y cordón de soldadura



Una vez llegado a la interfase entre el cordón de soldadura y el material base de fundición laminar, se puede observar como también posee una clara línea de transición. En la zona del material base próximo a la interfase se crea una estructura de fundición blanca (carburo de hierro-cementita y perlita). Además, se puede observar la aparición de ledeburita que no se ha podido transformar por falta de tiempo a la hora de enfriar.

Material Base (Fundición laminar)



Por otra parte, el otro material base presenta una estructura laminar perlítica con pequeños tonos de ferrita (sigue teniendo una matriz ferrítica). A su vez, se puede observar la existencia de láminas de grafito propias de este material.

Conclusión

La microestructura de esta probeta demuestra cómo por una parte el material base de acero F-1140 ha ido transformándose de una estructura ferrítico-perlítica laminada a una estructura martensítica pura mediante una transición claramente marcada. Los precipitados de perlita pasarán de poseer una estructura laminada orientada de forma horizontal a un aspecto equiaxial donde la forma del precipitado es deforme.

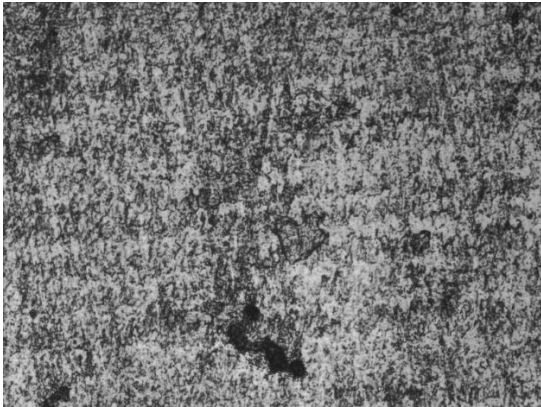
Por otra parte, la fundición laminar pasará de poseer una estructura perlítica con matriz ferrítica y trazos de grafito a una estructura martensítica pasando por la creación de una

estructura de fundición blanca y la aparición de algunos precipitados de ledeburita por falta de tiempo. El proceso de transición está claramente marcado y se pueden diferenciar las dos zonas.

6.3.2 Recocido

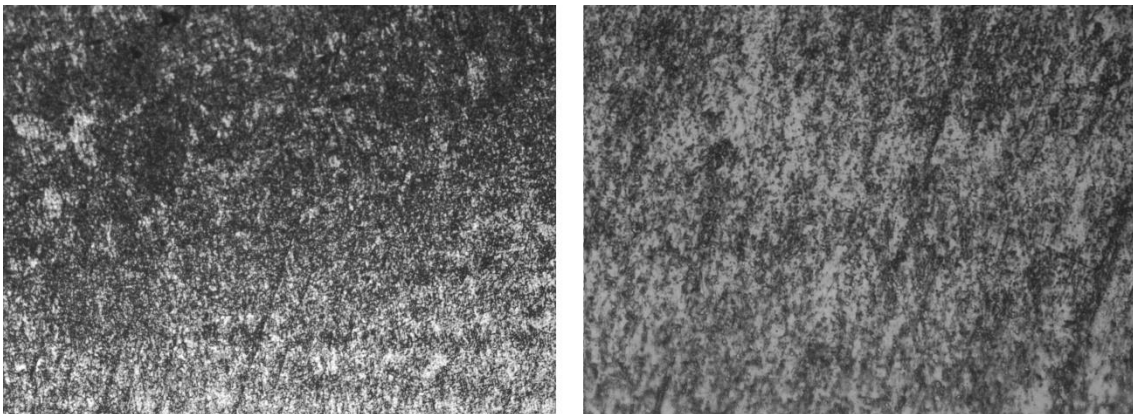
La segunda probeta estudiada es la que ha estado expuesta a un tratamiento térmico de recocido.

Material Base (Acero F-1140)



Al someterse a un tratamiento térmico donde se calienta el material hasta elevadas temperaturas, la estructura se ha transformado en perlita fina y como consecuencia del calor aportado en el proceso el acero ha perdido el laminado.

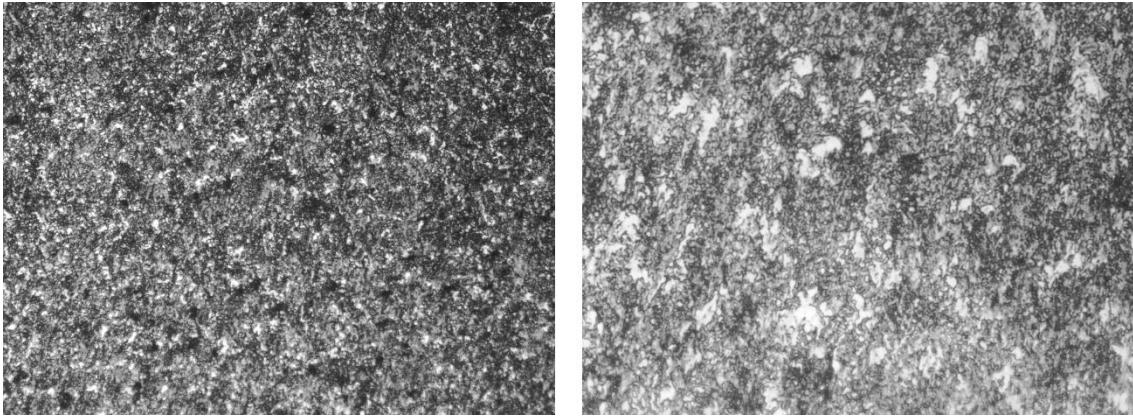
Interfase entre Acero F-1140 y Cordón de soldadura



Como se puede observar en las siguientes imágenes, la transición en posee una línea marcada entre el material base y el cordón de soldadura. El acero cercano a esta zona está compuesto por perlita fina en matriz ferrítica.

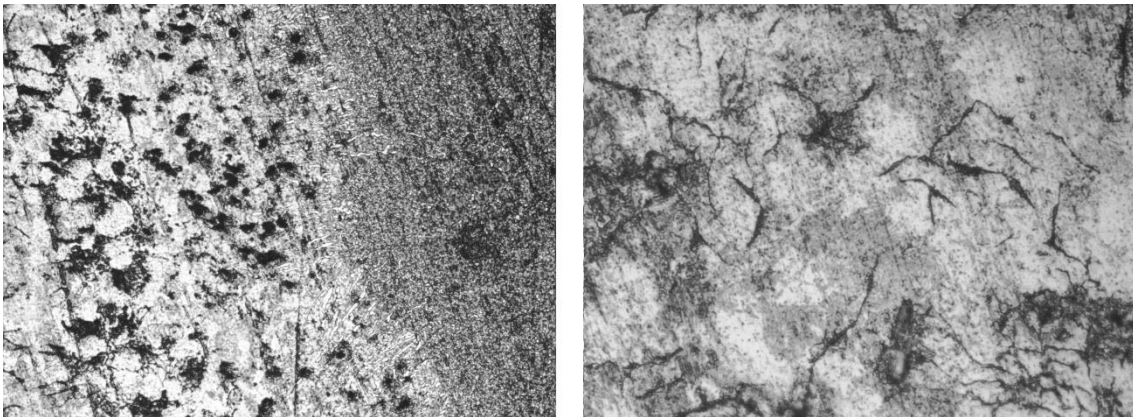
Por otra parte, vemos como existen precipitados de perlita gruesa debido a que no le ha dado tiempo a transformarse. Esto es debido a que se está utilizando materiales con un elevado porcentaje de carbono y necesitan un tiempo mayor de enfriamiento para la transformación de algunos de sus microconstituyentes.

Cordón de soldadura



Hablando de la estructura cristalina del cordón de soldadura, éste está formado por perlita fina con algunos posibles trazos de vainita fina.

Interfase entre fundición laminar y cordón de soldadura



Una vez llegados a la zona de transición entre la fundición laminar y el cordón de soldadura, se puede observar como el material está formado por perlita fina. A su vez, el material de fundición cercano a la interfase, poseerá una estructura ferrítico-perlítica con la aparición de perlita gruesa.

La zona de interfase tampoco está demasiado marcada.

Material Base (Fundición laminar)



La estructura del material base se ha transformado de una estructura laminar perlítica con pequeños tonos de ferrita a una estructura ferrítica donde se mantienen algunos precipitados de perlita. Además de algunos trazos de grafito.

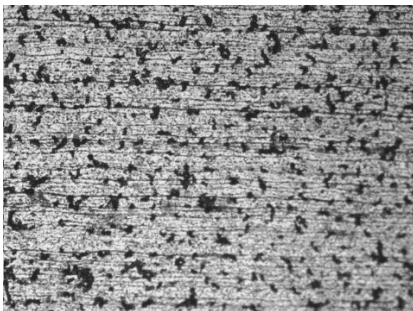
Conclusión

Una vez analizada la estructura en diferentes zonas de la probeta se puede observar cómo aplicando un tratamiento térmico que aumente el aporte energético en forma de calor y eleve el tiempo de enfriamiento ha permitido homogeneizar la estructura cristalina de todas las partes de la probeta. Es así cómo tanto en las dos interfases cómo en el centro del cordón de soldadura predomine la aparición de perlita fina.

Además, al someter el material base a un calentamiento previo al proceso de soldadura la estructura inicial de ambos materiales ha sufrido cambios (perdiendo su estructura laminar y transformándose en perlita fina por parte del acero y transformando una estructura perlítica en una estructura donde predomina la ferrita por parte del material de fundición)

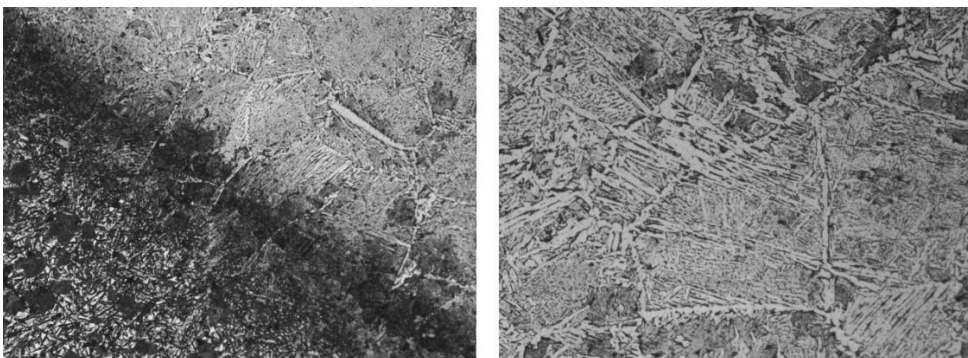
6.3.3 Pre calentamiento (450°C)

Material Base (Acero F-1140)



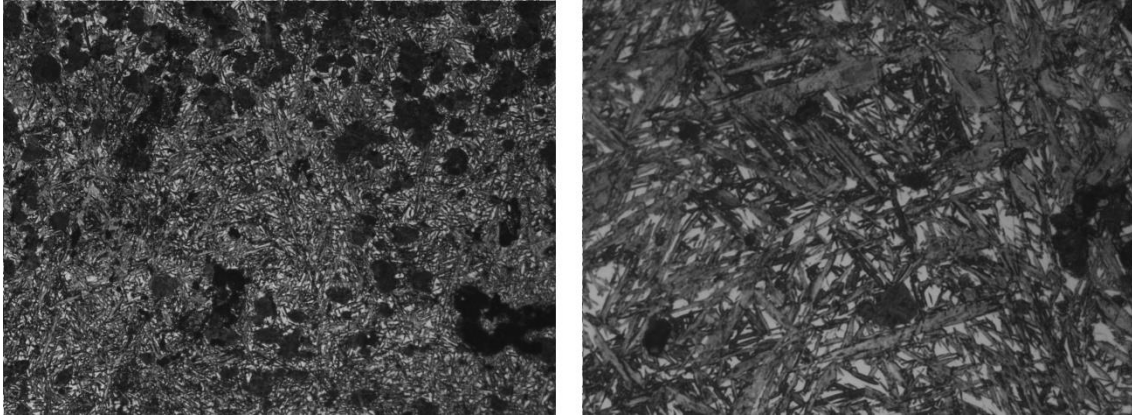
Analizando la estructura del material base del acero F-1140, se puede observar cómo se mantiene la estructura ferrítico-perlítica laminada cómo en la probeta sometida al normalizado. Sin embargo, han aparecido precipitados de perlita gruesa una vez se va acercando a la interfase.

Interfase entre Acero F-1140 y Cordón de soldadura



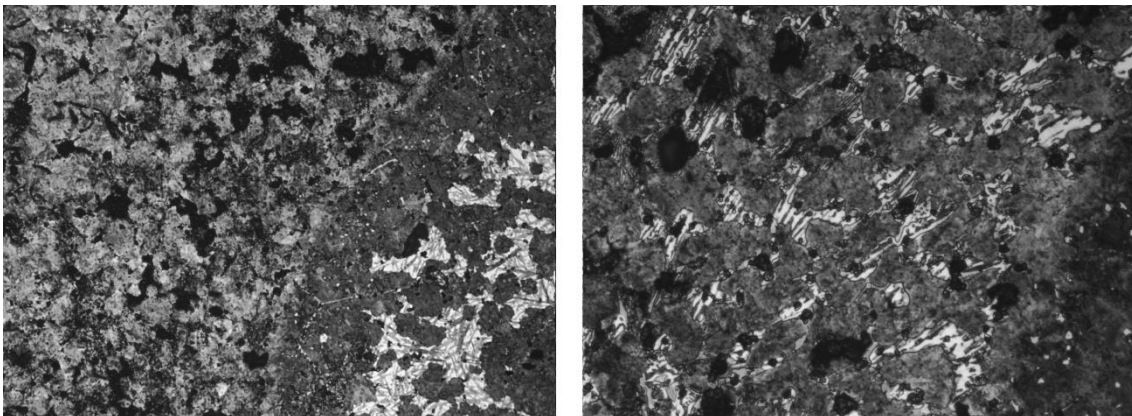
Dentro de lo que es la interfase entre el material base del acero F-1140 con el cordón de soldadura se vé cómo el material de aporte coge un aporte de carbono y forma una estructura mezclada entre perlita fina con algunos precipitados de perlita gruesa en una matriz ferrítica.

Cordón de soldadura



Dentro del cordón de soldadura se produce una estructura formada por martensita y precipitados de vainita que no ha llegado a transformarse en martensita. Cómo se puede observar, la martensita posee una forma de agujas gruesas mientras que la vainita son pequeñas rayas orientadas con un ángulo de 60° aproximadamente.

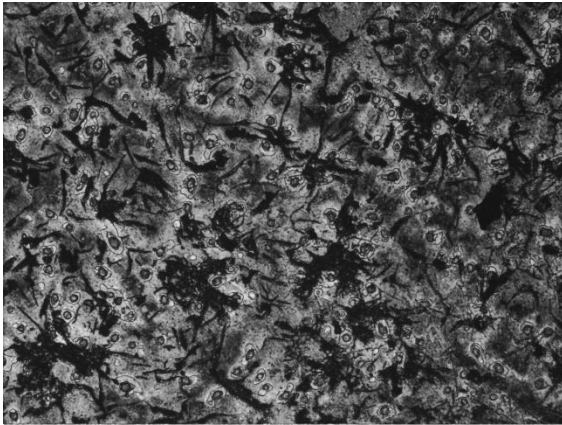
Interfase entre fundición laminar y cordón de soldadura



Dentro de la interfase entre el cordón de soldadura y el material base de fundición laminar, se puede observar cómo la zona se caracteriza por poseer una estructura perlítica con algunos precipitados de bainita. A su vez, la fundición cercana a la interfase ha pasado de tener una estructura laminar a una maleable (precipitados de perlita deformes).

Hablando del aspecto de la zona de transición, se puede ver la diferencia entre el material base y el cordón de soldadura claramente.

Material Base (Fundición laminar)



Cómo se puede observar, la estructura del material de fundición laminar no ha sufrido grandes cambios en comparación con la sometida al tratamiento térmico de normalizado. Analizando su estructura, ésta sigue caracterizada por ser una fundición laminar perlítica en matriz ferrítica y láminas de grafito. A su vez, sí que se puede observar el aumento de precipitados de ferrita dentro de la zona.

Conclusión

El material ha sufrido ciertos cambios comparando con el normalizado. Por una parte ha surgido la aparición de perlita gruesa en algunas zonas del acero F-1140 y, por otra, la fundición laminar ha sufrido un aumento de ferrita en su estructura. Sin embargo, la estructura del cordón de soldadura sigue caracterizada por la aparición de martensita, aunque con precipitados de vainita.

Las interfases producidas entre los dos materiales base y el cordón de soldadura están claramente marcadas y se puede diferenciar las dos partes por lo que a primera vista parece una línea de separación.

6.3.4 Comparación de resultados

Al comparar los resultados obtenidos analizando la microestructura de las probetas sometidas a diferentes tratamientos térmicos, se puede observar como la aplicación de un tratamiento térmico donde se aporta una cierta cantidad de calor previa y se disminuya la velocidad de enfriamiento puede provocar cambios dentro de lo que viene siendo la microestructura del material.

Como se puede ver en el caso del recocido, se ha producido una homogeneización de las zonas predomina la perlita fina. Además, la estructura martensítica que caracterizaba el cordón de soldadura ha desaparecido.

Por otra parte, en el material base de fundición laminar ha provocado la aparición de una estructura ferrítica en lugar de perlítica .

En el caso del precalentamiento, no se han producido cambios significativos en lo que viene siendo la estructura cristalina de las zonas estudiadas. Pequeños cambios como la aparición de vainita y perlita fina en zonas como la interfase del acero (y en el cordón) y

MEMORIA

el cambio de fundición laminar a maleable en la interfase opuesta vendrían a ser los cambios más significativos comparando este proceso con el estado natural de la unión soldada del proceso de normalizado.

En resumen, se puede ver como la aplicación de tratamientos térmicos en el proceso de soldadura provoca cambios significativamente grandes dentro de la microestructura del material. Dependiendo del uso que se le quiera dar al material, convendría o no aplicarle un tratamiento térmico para la ganancia de propiedades o pérdida de ellas.

7 ENSAYO DE DUREZA

7.1 Introducción

Se entiende el término dureza como la capacidad que proporciona un material a ser rayado o penetrado y va directamente ligado con la resistencia del material a torcerse o deformarse, es decir, a su límite elástico. La dureza es una condición de la superficie del material.

Existen varios métodos para la medición de la dureza en los materiales, pero por norma general consisten en producir una deformación en una zona del material aplicando una carga en una zona localizada mediante un indentador (extremo de una máquina de ensayo de dureza con forma puntiaguda) y aplicarle una escala que categorice mediante un valor si el material es duro o no.

Al ser una capacidad que define la resistencia al rayado o al penetrado, dependerá de la estructura cristalina del material. Por tanto, si la estructura del material está formada por un grupo de átomos con mayor cohesión entre ellos, el material poseerá una mayor dureza.

La obtención de estos valores se clasifica según la aplicación de la carga al material. Estos son:

Ensayos estáticos

Ensayos donde la carga dirigida al material se aplica de forma estática o cuasi-estática. Durante la realización de estos ensayos la carga se aplica de una manera lenta y progresiva sobre el indentador que presiona en la superficie durante un periodo de tiempo. El valor proporcionado por este tipo de ensayos viene dado por un cociente entre la carga aplicada al indentador y el área de la huella (marca) que éste haya creado en la superficie.

Algunos de estos métodos son el Brinell, Vickers y Knoop. Además del ensayo Rockwell donde se mide la profundidad del indentador en el material.

Ensayos dinámicos

La carga se aplica con inercia en forma de impacto. En este caso, el indentador es lanzado hacia la superficie del material que recibirá el impacto y el valor de dureza vendrá dado a partir de la energía con la que el penetrador rebota.

Dentro de los ensayos dinámicos de dureza, el valor obtenido es directamente proporcional a las propiedades elásticas que posea el material. Estos resultados se han de comparar con otros materiales donde las propiedades elásticas sean iguales o, por otro lado, es necesaria la calibración del instrumento de medición antes de realizar cada ensayo.

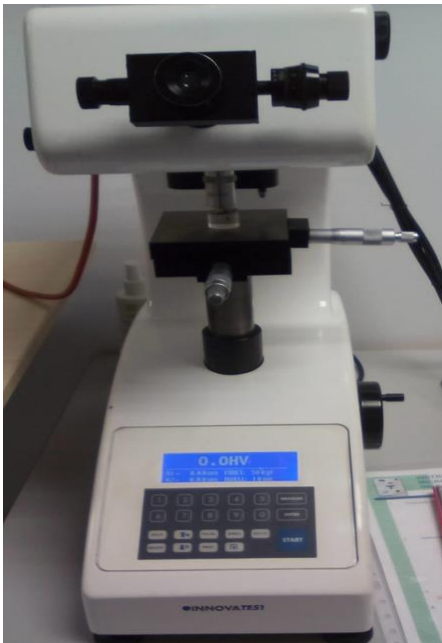
El método de Poldi o el UCI (Ultrasonic Contact Impedance) son los más representativos de este grupo.

Los ensayos de dureza sirven para realizar una evaluación de la efectividad de los tratamientos térmicos, la resistencia que proporciona un material al desgaste y la maquinabilidad de éste. Además, junto al ensayo de tracción es uno de los más utilizados al controlar la calidad de los materiales.

Dentro del proyecto, se realizará un ensayo de dureza a las probetas de tipo estático donde se utilizará el método Vickers para categorizar el valor proporcionado de las probetas al ser sometidas a diferentes tratamientos térmicos.

7.2 Equipo Utilizado

Para la realización del ensayo Vickers se ha utilizado un medidor de dureza INNOVATEST donde se colocarán las probetas para su posterior ensayo de dureza descrito en el siguiente punto.



7.3 Método Empleado: Ensayo Vickers

Método de ensayo donde el valor de dureza proporcionado por el material viene dado por el cociente entre la carga aplicada y la superficie que deja la huella del penetrador. Durante la realización del ensayo, la probeta se verá expuesta a una carga realizada por un penetrador de diamante con forma de pirámide cuadrangular. La determinación de la dureza es similar a el método de Brinell ya que utilizan la misma división entre la carga y el área. Sin embargo, está demostrado que encuentran semejanza hasta alcanzar las 350 Unidades ya a partir de estas el penetrador del ensayo Brinell sufre modificaciones, por tanto, el ensayo Vickers posee una mayor exactitud.

Este ensayo es adecuado para una amplia gama de materiales y distintas aplicaciones, donde se incluyen el ensayo de microdureza.

La determinación de la dureza es similar a el método de Brinell, ya que utilizan la misma división entre la carga y el área.

De este modo, la dureza del material vendrá dada por la siguiente fórmula:

$$HV = \frac{P}{8l^2} * 2 \sin(136/2)$$

Donde P es igual a la carga aplicada, l es la longitud del lado y 136° es el ángulo entre dos caras opuestas

Al ser $l^2 = d^2/2$, siendo l los lados del penetrador y D las diagonales se puede simplificar la función dejándola con los valores de la diagonal. Durante este método se asumirá que el valor de la diagonal vertical y horizontal de la pirámide cuadrangular posee el mismo valor. Por tanto, la ecuación quedaría de la siguiente forma:

$$HV = 1.8544 \frac{P}{d^2}$$

Donde:

- HV = Número de dureza de Vickers.
- P = Carga Aplicada (Kgf ó N).
- d = Diagonal promedio de la huella (mm).

Dentro de las tolerancias admisibles, a la hora de determinar el valor de la diagonal promedio (d) se requiere una exactitud de 0,001 mm.

Una vez explicada la fórmula en la que se va a basar este ensayo, se dará paso a la descripción de los pasos realizados:

Preparación de las probetas

Al haberse realizado un análisis de la microestructura de la probeta, está ya habrá pasado por un proceso de pulido de la superficie y estará lista para el estudio y realización del ensayo de dureza.

Posicionamiento de las probetas y el penetrador en la máquina de ensayo

Una vez se ha comprobado el correcto estado de la probeta, se situará en la máquina asegurándose de que esté situada en el centro de la plataforma ya ajustada. En el caso de que no estuviese en el centro de la plataforma o se necesitase un posicionamiento distinto se ha de ajustar correctamente. A su vez, se verificará en el máquina si la distancia entre la lente y la probeta es la correcta para una buena visualización de la microestructura.

Después, se colocará el penetrador en la zona que se quiera realizar la prueba.

Realización de la huella y medición

Una vez ajustado la posición de la realización del ensayo, se colocará el penetrador y se pulsará el botón de start. Tras un tiempo dedicado a la aplicación de la carga sobre la probeta, se situará la lente de mayor ampliación y se medirán las diagonales.

Obtención de resultados

Después de medir las diagonales de la huella, se introducirán los valores dentro de la máquina y se obtendrán los resultados.

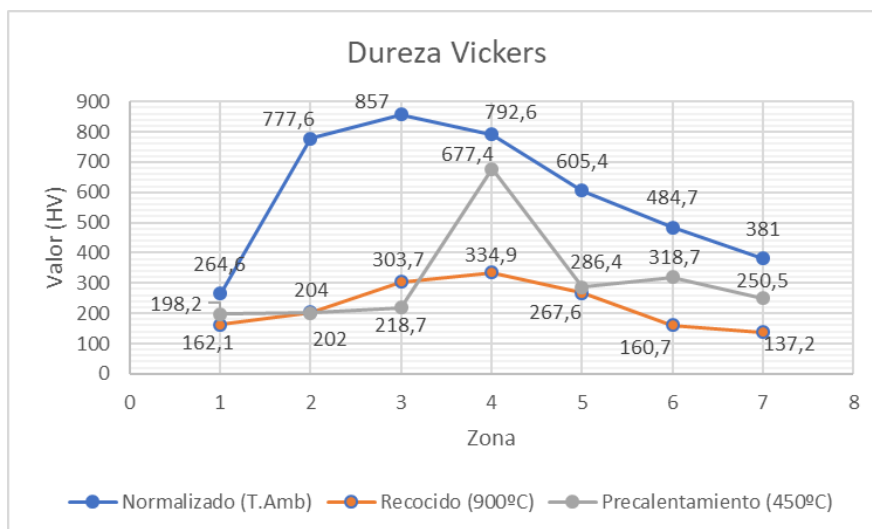
Este proceso se ha repetido para las 3 probetas sometidas a distintos tratamientos térmicos. A su vez, se han recopilado los valores de dureza situados tanto en los materiales base (acero F-1140 y fundición gris), en su interfase con la soldadura y en el centro de la soldadura siendo un total de 5 valores de dureza.

7.4 Resultados

A continuación se van a plasmar en una tabla los valores obtenidos al ensayar las tres probetas sometidas a distintos tratamientos térmicos.

Zona	Tratamiento térmico Aplicado		
	Normalizado (T.Amb)	Recocido (900°C)	Pre calentamiento (450°C)
M.Base (Acero F-1140)	264,6	162,1	198,2
Acero F1140/Interfase	777,6	204	202
Interfase(F-1140/Sold.)	857	303,7	218,7
Centro Soldadura	792,6	334,9	677,4
Interfase (Sold/F. gris)	605,4	267,6	286,4
Interfase/Fundición gris	484,7	160,7	318,7
M.Base (Fundición gris)	381	137,2	250,5

A su vez, si se representan estos valores dentro de una gráfica para ver en qué zona se alcanzaría el valor máximo, quedaría de la siguiente manera:



7.5 Conclusión

Analizando las tres probetas y comparando sus durezas, se ha llegado a la conclusión:

Probeta Normalizado (T.Ambiente)

Como se puede observar en los valores obtenidos, la probeta 1 tiene los valores más altos en cuanto a dureza ya que el objetivo de este tratamiento era acercarse lo máximo posible a las condiciones naturales del material. Es una unión soldada bastante dura, hablando sobre todo del acero F-1140. Estos resultados explican el por qué la mayoría de las veces se le han de aplicar tratamientos térmicos como el temple y el recocido para poder mecanizar este tipo de materiales.

Por otra parte, la zona estudiada con un valor más alto es en la interfase entre el acero y la unión soldada pero también se proporciona una elevada dureza en el cordón de soldadura. Esto es debido a la estructura martensítica de estas zonas ya que forman un material duro y con una rotura frágil.

Probeta Recocido (900°C)

Como era previsible, los valores de dureza obtenidos a partir de la probeta sometida a un tratamiento térmico de recocido son más bajos al haberse realizado un calentamiento previo y disminuir la velocidad de enfriamiento. La explicación de la disminución de dureza viene dada por la transformación de una estructura martensítica a una aparición de precipitados de fundición gris. Aún así, la zona de mayor dureza es el centro del cordón de soldadura. Pero posee una dureza baja en comparación con los valores máximos de las otras probetas.

Al aplicarse este tratamiento térmico se ha transformado el material de uno de gran dureza y difícil de mecanizar a uno menos duro y maleable.

Probeta precalentamiento (450°C)

Hablando de la probeta sometida al precalentamiento, se puede observar como el material ha perdido dureza en todas las zonas estudiadas. Sin embargo, al contrario de la probeta tratada con un recocido, en la zona del cordón de soldadura sigue teniendo una dureza alta por la existencia de martensita en su microestructura, aunque no poseerá una dureza tan alta como la probeta sometida al normalizado por la existencia de vainita que no se ha transformado en martensita ya que el tiempo de enfriamiento todavía ha sido muy bajo.

En resumen, cuanto más calor se le aporte a un material mediante tratamientos térmicos y se reduzca su velocidad de enfriamiento más se conseguirá ablandar el material como hemos podido observar en las probetas. Siendo la probeta más dura la sometida al normalizado, y la sometida al recocido la más blanda de todas.

8 ENSAYO DE TRACCIÓN

8.1 Introducción

Definimos el término tracción como el esfuerzo interno al que está sometido el material cuando se le aplican dos fuerzas que actúan en sentido opuesto. Es decir, dentro de una sección se le aplicarán fuerzas en sentido normal a ésta y con sentidos opuestos cuya finalidad es el alargamiento del cuerpo. La respuesta del material ante dichas fuerzas determinará el comportamiento del material estando siempre influenciada por el valor de la fuerza y el tamaño del objeto (ya que el valor analizado es el cociente entre la fuerza y el área de la sección del material).

Dentro de lo que es el ensayo de tracción, cabe destacar la existencia de dos términos de vital importancia a la hora de clasificar un material. Éstos son:

- **Ductilidad:** Propiedad de un material que mide la capacidad de deformación de éste al someterle una fuerza sin llegar a romperse. Estos materiales son calificados como dúctiles y quiere decir que son capaces de deformarse de forma significativa antes de la rotura.
- **Fragilidad:** Propiedad que define a los materiales en los que se produce la fractura con una escasa deformación. Los materiales que no soportan grandes deformaciones son llamados frágiles y son lo contrario a los dúctiles.

La capacidad de un material al aguantar las fuerzas sometidas en el ensayo de tracción será un indicativo de la facilidad de creación de grietas y la velocidad de propagación de las grietas creadas. A su vez, si el material es capaz de frenar estas grietas recibirá el nombre de tenaz.

Por otro lado, dentro de la realización del ensayo se calculan una serie de conceptos que caracterizan al material:

- **Esfuerzo:** Es la relación entre la fuerza aplicada y el tamaño del material. Viene dado por la siguiente fórmula:

$$\sigma = \frac{F}{A} \left(\frac{N}{mm^2} \right)$$

- Sección/Área (A): Es la superficie total donde se van a aplicar las tensiones. Esta viene dada por la forma geométrica plana que posea (mm^2).
- Fuerza (F): Es el valor de la carga aplicada al material (N).

A su vez, se denomina **tensión de rotura** al esfuerzo máximo que soporta el material, y utilizando la fórmula anterior:

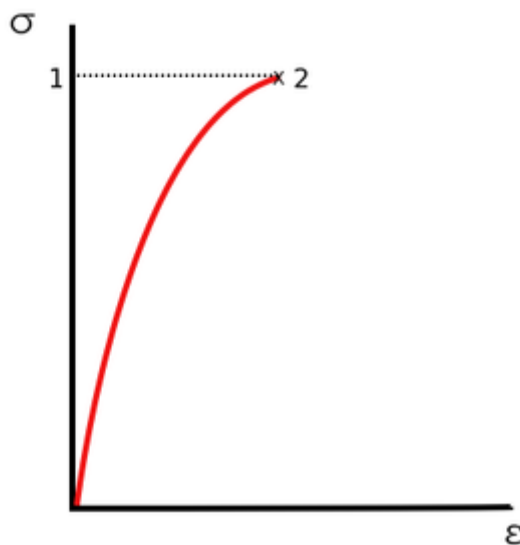
$$\sigma_R = \frac{F_R}{A} \left(\frac{N}{mm^2} \right)$$

- **Deformación unitaria:** Cuantifica si se ha estirado el material al estar sometido a la carga. Se establece una relación entre la longitud inicial del objeto y la máxima. Se representa con el símbolo (ϵ) y se representa en (%)

$$\epsilon = \frac{l_f - l_o}{l} * 100 (\%)$$

- l_f : La longitud máxima antes de producirse la rotura (mm).
- l_o : La longitud inicial del material (mm).

- **Módulo de Young:** Si se representase el proceso de deformación dentro de una gráfica, ésta dependería de la tensión a la que está sometido y la deformación que aparece dentro de él. La gráfica recibe el nombre de curva Tensión – Deformación.



La zona situada hasta llegar al punto cruz que representaría la rotura del material se denomina zona elástica y la curva mantiene una proporcionalidad. La pendiente de la curva se le llama **Módulo de young (E)**.

- **Límite elástico (LE):** Es el valor de tensión límite de la zona elástica, por el cual el material comienza a sufrir deformaciones permanentes o se produce la rotura. Viene dada por la siguiente fórmula denominada ley de Hook:

$$\sigma = \epsilon * E$$

Una vez visto estos conceptos, el ensayo de tracción consistirá en la aplicación de dos fuerzas en una probeta para comprobar cuál es la mayor carga que soporta hasta partirse y ver que método favorece más la creación de un material dúctil. Es un ensayo donde se ve como el material va siendo deformado hasta que se produzca la rotura.

Peculiaridad del proyecto

Al realizarse el ensayo de tracción dentro de una unión soldada entre materiales distintos y no en una probeta de un solo material, no es posible realizar una gráfica ya que la

deformación producida estaría en torno al 0% porque por las características mecánicas del material se produce una rotura frágil en la soldadura, sin dar paso a una deformación dentro de ella. Sin embargo, durante la obtención de los valores se podrá averiguar la tensión de rotura, provocada por la fuerza de las prensas de la máquina del ensayo de tracción dividido la superficie de la sección donde se produce la rotura, y el límite elástico que poseen las uniones soldadas. Éste límite elástico se podrá observar como posee un valor muy cercano al valor de la tensión de rotura.

8.2 Equipo y medición del ensayo

A continuación, se va a explicar el proceso empleado durante el ensayo de tracción para la obtención de los valores proporcionados por las probetas sometidas a diferentes tratamientos térmicos. Además, se especificará el equipo empleado.

Equipo empleado

Para la realización del ensayo, se va a utilizar una máquina de ensayo de materiales electromecánica de la marca IBERTEST, específicamente el modelo "Electrotest-100-MD2" fabricada en el año 2009.



Es una máquina diseñada específicamente creada para la realización de estos ensayos, la máquina va aplicando una fuerza progresiva en sentido axial a la probeta estudiada hasta provocar la rotura del material. Se utiliza para ensayos destructivos y, para que éste sea válido, la probeta ha de romper por la zona central. A su vez, la máquina va enviando información de los datos obtenidos a un ordenador donde, mediante el uso de un software normalmente desarrollado por la empresa, se van recopilando los datos de la carga aplicada a la probeta ensayada, la elongación y va creando una gráfica dependiente de la tensión y la deformación de manera electrónica donde se traza la curva del material.

MEMORIA

Las características de esta máquina de ensayo son las siguientes:

Modelo	Electrotest-100-MD2	Neutro	No
Tensión	220 V	Año	2009
Fases	3	Frecuencia	50 Hz
Potencia	3 KW	Tierra	Sí

La máquina está dotada por dos sistemas de control de la prensa, por una parte mediante el software desarrollado y por otra desde un mando imantado para los dotar a la realización del ensayo de una mayor facilidad a la hora de trabajar.



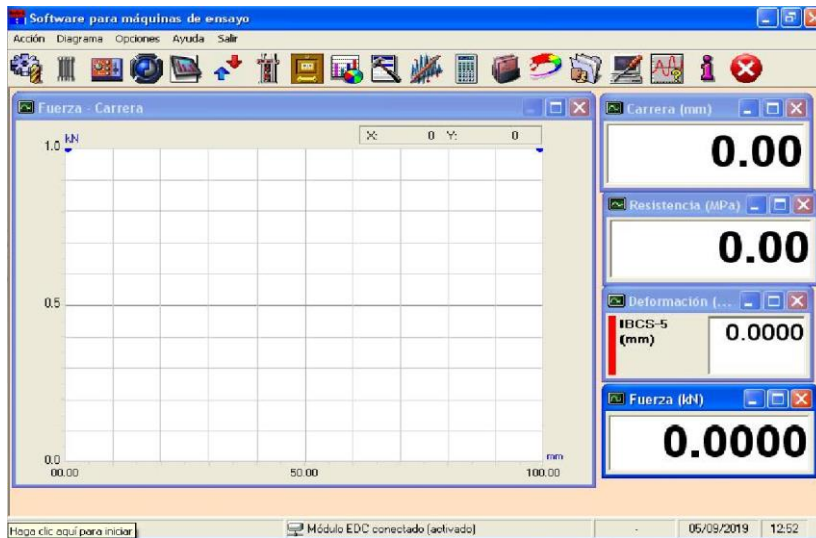
Por otra parte, el software creado por la marca y utilizado a lo largo de este ensayo recibe el nombre de "Wintest" en su versión para sistemas operativos de 32 bits. El objetivo de este software es la recopilación de datos obtenidos, cálculo de valores y representación gráfica de la curva tensión-deformación.

Realización del ensayo

Una vez explicada la maquinaria empleada, se procede a describir los pasos realizados para la obtención de los resultados.

La realización de este proceso consta de varios pasos:

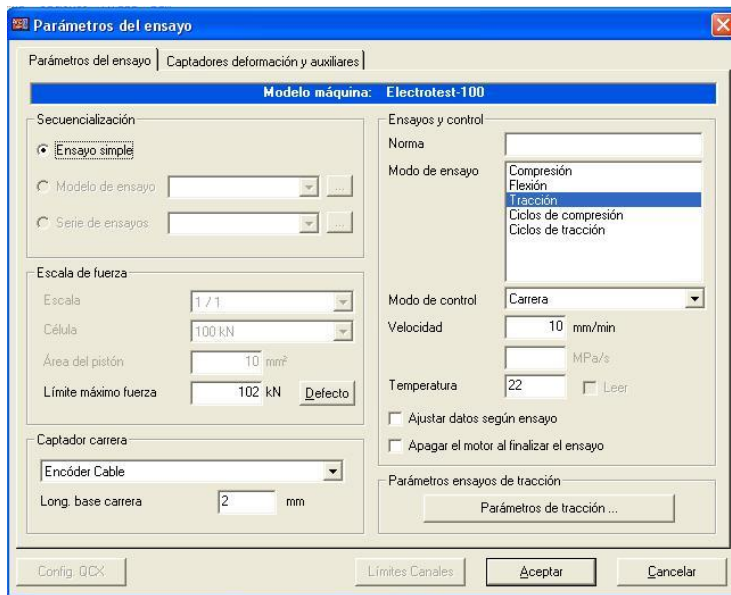
- Primero, se enciende la máquina y el ordenador que vamos a utilizar. Para ello, hay que pinchar en el icono del escritorio del programa WinTest y se abrirá la pantalla principal del programa.



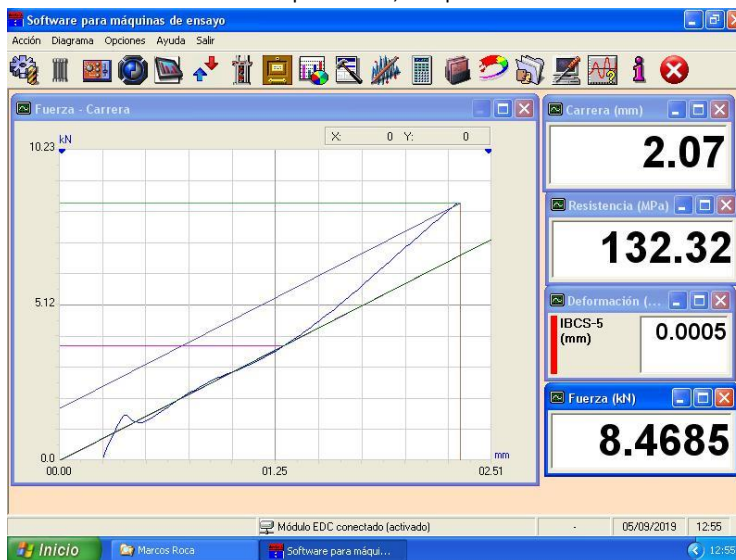
- Una vez abierta la interfaz con la que el usuario interactúa, se especificarán los parámetros de la probeta. Dentro de estos parámetros, se fijará nombre del ensayo, el material de la probeta, el tipo de sección, longitud, ancho y largo.

Referencia del ensayo		Alargamiento después de rotura	
Nombre		<input type="checkbox"/> Cálculos manual alarg. remanente después rotura	
Procedencia	1	Obtención del valor de Lo	Manual
Muestra número	1	Longitud inicial entre puntos (Lo)	110 mm
Material	Acero	Longitud final entre puntos (Lu)	127.7 mm
Sección	Rectangular	Cargas / apoyos para flexión	
Ancho	16 mm	Distancia entre apoyos (inf.)	64 mm
Espesor	4 mm	Distancia entre apoyos de carga	0 mm
Longitud	90 mm	Dist. base de medida	100 mm
Resit. del proyecto	2000 MPa	Sección a la rotura (Su)	
Edad		Ancho	20 mm
		Espesor	1 mm
		Área Final (Su)	20.0 mm²
<input type="checkbox"/> Cálculo de la Resistencia y la Tensión usando el área corregida.			
<input type="checkbox"/> Pedir las cotas de la probeta al finalizar el ensayo			
Cotas probeta		Información adicional...	Aceptar
			Cancelar

- Después, se seleccionará el tipo de ensayo y la velocidad a la que la prensa estirará la probeta.



- Una vez establecidos los parámetros dará comienzo el ensayo. Para ello, nos saltará un aviso de que la probeta ha de estar sujeta a las pinzas de ensayo. El ensayo comenzará cuando hayamos aceptado el aviso.
- Se espera hasta que se produzca la rotura y nos pida extraer la pieza.
- Una vez es retirada la probeta, se plasmarán los valores obtenidos en la interfaz



- Una vez, producida la rotura del material sometido al esfuerzo, se medirá de nuevo el espesor de la zona donde se ha producido la rotura. Esto es debido a que el espesor no es fijo a lo largo de la probeta y, para calcular la resistencia a tracción soportada por el material, es necesario conocer el área exacta para realizar los cálculos.
- Por último, se exportan los datos a una carpeta creada en formato excel (.xls)

Este proceso se repetirá tres veces por cada tratamiento térmico usando un total de 9 probetas divididas en los tratamientos térmicos de normalizado, recocido y precalentamiento.

8.3 Resultados

Una vez seguido los pasos narrados en el anterior punto, los resultados obtenidos son los siguientes:

Normalizado	1	2	3	Media
Tensión máxima (MPa)	142,97	120,07	162,88	141,97
Límite elástico (Mpa)	142,02	113,64	157,71	137,79

Precaentamiento	1	2	3	Media
Tensión máxima (MPa)	218,42	189,31	111,73	173,15
Límite elástico (Mpa)	215,37	187,6	108,94	170,64

Recocido	1	2	3	Media
Tensión máxima (MPa)	235,59	204,19	213,66	217,81
Límite elástico (Mpa)	231,44	199,65	209,68	213,59

8.4 Conclusión

A la vista de los resultados obtenidos, se puede observar como los tratamientos térmicos han afectado en mayor o menor medida a nuestras uniones soldadas preparadas en probetas.

Como se puede observar, las probetas que más han aguantado hasta que se produjera la rotura han sido las sometidas al tratamiento térmico del recocido debido a que por el calentamiento inicial y la disminución de la velocidad de enfriamiento el material se ha hablando y soportará más esfuerzos al contraerse. Por otro lado, las probetas sometidas al normalizado son las que menores tensiones soportan en la soldadura ya que al poseer una gran dureza el material es frágil; las probetas sometidas a un tratamiento térmico de precaentamiento se sitúan en un término medio ya que se le ha aportado calor y se ha reducido la velocidad de enfriamiento del cordón pero no ha llegado a ablandar tanto el material como en las del recocido.

Por último, cabe destacar que aunque las cargas se hayan visto sometidas a un incremento en función del tratamiento térmico, la rotura de la probeta sigue siendo frágil en todas y cada una. Es por ésto que el límite elástico tenga un valor tan aproximado al valor de la tensión de rotura, porque la deformación es prácticamente nula en todas ellas.

9 Conclusión

Durante la realización de este proyecto se ha podido observar como el material base formado por una chapa de acero F-1140 y otra de fundición laminar se ha sometido a un proceso de soldadura por arco eléctrico tipo MAG para su posterior corte y preparación de las probetas que se han utilizado para los ensayos. La descripción de cada uno de los pasos que se le han hecho tenía como objetivo el entendimiento del proceso de soldadura y el aprendizaje por parte del alumno de cómo afectan los tratamientos térmicos a las uniones soldadas.

La aplicación de tres tipos de tratamientos térmicos (normalizado, recocido y precalentamiento) ha servido como principal punto de comparación a la hora de analizar la microestructura del material y de la realización de ensayos de dureza y tracción a las probetas.

Analizando los resultados obtenidos durante el análisis de la microestructura, se ha llegado a la conclusión que el uso de tratamientos térmicos afecta en gran medida a la microestructura de la pieza. Como se puede ver, comparando las probetas de normalizado, precalentamiento y recocido, la aplicación de calor previo a la pieza y reducción de la velocidad de enfriamiento promueve una homogeneización en todas las zonas del material, creando un cambio progresivo en las zonas de transición entre los materiales base y el cordón de soldadura. De esta forma, la probeta que se le ha aplicado un tratamiento térmico con menos aporte de calor(normalizado) tendrá unas interfases más marcadas y la que mayor calor ha recibido (recocido) serán más difuminadas. A su vez, los microconstituyentes que forman en la estructura irán variando en el cordón de soldadura siendo la martensita presente en los tratamientos térmicos de normalizado y precalentamiento y la perlita fina en el tratamiento térmico de recocido. La diferencia de uno u otro afectará posteriormente en la realización de los ensayos de tracción y dureza.

Comparando los valores proporcionados por las probetas sometidas a ensayos de tracción y dureza, se ha podido ver como la unión soldada sometida al tratamiento térmico de normalizado es la que mayor dureza ha dado en todas las zonas de la probeta siendo un material caracterizado como duro. Sin embargo, los valores de límite elástico y la tensión de rotura en el ensayo de tracción serán los más bajos, por lo que es la unión que menos soporta las cargas normales a la superficie de rotura. Su elevada dureza provocará que la rotura de este material sea fácil.

Por otra parte, los valores de las probetas con menor aporte de calor por parte del tratamiento térmico han sido más bajos en cuanto a dureza se refiere siendo los del recocido los más bajos y el precalentamiento un valor intermedio entre los del normalizado y el recocido. Sin embargo, los valores proporcionados en el ensayo de tracción han demostrado que soportaban mejor las cargas normales a la superficie de rotura. Ésto es debido a la transformación de los microconstituyentes dentro del cordón de la soldadura y el ablandamiento del material.

En resumen, dependiendo del uso para el que se quiera utilizar la unión soldada, será necesaria la aplicación de unos tratamientos u otros. Por ejemplo, si lo que se busca es

MEMORIA

un material resistente a impactos se intentará evitar el uso de tratamientos térmicos que puedan volverlo más dúctil reduciendo su dureza en la superficie. Por otra parte, si lo que se busca es un material que sea más fácil de mecanizar y pueda resistir deformaciones antes de provocar su rotura se utilizarán tratamientos térmicos como el recocido y el precalentamiento para volver al material más maleable.

10 BIBLIOGRAFÍA

A continuación se han recopilado una serie de documentos que nos han sido de ayuda a la hora de realizar el proyecto del trabajo final de grado.

- (1) Pere Molera Solà "Soldadura industrial: clases y aplicaciones".
- (2) Ruedarsa "Nomenclator de aceros: tratamientos térmicos, composición química, características mecánicas, aplicaciones, equivalencias entre las principales acerías nacionales e internacionales"
- (3) Andalucía López de Ponce "Soldadura MAG de chapas de acero al carbono". Edición 2010.
- (4) Pere Molera Solà "Tratamientos térmicos de los metales".
- (5) Larry Jeffus y D. José Poquer Caballero "Soldadura. Principios y aplicaciones". Edición 2009.
- (6) Isabel Gasch Molina, Manuel Gasch Salvador y José Luis Galdón ". Edición 2013.
- (7) Sergio G. Laufgang "Tratamiento térmico de soldadura".
- (8) Julian David Osorio, Hernando Pacheco Gómez y Alejandro Toro "Efecto del tratamiento térmico post soldadura sobre la microestructura del acero inoxidable".
- (9) Guillermo Castro, Departamento Ing. Mecánica "Fundiciones". Febrero 2009.
- (10) Antonio Balvantín "Ensayos y Propiedades Mecánicas de los Materiales". Diciembre 2016.
- (11) Kurt Feiler, Hans Appold, Alfred Reinhard, Paul Schmidt "Tecnología de los metales".
- (12) John D Verhoeven " Fundamentos de metalurgia física".
- (13) Vicente I. García "Curso de ensayo de materiales"
- (14) Álvaro Forero Mora "Metalurgia Práctica". Tercera edición, 1995.
- (15) Serope Kalpakjian, Steven R. Schmid "Manufactura, Ingeniería y tecnología". Cuarta edición.

11 PLIEGO DE CONDICIONES

A continuación se tratará el pliego de condiciones del proyecto. Éste se compone del listado de los elementos utilizados en cada fase de la realización del proyecto, la normativa de seguridad a seguir para el uso de las instalaciones donde se ha trabajado y la normativa que rige el proceso que se está realizando. Por tanto, se dividirá el pliego de condiciones en varias fases:

- Proceso de soldadura de las piezas
- Preparación de las probetas
- Análisis de la microestructura
- Ensayo de dureza
- Ensayo de tracción

Cada fase del proyecto se le otorgará un punto propio.

11.1 Proceso de soldadura de las piezas

11.1.1 Equipo utilizado

A continuación, se va a listar todas las máquinas y útiles que se han utilizado durante el proceso de soldadura:

Maquinaria empleada

- Soldador digital Transpuls Synergic 2700.
- Amolador radial Bosch Professional GWS 20-230 JH con diámetro 230 mm.
- Cizalla manual.
- Horno para soldadura.

Herramientas y consumibles utilizados

- Hilo de acero F-1110 con recubrimiento de cobre.
- Chapa de acero F-1140 de 3 milímetros.
- Chapa de fundición laminar de 6 milímetros.
- Juego de sargentos de fijación.
- Tiza.
- Regla métrica.
- Pinza crisol de laboratorio.
- Tornillo de banco.
- Papel absorbente.

Elementos de seguridad

- Mandil de cuero
- Guantes de protección de cuero
- Mangas de cuero de protección para soldar.
- Máscara fotosensible.

11.1.2 Rutinas dentro de la instalación

Ahora se van a describir los pasos que se han de seguido a la hora de usar el taller de soldadura. Primero, a la hora de entrada del taller:

- Encender las luces del taller para la correcta visualización de las máquinas.
- Conectar la máquina que se vaya a utilizar a la corriente eléctrica.
- Encender la ventilación del taller.
- Limpiar la mesa de trabajo.
- Colocarse los elementos de seguridad propios de cada máquina.
- Abrir las válvulas de las bombonas.
- Ajustar los valores de la máquina.
- Trabajar respetando el espacio de cada usuario.

Una vez se haya realizado el trabajo, la rutina a la hora de abandonar la sala sería la siguiente:

- Apagar el encendido de la máquina.
- Cerrar las válvulas de las bombonas.
- Desconectar la máquina de la red eléctrica.
- Limpiar el lugar de trabajo.
- Guardar los útiles y herramientas utilizadas durante el trabajo.
- Quitarse los elementos de seguridad y guardarlos en su lugar.
- Lavarse las partes del cuerpo implicadas y secarse adecuadamente.
- Apagar la ventilación del taller.
- Apagar las luces de la instalación y cerrar la puerta de la entrada.

11.1.3 Normas de seguridad en la instalación

A la hora de trabajar en el taller de soldadura, se han de seguir una serie de consejos y normas para prevenir accidentes dentro de la instalación. Estas normas son las siguientes:

- El soldador ha de usar la ropa protectora a la hora de soldar.
- Mantener el área en un correcto estado de limpieza y libre de contacto de cualquier material inflamable.
- Está totalmente prohibido fumar dentro de la instalación.
- Manejarlas bombonas con sumo cuidado y cerciorarse de que la válvula sea cerrada cuando se terminen de utilizar.
- Usar siempre protectores para los ojos.
- Apagar y cerrar las máquinas cuando se termine el trabajo.
- Asegurarse de cerrar la puerta a la salida y dejar los útiles en su sitio.

11.1.4 Normativa

Durante el proceso de soldadura de los materiales la normativa utilizada para este proceso es la que dictamina la “NTP 494, Soldadura eléctrica por arco” emitida por el instituto nacional de seguridad e higiene en el trabajo junto con el Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales de España y la NTP “153, Cizalla de guillotina para metal”.

11.2 Preparación de las probetas

Este punto abarca desde que se le realiza unión mediante el proceso de soldadura hasta que las muestras están preparadas para la realización de los ensayos.

11.2.1 Equipo utilizado

En el siguiente apartado se va a listar el equipo utilizado para la preparación de las probetas.

Maquinaria empleada

- Sierra con accionamiento manual.
- Tornillo de banco.
- Cortadora metalográfica Remet TR 100 evolution

Herramientas y consumibles utilizados.

- Regla métrica.
- Bolígrafo permanente.
- Taladrina.
- Depósito hermético.
- Papel absorbente.

Elementos de seguridad

- Gafas protectoras.
- Bata de laboratorio.
- Guantes de plástico desechables.

11.2.2 Rutinas dentro de la instalación

Los pasos a seguir a la hora de la preparación de las probetas de ensayo son los siguientes. Primero, antes de usar el laboratorio:

- Abrir la puerta con las llaves de la instalación y encender las luces hasta que se consiga una correcta iluminación.
- Ponerse el equipamiento necesario para realizar el trabajo.
- Encender la máquina que se vaya a utilizar.
- Abrir las válvulas en el caso de que se necesite refrigeración.
- Colocarse en una postura adecuada antes de comenzar el trabajo.
- Ajustar los valores de la máquina.

Por otra parte, la rutina a seguir a la hora de finalizar los trabajos necesarios sería la siguiente:

- Apagar el encendido de la máquina.
- Cerrar las válvulas si se precisa de refrigeración.
- Limpiar el lugar de trabajo.
- Quitarse los elementos de seguridad necesarios y guardar los instrumentos utilizados en el lugar adecuado.
- Apagar las luces de las instalaciones.

- Cerrar la puerta del laboratorio con llave.

11.2.3 Normas de seguridad en la instalación

Para hacer un correcto uso de las instalaciones del laboratorio, se han de seguir una serie de normas y consejos de seguridad. Estas son las siguientes:

- El usuario ha de utilizar la bata, las lentes de seguridad y el calzado adecuado para evitar riesgos y accidentes.
- Si el usuario está en contacto con sustancias químicas, no dejar la piel expuesta al contacto.
- En el caso de llevar pelo largo, se ha de llevar recogido de tal forma que no pueda enredarse con algún objeto.
- Está totalmente prohibido fumar, comer y beber dentro de la instalación.
- La sala ha de estar dotada de un extintor, regaderas y salidas de emergencia. Éstos deben de estar en una posición visible para el usuario.
- Se ha de seguir unas normas éticas para favorecer la colaboración de todos los usuarios de la instalación.
- Tanto a la hora de salida como de entrada, se debe cerrar con llave la puerta principal del laboratorio y no dejar ningún dispositivo encendido.

11.2.4 Normativa

La normativa a seguir durante la realización de este proceso son la “NTP 464: Prevención del riesgo en el laboratorio químico. Operaciones básicas”, la “NTP 433: Prevención del riesgo en el laboratorio. Instalaciones, material de laboratorio y equipos.” Y la NTP 550: Prevención de riesgos en el laboratorio. Ubicación y distribución” emitidas por el instituto nacional de seguridad e higiene en el trabajo junto con el Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales de España y la NTP “153, Cizalla de guillotina para metal”.

11.3 Realización de ensayos y análisis de la microestructura

Esta fase del proyecto abarca toda la realización de los ensayos y el análisis de la microestructura de las probetas preparadas. Se ha decidido incluirse en el mismo punto ya que la realización de estos ensayos tuvo lugar en otros laboratorios de características similares a las explicadas en el punto 2 por lo que la rutina a seguir y los consejos y normas de seguridad utilizados serán los mismos.

11.3.1 Equipo utilizado

La maquinaria y herramientas utilizadas para la realización de los ensayos y el análisis de la microestructura será la siguiente:

Maquinaria empleada

La maquinaria empleada durante la realización de los ensayos y el análisis de la estructura cristalina de las probetas son:

Micrografía

- Microscopio Nikon “MICROPHOT-FX”.
- Embudidora Remet “Evolution” IPA 30.

MEMORIA

- Desbastadora "LaboPol-21".
- Pulidora "LaboPool-21".
- Ordenador.
- Software capturador de imágenes.

Ensayo de dureza

- Microdurómetro Vickers marca "INNOVATEST".
- Ordenador.
- Pantalla

Ensayo de tracción

- Máquina de ensayo a tracción electromecánica IBERTEST "Electrotest-100-MD2".
- Ordenador.
- Software "Wintest" para sistemas operativos de 32 bits.

Herramientas y consumibles utilizados

Todos los útiles, herramientas y consumibles durante la realización de los ensayos serán los siguientes:

Micrografía

- Compuesto Polimetilmetacrilato termoendurecible "TransOptic"
- Hojas de lija para pulidora con granos de 200 y 500.
- Pasta de diamante de 3 μm .
- Alcohol etílico Etanol al 96%.
- Nital 3.
- Aceite de pulido.
- Bolígrafo.
- Papel absorbente.
- Portapiezas.
- Jabón

Ensayo de dureza

- Portamuestras.

Ensayo de tracción

- Regla métrica.
- Pie de rey calibrado.
- Bolígrafo de tinta permanente.

Elementos de seguridad

Los elementos de seguridad utilizado a lo largo de este parte del proyecto serán los siguientes:

Micrografía

- Gafas protectoras.
- Bata de laboratorio.
- Guantes de laboratorio desechables.

Ensayo de dureza

- Gafas protectoras.
- Bata de laboratorio.
- Guantes de laboratorio desechables.

Ensayo de tracción

- Gafas protectoras.
- Bata de laboratorio.
- Guantes de laboratorio desechables.

11.3.2 Rutinas dentro de la instalación

A la hora de hacer uso de los instrumentos utilizados a lo largo del ensayo, se seguirán una serie de pasos a seguir. La rutina a realizar a la hora de empezar este ensayo es:

- Abrir la puerta principal del laboratorio y encender las luces.
- Encender con cuidado las máquinas utilizadas.
- Destapar las fundas protectoras de ácaros y polvo de los instrumentos.
- Ponerse los elementos de seguridad necesarios para el ensayo.
- Abrir las válvulas de los circuitos de aire y agua que se necesitan en algunas máquinas.
- Colocarse con suficiente cuidado de no dañar o golpear otros instrumentos cuando se disponga a trabajar.

A su vez, a la hora de finalizar el ensayo, la rutina a seguir será de la siguiente manera:

- Apagar las máquinas utilizadas.
- Cerrar las válvulas para los conductos de agua o aire.
- Cerrar correctamente las sustancias químicas utilizadas y guardarlas en el lugar correspondiente.
- Guardar las lijas en su lugar.
- Colocar la tapa/funda de cada instrumento.
- Limpiar el lugar para que quede aseado y listo para volver a utilizar.
- Limpiar los recipientes utilizados.

- Quitarse los elementos de seguridad y guardarlos en su lugar.
- Apagar las luces de la instalación y cerrar la puerta con llave.

11.3.3 Normas de seguridad en el laboratorio

Al haberse realizado los ensayos y el análisis de la microestructura en una instalación similar a la utilizada durante el proceso de preparación de las probetas, las normas a seguir y consejos de seguridad serán los mismos a los mencionados en el apartado 2.3.

11.3.4 Normativa

La normativa utilizada varía dependiendo del proceso de ensayo al que está sometido. Para ello, las normas utilizadas serán las siguientes:

Micrografía

Para el análisis de la microestructura de las probetas, la norma utilizada que rige las características es la Norma “UNE-EN ISO 643 2013: Determinación micrográfica del tamaño del grano aparente (Micrographic determination of the apparent grain size)” creada por la Asociación Española de Normalización.

Ensayo de dureza

Para el ensayo de dureza, la norma que rige las características propias de este ensayo es la “ASTM E 384-73 1999: Microhardness of materials: Standard Test Methods” creada por la Asociación Americana de Ensayos de Materiales (American Society of Testing Materials).

Ensayo de tracción

Para el ensayo de tracción, la norma utilizada con los procesos normalizados del ensayo es la norma “ASTM E8/E8M: Standard Test Methods for Tensión Testing of Metallic Materials” creada por la Asociación Americana de Ensayos de Materiales (American Society of Testing Materials).

12 PRESUPUESTO

12.1 Introducción

El objetivo de este punto es estimar el coste total monetario de nuestro proyecto. Para ello, se ha de tener en cuenta varios factores que afectan a la cantidad total que supondría la realización de todos los procesos incluidos dentro de la realización del análisis de la microestructura y de los ensayos de dureza y tracción para la unión soldada de los materiales. La suma de cada uno de estos apartados, realizando un presupuesto, supondrá la cantidad total.

Éstos consistirán en el material utilizado, la mano de obra necesaria y los costes de utilización de la maquinaria.

Dentro de los costes de este proyecto, no ha sido necesaria la adquisición de la maquinaria utilizada ya que ésta ha sido proporcionada por el Departamento de Ingeniería Mecánica y de Materiales de la Universidad Politécnica de Valencia. Sin embargo, la utilización de éstos supondrá un gasto que se ha de tener presente en el cálculo del coste de nuestro proyecto

Dicho esto, se pasará a calcular los diferentes apartados.

12.2 Material Utilizado

En la parte del material utilizado se indica todo aquel material que se ha adquirido para la realización de nuestro proyecto. Para ello, se realizará un listado indicando el valor de cada uno según el coste actual en el mercado.

Proceso de soldadura	Unidades	Precio Unitario (€)	Precio parcial (€)
Chapa de acero F-1140 (espesor 3 mm)	1	7,87	7,87
Chapa de fundición laminar (espesor 6 mm)	1	5,63	5,63
Hilo de acero F-1110 con recubrimiento de corte	1	18,42	3,54
Taladrina	1	34,94	2,09
Depósito hermético	1	3,94	3,94
Papel absorbente	1	3,91	3,91
Polimetilmetacrilato	1	108,83	1,08
Aceite de pulido	1	25,38	1,02
Portamuestras	3	0,33	0,99
Pasta de diamante de 3 µm	1	12,26	12,26
Hojas de lija con granos e 200	1	0,3	0,3
Hojas de lija con granos e 500	1	5,38	5,38
Nital 3	1	31,73	0,32
Alcohol etílico 96%	1	2,82	0,2
Portamuestras	1	0,33	0,33
TOTAL			48,86

El precio total del material utilizado durante la realización del proyecto ha sido de 48,86 Euros.

12.3 Mano de obra

A continuación, se va a calcular el coste de la mano de obra necesario. Para ello, el personal encargado de la realización del proyecto será un Ingeniero Técnico Industrial.

A la hora de presupuestar la mano de obra, será calculado el precio por hora trabajada utilizando los datos aportados por la Conselleria de Empleo, Industria y Comercio publicados en el Boletín Oficial del estado en la referencia “BOE-A-2017-542 Resolución de 30 de diciembre de 2016, de la Dirección General de Empleo, por la que se registra y publica el Convenio colectivo del sector de empresas de ingeniería y oficinas de estudios técnicos.”

Nuestro proyecto será realizado por un ingeniero técnico industrial, perteneciente al nivel 2 (Diplomados y titulados de 1er ciclo universitario) dentro del convenio. Para calcular el precio por hora del operario:

- Primero, se calculará el total de horas trabajadas al año, contando con que dispone de un período de vacaciones convencional y los días festivos. El total será el siguiente dato:

$$H. \text{ año} = (\text{semanas. año} - \text{semanas vacaciones} - \text{semana fest.}) * 40 \text{ h/sem}$$

$$H. \text{ año} = (52 - 4 - 2) * 40 = 46 * 40 = 1840 \text{ horas/año}$$

- Después, consultando el salario neto anual en el boletín oficial del estado (BOE) y sumándole las retenciones que el trabajador paga de impuestos a la seguridad social se calculará el salario bruto anual. El salario neto anual de esta categoría de trabajador es de 17.544,24 Euros, y pongamos que sufre una retención del 12,5%. Por tanto, el salario bruto anual es de:

$$\% \text{ Sueldo retenido} = 12,5 * \frac{\text{Salario Anual}}{100} = 2193,03 \text{ €}$$

$$\text{Salario bruto anual} = \text{Salario Neto} + \% \text{ Sueldo retenido}$$

- Entonces, el salario bruto anual sería:

$$\text{Salario bruto} = 17544,24 + 2193,03 = 19.737,27 \text{ €}$$

Entonces, el coste de la mano de obra vendrá dado por la división entre el salario bruto anual y las horas trabajadas al año. En nuestro caso el valor será de:

$$\text{Precio}_{m.obra} = \frac{\text{salario bruto anual}}{\text{Horas año}} = \frac{19.737,27}{1840} = 10,73 \text{ €/hora}$$

- A su vez, a este precio se le añadirá un incremento por los servicios prestados de 50 €/hora que es lo que costaría la hora por servicio prestado a una empresa el realizar este proyecto. Esta información ha sido consultada con el personal del departamento de Ingeniería mecánica y ciencia de los materiales.

Por último, se supondrá un total de 20 horas invertidas por el trabajador en este proyecto. Sabiendo el precio/hora, el total será de:

$$Precio_{total} = 20 \text{ horas} * (50 \text{ €/hora} + 10,73 \text{ €/hora}) = 1214,60 \text{ €}$$

12.4 Coste de utilización de la maquinaria

Si bien se ha citado que todas las máquinas utilizadas durante el ensayo son proporcionadas por el propio departamento, se debe de tener en cuenta el coste de utilización de la máquina. Es decir, lo que en resumidas cuentas nos viene a costar la utilización de dichos aparatos durante el ensayo.

Para ello, se calculará un término denominado amortización de la máquina, el cual nos permitirá saber sobre el coste aproximado de los aparatos utilizados en función del precio original del producto y la vida útil del material. Además, se tendrá en cuenta las horas que se ha utilizado la máquina.

La fórmula que nos permitirá presupuestar este cose será:

$$A = (C/H) * h$$

Donde:

- A = Amortización (€)
- C = Coste anual del producto (€)
- H = Horas anuales funcionando (horas)
- h = horas de funcionamiento destinadas al proyecto.

Por tanto, suponiendo una vida útil de todas las máquinas de unos 12 años dependiendo de su uso, y listando el coste inicial del producto junto a las horas destinadas al proyecto se calculará el valor del coste anual de las máquinas.

Máquina	Coste (€)	Vida Útil (Años)	Coste Anual (€)
Soldador digital Transpuls Synergic 2700	2500	12	208,33
Horno Soldadura	4500	12	375,00
Sierra accionamiento manual	1500	12	125,00
Cortadora metalográfica Remet TR 100 evolution	2300	12	191,67
Microscopio Nikon "MICROPHOT FX)	7718	12	643,17
Embutidora Remet "Evolution" IPA 30	1120	12	93,33
Pulidora "LaboPool-21"	1600	12	133,33
Microdurómetro INNOVATEST	5500	12	458,33
Maquina de ensayo tracción IBERTEST	20000	12	1666,67

Una vez calculado el coste anual se procederá, utilizando la fórmula anteriormente citada, a calcular el valor amortizado en nuestro proyecto.

Máquina	Horas anuales funcionando	Horas dedicadas	Amortización
Soldador digital Transpuls Synergic 2700	200	6	6,25
Horno Soldadura	200	3	5,63
Sierra accionamiento manual	50	1	2,50
Cortadora metalográfica Remet TR 100 evolution	50	1	3,83
Microscopio Nikon "MICROPHOT FX)	100	2	12,86
Embutidora Remet "Evolution" IPA 30	150	1	0,62
Pulidora "LaboPool-21"	300	2	0,89
Microdurómetro INNOVATEST	100	2	9,17
Maquina de ensayo tracción IBERTEST	100	2	33,33
Total			75,08

La utilización de estos materiales conlleva unos costes de 75,08 € al presupuesto del proyecto.

12.5 Coste total del presupuesto

Una vez calculado cada una de las partes de este presupuesto, se realizará la suma total de ellas para saber el coste del proyecto. A su vez, a este coste se le añadirá el impuesto del valor añadido (IVA) de tipo general (21%) aplicado por defecto en la mayoría de los productos y servicios, ya que el servicio prestado de este proyecto no se encuentra dentro de los grupos donde son aplicables el IVA reducido.

Por tanto:

Presupuesto fragmentado	Cantidad (€)
Material Utilizado	48,86
Mano de Obra	1214,6
Utilización de la maquinaria	75,08
Suma	1338,54
Impuesto del valor añadido (IVA)	281,0934
Total	1619,63

El precio total de la realización del proyecto tendrá un coste de 1619.63€ por la suma total de todos y cada uno de los grupos calculados.