



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

*SOLDABILIDAD DE LA
FUNDICIÓN NODULAR
CON APORTE DE
VARILLA DE INCONEL
625 Y
PROCEDIMIENTO TIG
SOMETIDA A
DISTINTOS
TRATAMIENTOS
TÉRMICOS*

*Trabajo final de Grado
en Ingeniería
Mecánica*

*Alumno: Néstor Domínguez Zazo
Tutor: Manuel Pascual Guillamón*

ÍNDICE

1. OBJETIVO.....	4
2. INTRODUCCIÓN TEÓRICA.....	4
2.1 MATERIALES.....	4
MATERIAL BASE.....	4
MATERIAL DE APORTE	5
2.2 SOLDADURA.....	6
TIPOS SOLDADURA.....	7
DEFECTOS.....	13
2.3 ENSAYOS	17
ENSAYO DE TRACCIÓN	17
ENSAYO DE MICRODUREZAS.....	20
3. MÉTODOS O PROCESOS.....	21
3.1 MATERIALES.....	21
3.2 SOLDADURA.....	22
DESCRIPCIÓN.....	22
PROCEDIMIENTO.....	23
3.3 FABRICACION DE PROBETAS	25
DESCRIPCIÓN.....	25
PROCEDIMIENTO.....	26
3.4 ENSAYOS	27
ENSAYO DE TRACCIÓN	27
ENSAYO DE MICRODUREZAS.....	28
MICROGRAFÍAS	32
4. RESULTADOS.....	34
4.1 RESULTADOS GRÁFICOS.....	34
CASO 1:.....	34
CASO 2:.....	34
CASO 3:.....	35
4.2 ENSAYO TRACCIÓN	36
CASO 1 (Tª AMBIENTE):.....	36
CASO 2 (RECOCIDO)	36
CASO 3 (PRECALENTADO)	36
4.3 ENSAYO DUREZAS	37
CASO 1:.....	37

CASO 2:.....	38
CASO 3:.....	38
4.4 MICROGRAFÍA	39
CASO 1.....	39
CASO 2.....	40
CASO 3.....	42
5. CONCLUSIONES.....	43
6. PLIEGO DE CONDICIONES.....	44
6.1 PROCESO DE SOLDADO DE CHAPAS.....	44
MATERIAL Y EQUIPOS UTILIZADOS	44
EPI's.....	44
NORMATIVA.....	44
6.2 PROCESO DE CORTE DE PIEZAS.....	44
MATERIAL Y EQUIPOS UTILIZADOS	44
EPI's.....	45
NORMATIVA.....	45
6.3 ENSAYO DE TRACCIÓN	45
MATERIAL Y EQUIPOS	45
EPI's.....	45
NORMA	45
6.4 ENSAYO DE MICRODUREZAS.....	46
MATERIAL Y EQUIPOS	46
NORMA	46
6.5 MICROGRAFÍAS	46
MATERIAL Y EQUIPOS	46
EPI's.....	46
NORMA	46
7. PRESUPUESTO	47
7.1 MATERIALES Y CONSUMIBLES	47
7.2 MAQUINARIA.....	47
7.3 MANO DE OBRA	48
7.4 TOTAL.....	48
8. BIBLIOGRAFÍA.....	49
ILUSTRACIONES:.....	49

*SOLDABILIDAD DE LA FUNDICIÓN NODULAR CON APORTE DE VARILLA DE INCONEL 625 Y PROCEDIMIENTO TIG
SOMETIDA A DISTINTOS TRATAMIENTOS TÉRMICOS*

1. OBJETIVO

El proyecto que nos ocupa tiene como objetivo valorar y estudiar los cambios producidos en un material dado tras una serie de tratamientos que se realizarán en dicha probeta mediante ensayos realizados en el laboratorio. El material que se ha utilizado es fundición dúctil y el material de aporte es una varilla de Inconel 625.

Para el proyecto, se procede a soldar mediante soldadura TIG (tungsten inert gas) dos chapas del material que se ha mencionado para cada uno de los casos que detallaremos a continuación.

En el primer caso, las chapas se han soldado a temperatura ambiente y se han dejado enfriar a esta misma temperatura.

Para el segundo de los casos se ha soldado a temperatura ambiente y tras ello, se han introducido las chapas ya soldadas en el horno a 900°C para recocerlas. Posteriormente se han dejado enfriar a temperatura ambiente.

Para el último de los casos, se ha precalentado la probeta a 450°, se ha soldado en ese momento y, por último, se ha dejado enfriar a temperatura ambiente.

Para evaluar los resultados obtenidos en cada uno de los casos se han realizado ensayos de tracción, de micro durezas y se han realizado las micrográficas de cada uno de ellos.

En conclusión, en el proyecto se busca la caracterización de este tipo de soldadura tras todos los procesos mencionados para estudiar posibles aplicaciones en la industria.

2. INTRODUCCIÓN TEÓRICA

2.1 MATERIALES

Para comenzar con este apartado, se cree que lo más correcto es realizar una breve introducción teórica sobre los materiales que se han utilizado en el proyecto.

MATERIAL BASE

En primer lugar, cabe decir que la fundición es el proceso de hacer fluir metal fundido dentro la cavidad de un molde, donde solidifica y adquiere la forma del molde.

En este caso se trata de Fundición nodular que se obtiene a partir del agregado de terceros elementos llamados inoculantes (Mg o Ce) que generan artificialmente

núcleos de precipitación en la fundición en estado líquido y permiten que el C precipite como nódulos y no como láminas.

La microestructura de estas fundiciones suele estar constituida por esferoides rodeados por aureolas de ferrita sobre una matriz de perlita y Se clasifican básicamente en dos clases: Ferrítico y Perlítico.

Para conseguir lo mencionado en anteriormente los inoculantes más efectivos son el Mg y el Ce. Este tipo de fundición posee mejor colabilidad y mayor fluidez que las demás aleaciones Fe-C, pudiéndose fabricar piezas complicadas y difíciles, tiene alta resistencia al desgaste, que es de gran importancia para la fabricación de elementos de máquinas y motores, y admite tratamientos térmicos posteriores, además, posee buena capacidad de amortiguamiento a las vibraciones.

En este tipo de materiales el grafito actúa como lubricante en la superficie de las piezas y su presencia mejora la maquinabilidad y por ello, los valores de alargamiento y resistencia son superiores a la de fundiciones ordinarias.

Generalmente son utilizadas para fabricar piezas que requieren esfuerzos dinámicos como: ejes cigüeñales, discos de freno, etc.

MATERIAL DE APORTE

En cuanto al material de aporte, cabe decir que el Inconel 625 es un acero de aleación de níquel resistente a la corrosión y a la oxidación, que es usado por su alta fuerza y muy buena resistencia a la corrosión acuosa. Su gran fuerza y funcionamiento se debe a la adición de niobio, el cuál actúa con el molibdeno para endurecer la matriz de la aleación.

La aleación 625 tiene excelente fuerza de fatiga y resistencia a quebraduras de corrosión de esfuerzo de iones de cloruro. Esta aleación de níquel se puede soldar fácilmente y se usa frecuentemente para soldar AL-6XN. Esta aleación resiste un amplio rango de ambientes corrosivos y es especialmente resistente a picaduras y corrosión de rendija.

- Este material presenta las siguientes propiedades:
- Alta fuerza de deslizamiento de ruptura.
- Resistencia a la oxidación a 1800° F.
- Resistencia a la corrosión de rendija y a picadura en agua de mar.
- Inmune al agrietamiento por tensión de corrosión causada por el ión cloruro.
- No es magnético.

El Inconel 625 se usa en sistemas de canalización de aviones, industria aeroespacial, sistemas de escape de motores de avión, sistema de reversa de empuje del motor, equipos especializados para agua de mar y equipos de procesamiento químico.

Por otra parte, a continuación, se explicará brevemente todo lo relativo a los procesos utilizados.

2.2 SOLDADURA

Se conoce como soldadura al proceso de unión mediante fusión de dos materiales. Para ello, se aplica calor en la zona de unión para obtener un pequeño volumen de material fundido. Una vez la mezcla de materiales se solidifica, se genera una unión metalúrgica entre los dos materiales.

Podemos encontrar dos tipos de mezclas: directa, cuando únicamente entran en contacto los materiales de las piezas que se desean unir, o indirecta, cuando utilizamos un aporte de otro material de relleno para formar la unión. En el estudio utilizaremos este último tipo de mezcla.

Aunque, generalmente, se asocia la soldadura con los metales, cualquier tipo de material con la capacidad de calentarse, fundirse y solidificarse formando dicha unión, se puede soldar. De este modo, podemos decir que los plásticos y vidrios que cumplan dichas condiciones se pueden soldar, aunque no es lo más común.



ILUSTRACIÓN 1: soldador con EPI's pertinentes realizando una soldadura por arco de plasma (PAW)

TIPOS SOLDADURA

Existen muchos tipos de soldadura, en función de la fuente de energía, la técnica y el equipamiento necesario. A continuación, se muestran los tipos más comunes:

SOLDADURA MIG/MAG (GMAW)

La soldadura MIG/MAG (Metal Inert Gas o Metal Active Gas, dependiendo del gas que se inyecte) también denominada GMAW (Gas Metal Arc Welding o «soldadura a gas y arco metálico») es un proceso de soldadura por arco bajo gas protector con electrodo consumible. El arco se produce mediante un electrodo formado por un hilo continuo y las piezas a unir, quedando este protegido de la atmósfera circundante por un gas inerte (soldadura MIG) o por un gas activo (soldadura MAG). El uso de hilos sólidos y tubulares han aumentado la eficiencia de este tipo de soldadura hasta el 80%-95%.

La soldadura MIG/MAG es un proceso versátil, pudiendo depositar el metal a una gran velocidad y en todas las posiciones. Este procedimiento es muy utilizado en espesores pequeños y medios en estructuras de acero y aleaciones de aluminio, especialmente donde se requiere un gran trabajo manual.

La introducción de hilos tubulares es particularmente favorable para la producción de estructuras pesadas donde se necesita de una gran resistencia de soldadura.

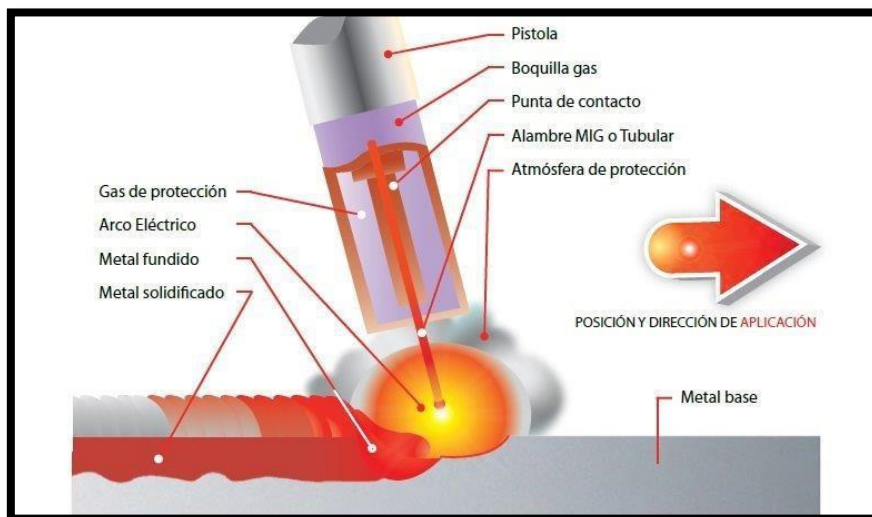


ILUSTRACIÓN 2: Soldadura GMAW

La soldadura por gas inerte de metal (MIG) utiliza un electrodo de metal que sirve como material de relleno para la soldadura y se consume durante la soldadura, el

argón es también el gas primario utilizado en este tipo de soldadura a menudo mezclado con dióxido de carbono.

La soldadura MIG fue desarrollada para metales no ferrosos, pero se puede aplicar al acero.

SOLDADURA CON ARCO PROTEGIDO (SMAW)

Es un proceso de soldadura con arco eléctrico que usa un electrodo consumible y consiste de una varilla de metal de aporte recubierta con materiales químicos que proporcionan un fundente y protección.

Este proceso se llama también soldadura de varilla. El metal de aporte debe ser compatible con el metal que se va a soldar. El recubrimiento consiste en celulosa pulverizada (polvo de algodón y madera) mezclado con óxidos, carbonatos y otros ingredientes mediante un aglutinante de silicato. En ocasiones se incluyen en el recubrimiento polvos metálicos para aumentar la cantidad de metal de aporte. El calor del proceso funde el recubrimiento y proporciona una atmósfera protectora y escoria. También ayuda a estabilizar el arco eléctrico y regula la velocidad a la que se funde el electrodo.

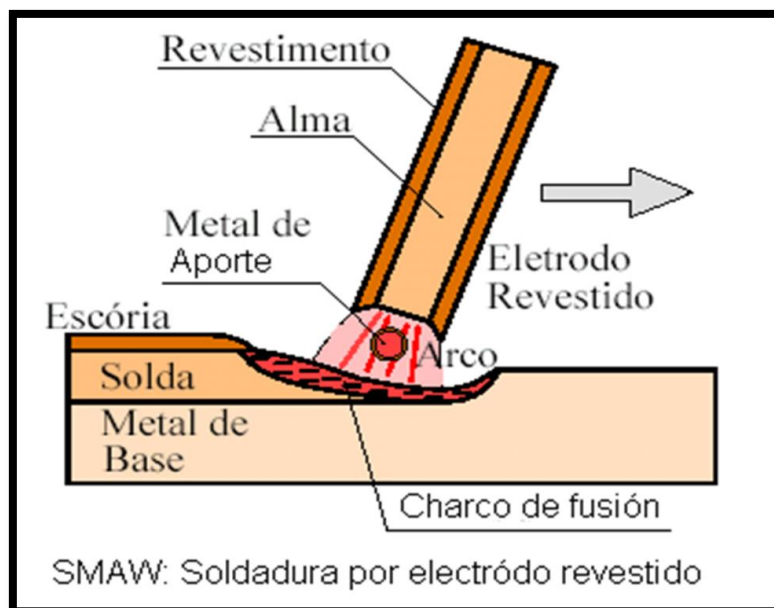


ILUSTRACIÓN 3: Soldadura SMAW

Las desventajas que presenta este proceso son que la varilla se cambia periódicamente y que como varía la longitud del electrodo, esto afecta el calentamiento de la resistencia del electrodo. Los niveles de corriente deben

mantenerse dentro de un rango seguro, o el recubrimiento se sobrecalentará y fundirá prematuramente.

SOLDADURA CON ARCO SUMERGIDO (SAW)

Es un proceso que usa un electrodo de alambre desnudo consumible continuo. El arco eléctrico se protege mediante una cobertura de fundente granular.

El alambre del electrodo se alimenta desde un rollo. El fundente se introduce a la unión ligeramente adelante del arco de la soldadura por gravedad. El manto de fundente granular cubre por completo la operación de soldadura con arco eléctrico, evitando chispas, salpicaduras, radiaciones que son muy peligrosas. Por lo tanto, el operador no necesita usar la máscara protectora. La parte del fundente más cercana al arco se derrite y se mezcla con el metal de soldadura fundido para remover impurezas que después se solidifican en la parte superior de la unión soldada y forman una escoria con aspecto de vidrio. Los granos de fundente no derretidos en la parte superior proporcionan una buena protección de la atmósfera y un buen aislamiento térmico para el área soldada. Esto produce un enfriamiento, bajo una unión soldada de alta calidad con buenos parámetros de resistencia y ductilidad.

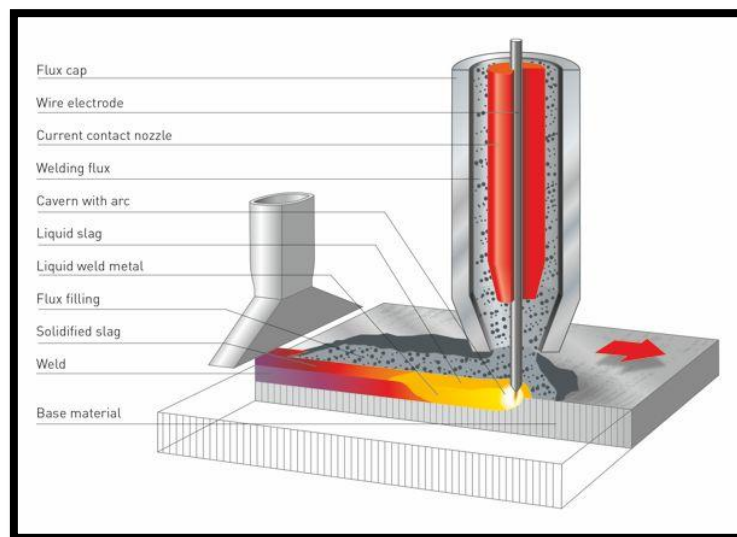


ILUSTRACIÓN 4: Soldadura SAW

El fundente no derretido se puede recuperar y reutilizar. La escoria sólida se quita mediante medios manuales.

SOLDADURA DE TUNGSTENO CON ARCO ELÉCTRICO Y GAS (TIG)

El proceso se puede realizar con metal de relleno o sin metal.

Cuando se usa un metal de aporte este se agrega al pozo de soldadura desde una varilla separada. El tungsteno es un buen material para electrodo debido a su alto punto de fusión 3410 °C. Los gases protectores son argón, helio o mezcla de ellos.

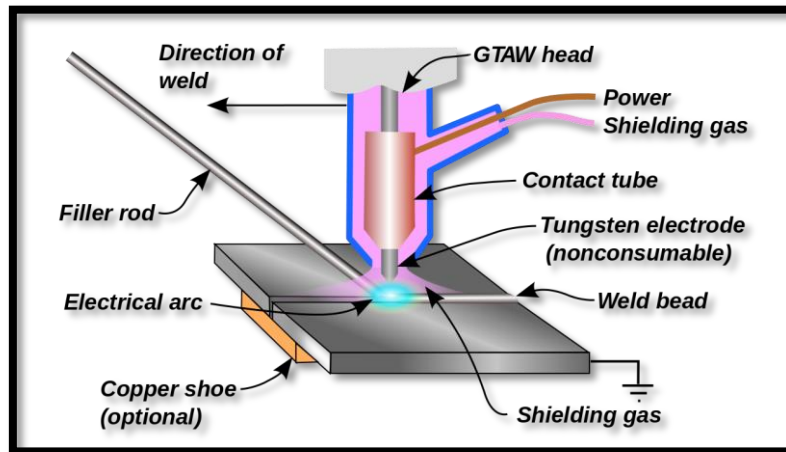


ILUSTRACIÓN 5: Soldadura GTAW o TIG

Este tipo de soldadura se aplica a la mayoría de los metales de diferentes espesores, y para combinaciones de metales diferentes.

Las ventajas son su alta calidad, la ausencia de salpicaduras debido a que no hay material de soporte a través del arco eléctrico y que no requiere limpieza porque no usa fundente.

SOLDADURA POR ARCO DE PLASMA (PAW)

Es una forma especial de soldar con tungsteno con arco eléctrico y gas protector, en la cual se dirige un arco de plasma controlado al área de soldadura. Se coloca un electrodo de tungsteno dentro de una boquilla que concentra una corriente de gas inerte a alta velocidad en la región del arco eléctrico. Esto forma una corriente de arco de plasma intensamente caliente a alta velocidad.

La temperatura en la soldadura por arco de plasma llega a 28000°C y funde cualquier metal. La razón de estas altas temperaturas proviene de la estrechez del arco eléctrico y la concentración de la energía para producir un ahorro de plasma de diámetro pequeño.

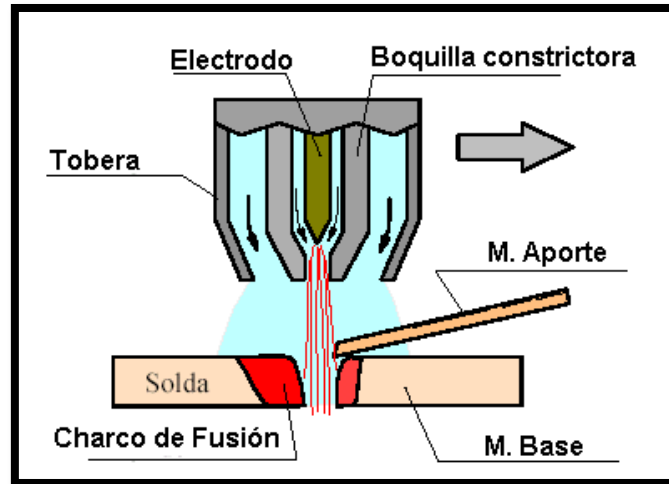


ILUSTRACIÓN 6: Soldadura PAW

Las ventajas de este proceso son buena estabilidad del arco eléctrico, altas velocidades de viaje y una excelente calidad de la soldadura.

En contraposición, las desventajas son que el equipo es costoso y que el tamaño del soplete limita el acceso en algunas configuraciones de unión

SOLDADURA DE PUNTOS POR RESISTENCIA

La soldadura por puntos por resistencia es el proceso predominante en este grupo. Se usa ampliamente en la producción masiva de automóviles y en otros productos a partir de láminas metálicas.

La soldadura de puntos por resistencias es un proceso en el cual se obtiene la fusión en una posición de las superficies mediante una unión superpuesta mediante electrodos opuestos. El proceso se usa para unir partes de láminas metálicas de 3 mm de espesor. El tamaño y la forma de puntos de soldadura se diferencian por medio de la punta de electrodo, la forma del electrodo más común es redonda.

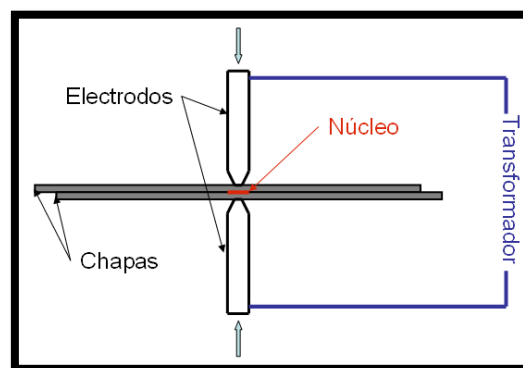


ILUSTRACIÓN 7: Soldadura de puntos por resistencia

Los electrodos son hechos de aleaciones basadas en cobre, o combinaciones cobre-tungsteno (que tiene mayor resistencia al desgaste). Como en todos los procesos de manufactura, las herramientas para la soldadura se desgastan gradualmente con el uso. Los electrodos también se diseñan con canales internos para enfriamiento con agua.

SOLDADURA CON OXIACETILENO

Es un proceso de soldadura por fusión realizada mediante una flama a partir de la combustión del acetileno y el oxígeno. La flama se dirige mediante un soplete de soldadura. En ocasiones se agrega un metal de aporte en forma de varillas. La composición del metal de aporte debe ser similar a la de los metales base. Con frecuencia se recubre el aporte con un fundente lo cual ayuda a limpiar las superficies, evita la oxidación y produce una mejor unión soldada.

El acetileno es el combustible más común. La flama en la soldadura con oxiacetileno se produce mediante la reacción química del acetileno y el oxígeno en dos etapas.

Las dos etapas son visibles en la flama de oxiacetileno que emite el soplete. La reacción de la I etapa se aprecia en el cono interno de la flama (calor blanco brillante), la reacción de la II etapa se observa en la cubierta externa. Casi no tiene color, pero posee matices que van del azul al naranja.



ILUSTRACIÓN 8: Soldadura con oxiacetileno

La temperatura máxima se alcanza en la punta del cono interno. Durante la soldadura la cubierta externa se extiende y protege la superficie que se unen de la atmósfera.

Unos combustibles utilizados son el hidrógeno y el proceso se llama soldadura con oxihidrógeno, el propano, el gas natural, etc.

DEFECTOS

En el proceso de la soldadura, en ocasiones se producen defectos que afectan a las propiedades mecánicas de un material. Los defectos más habituales que ocurren en estos procesos son los siguientes:

DEFORMACIONES

En el momento de la soldadura, el material depositado y zonas vecinas a la unión, alcanzan temperaturas muy altas, que al enfriarse se contraen. Si las contracciones no están impedidas por los elementos que rodean la soldadura, se originan deformaciones tales como acortamientos o deformaciones angulares.

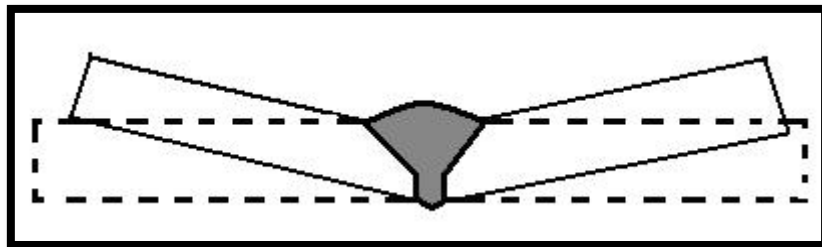


ILUSTRACIÓN 9: Defecto de soldadura por deformación

Para evitar que se produzcan deformaciones, la soldadura debe efectuarse sin que se aporte excesivo calor.

TENSIONES RESIDUALES

Cuando la masa fría que rodea la soldadura impide su contracción durante el enfriamiento, se origina en la soldadura y en las piezas unidas un campo de tensiones residuales que requieren ser previstas y controladas para que no resulten peligrosas al combinarse con las de las cargas.

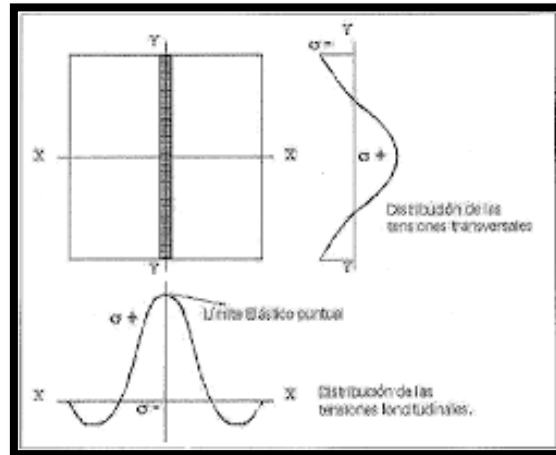


ILUSTRACIÓN 10: Tensiones residuales producidas en las soldaduras.

PENETRACIÓN INSUFICIENTE

La falta de penetración en una soldadura a tope genera un defecto interno que no puede detectarse a simple vista. Este defecto debe detectarse con US, pues no es detectable con RX.

Se produce si el chaflán de la soldadura no está totalmente lleno o cuando el contacto entre el metal base y el metal de aportación no está completo en toda su superficie.

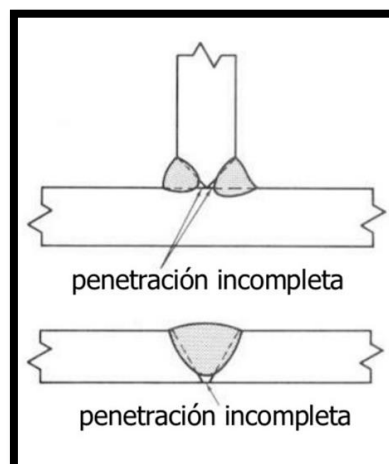


ILUSTRACIÓN 11: Defecto por falta de penetración en la soldadura

Este defecto puede deberse a una falta de definición de proyecto; a veces los talleres realizan las mínimas soldaduras posibles para abaratar costos o no efectúan las preparaciones de borde requeridas por norma. Si se reduce el ángulo del bisel y la separación entre chapas, se reduce también el metal de aportación y no funden correctamente los bordes extremos, produciendo una unión defectuosa.

FALTA DE FUSIÓN

Este es uno de los defectos internos más serios que puede haber en una soldadura. Se produce cuando el electrodo o material de aportación fundido cae sobre el material base.

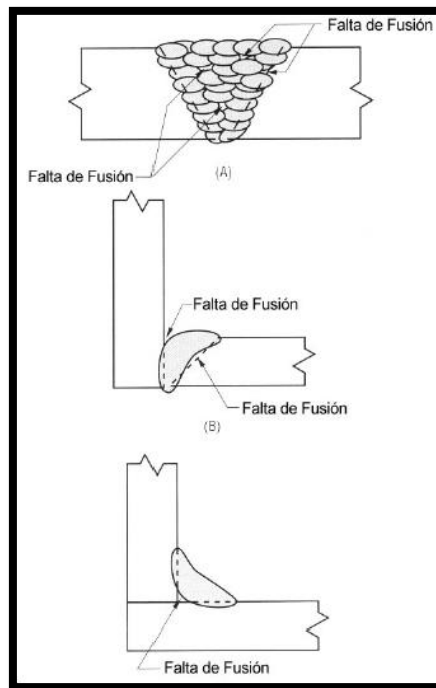


ILUSTRACIÓN 12: Defecto de falta de penetración en la soldadura

FISURAS O GRIETAS

Las fisuras o grietas pueden originarse en forma interna o externa, y es también un defecto grave. Puede que la causa se encuentre en el uso de un electrodo inadecuado o que se ha producido un enfriamiento de la soldadura demasiado rápido generalmente en piezas de espesor considerable que no han sido precalentadas.

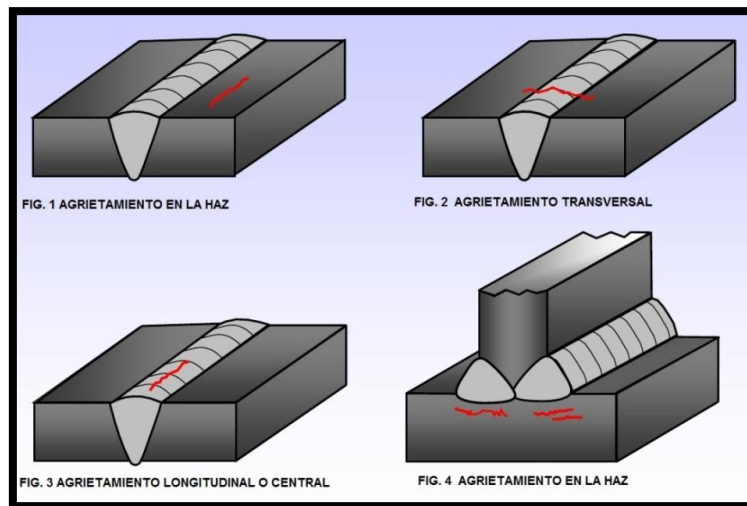


ILUSTRACIÓN 13: Posibles fracturas que se pueden producir en una soldadura

Cuando el defecto es externo se detecta con líquidos penetrantes y partículas magnéticas. Cuando es interno, solo se detecta con RX y US.

FORMACIÓN DE POROS

La "Porosidad", se refiere a las discontinuidades de tipo cavidad o poros formados por el aprisionamiento de gas durante la solidificación del metal de soldadura fundido.

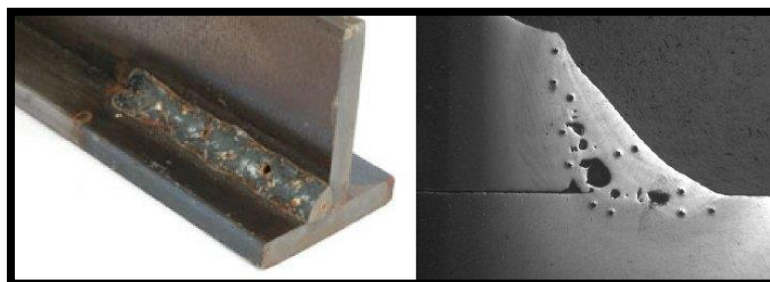


ILUSTRACIÓN 14: Ejemplos de porosidad en soldadura

La formación del gas puede ser formado por reacciones químicas durante la soldadura con alto contenido de azufre en la plancha y/o en el electrodo, humedad excesiva en el electrodo en los bordes de la plancha base, el arco excesivamente corto, corriente incorrecta o polaridad inversa, corrientes de aire, limpieza prematura de la escoria al terminar una pasada, pues, no hay que olvidar que la escoria evita el enfriamiento demasiado rápido del metal fundido.

2.3 ENSAYOS

Para terminar con la introducción teórica, se va a realizar una pequeña explicación sobre los diferentes ensayos que se han realizado:

ENSAYO DE TRACCIÓN

Las propiedades mecánicas de los materiales indican el comportamiento de un material cuando se encuentra sometido a fuerzas exteriores, como por ejemplo un estiramiento del material por una fuerza externa a él.

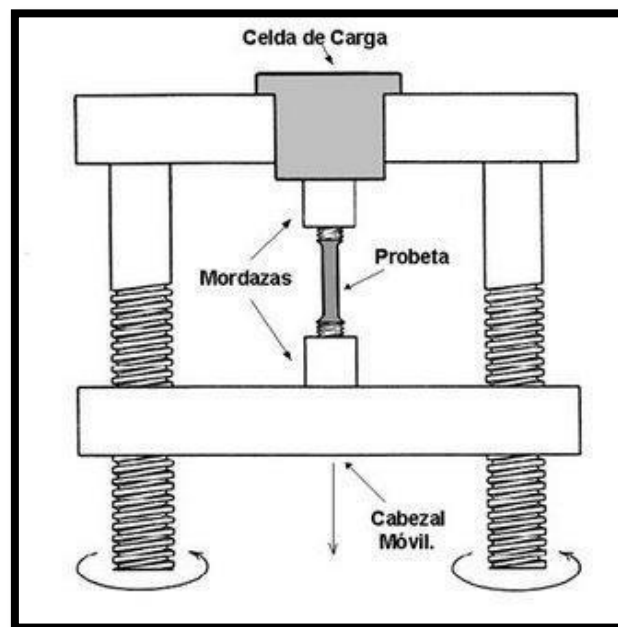


ILUSTRACIÓN 15: Esquema de máquina de ensayos de tracción

El ensayo de tracción es probablemente el tipo de ensayo más fundamental de todas las pruebas mecánicas que se puede realizar en un material. Los ensayos de tracción son simples, relativamente baratos, y totalmente estandarizados (normalizados).

En este ensayo se somete al material a una fuerza de tracción, es decir, se le aplica una fuerza o varias fuerzas externas que van a tratar de estirar el material. De hecho, durante el ensayo lo estiraremos haciendo cada vez más fuerza sobre él hasta llegar a su rotura.

Estirando el material, podemos determinar rápidamente cómo el material va a reaccionar ante las fuerzas que se le aplican y que tratan de estirarlo. A medida que estiramos el material, iremos viendo la fuerza que hacemos en cada momento y la cantidad que se estira el material (alargamiento).

Lógicamente Los ensayos de tracción se realizan con los materiales dúctiles, con un cierto grado de plasticidad, tales como los materiales metálicos ferrosos y no ferrosos, plásticos, gomas, fibras, etc.

Los datos obtenidos en los ensayos de tracción se pueden utilizar para comparar distintos materiales y comprobar si algunos de ellos podrán resistir los esfuerzos a los que va a estar sometido cuando es utilizado en una determinada aplicación, por ejemplo, un metal en un puente, un ladrillo en una vivienda, una viga, etc.

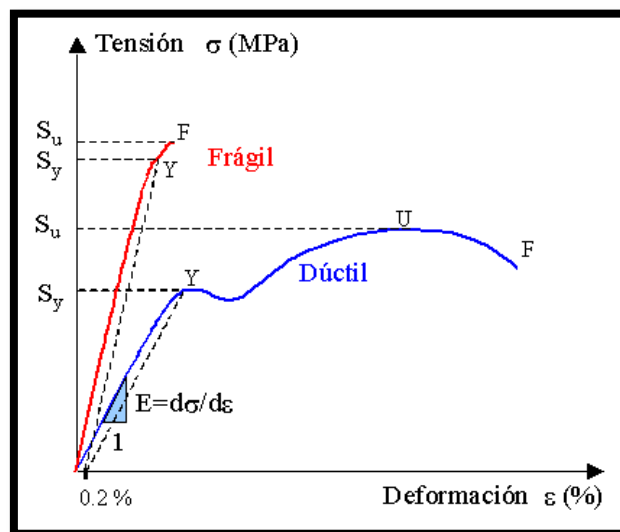


ILUSTRACIÓN 16: Gráfica modelo de ensayo de tracción

Para estos ensayos se utilizan trozos de material llamados "probetas" o "muestras". Una probeta del material es un trozo de material con dimensiones normalizadas para realizar ensayos, como el de tracción. Estas dimensiones normalizadas son la longitud de la probeta y el área de su sección transversal.

FÓRMULA PARA LA OBTENCIÓN DE LA TENSIÓN EN LA PROBETA

$$\sigma = \frac{F}{S}$$

Dónde:

σ =Tensión (MPa)

F= fuerza aplicada a la probeta en el ensayo (N)

S= sección de la probeta (mm²)

FÓRMULA PARA LA OBTENCIÓN DE LA ELONGACIÓN DE LA PROBETA:

$$\varepsilon = \frac{l_f - l_0}{l_0} = \frac{\Delta l}{l_0}$$

Dónde:

ε = elongación (mm)

L_f=longitud final de la probeta (mm)

L₀=longitud inicial de la probeta (mm)

FÓRMULA PARA LA OBTENCIÓN DEL MÓDULO DE YOUNG

$$E = \frac{F \times l_0}{\Delta l \times S} = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

Dónde:

E= Módulo de Young

F= fuerza aplicada (N)

L₀=Longitud inicial de la probeta (mm)

S= Sección de la probeta (mm²)

σ = Tensión (MPa)

ε = Elongación (mm)

ENSAYO DE MICRODUREZAS

Ensayo a la dureza Vickers. Es el que se emplea para determinar la dureza de un material mediante la penetración en él de un diamante de forma piramidal. Se emplea fundamentalmente en los ensayos de materiales de gran dureza y de piezas con secciones muy pequeñas, o en capas muy finas exteriores como son: las nitruradas, cementadas, etc.

Los ensayos a la dureza se basan en la Ley de semejanza que expresa: Los cuerpos semejantes de un material homogéneo cuando se les aplica una carga igual en magnitud y distribución, reciben un esfuerzo y se deforman en igual grado, tanto dentro como fuera de los límites de elasticidad y proporcionalmente al cuadrado de sus dimensiones lineales.

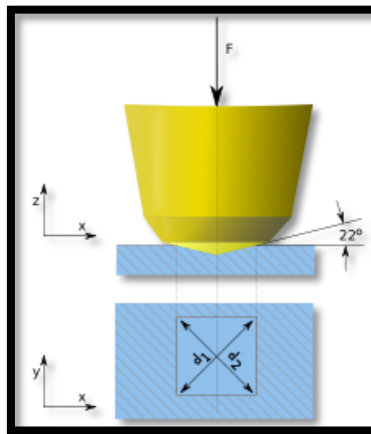


ILUSTRACIÓN 17: modelo de punzón para ensayo de microdurezas

Consiste en la penetración de un diamante piramidal tetraédrico con un ángulo entre aristas de 136° en la superficie que se ensaya, y se expresa por el valor numérico de la dureza, que se obtiene dividiendo la carga (kgf) entre la superficie lateral de la huella (mm^2) calculada por las diagonales.

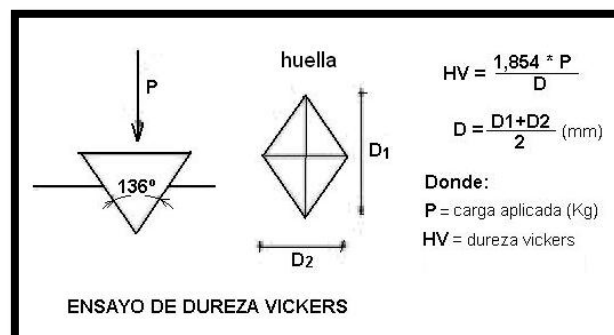


ILUSTRACIÓN 18: ecuaciones para la obtención de los valores de un ensayo de microdurezas

3. MÉTODOS O PROCESOS

3.1 MATERIALES

Para el proceso de soldadura se van a utilizar 6 chapas de fundición nodular de 50x100x6mm.

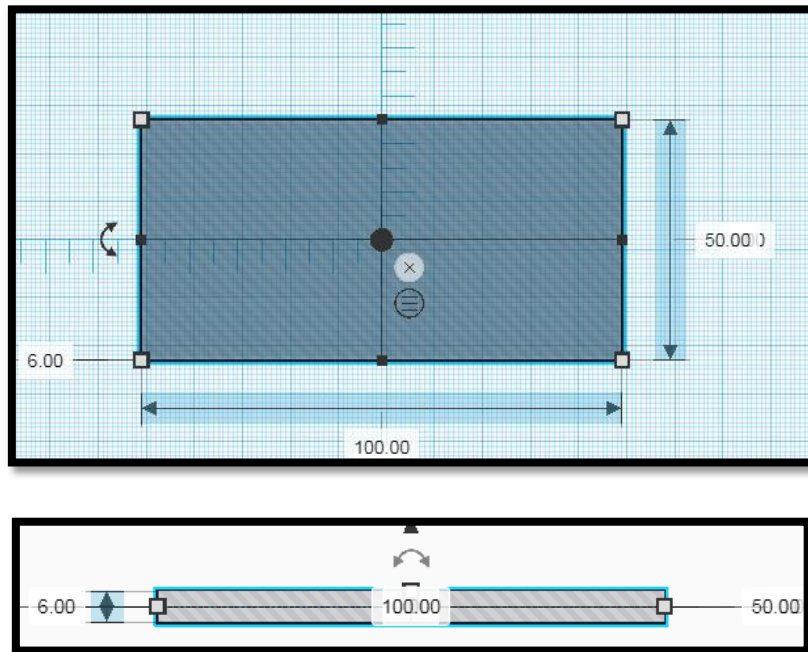


ILUSTRACIÓN 19: Plano de las chapas de fundición nodular utilizadas.

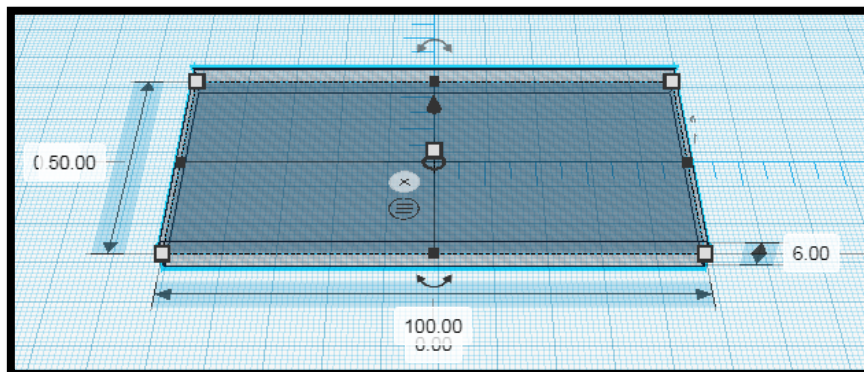


ILUSTRACIÓN 20: Imagen de las chapas utilizadas en 3D.

Para el material de aporte se va a utilizar Inconel 625 en forma de varilla de 3 mm de diámetro y 1000mm de longitud.



ILUSTRACIÓN 21: varilla de Inconel 625.

3.2 SOLDADURA

DESCRIPCIÓN

Para el proyecto se ha usado el proceso TIG de soldadura, ya que el cordón de la soldadura presenta un buen resultado y el material de aporte es en forma de varilla de 0.5mm de diámetro.

El equipo que se ha usado para soldar es el TIGMIG170. Además, se usará un electrodo de tungsteno, el gas argón para la atmosfera protectora y un cable de toma de tierra que ira conectado a cualquier elemento metálico.



ILUSTRACIÓN 22: equipo de trabajo TIG TIGMIG170.

Además, se ha usado un horno DE MUFLA para realizar los tratamientos térmicos pertinentes en el proyecto.



ILUSTRACIÓN 23: horno DE MUFLA.

Para la realización del proceso, se han utilizado guantes, máscara automática de soldadura, botas de seguridad, polainas, mandil, manguitos y una chaqueta de trabajo cumpliendo así con los requisitos mínimos de EPI's.

PROCEDIMIENTO

Para explicar el procedimiento que se ha seguido, separaremos la descripción del procedimiento para cada uno de los casos.

Cabe decir que, para realizar dicho procedimiento, se han testado los equipos previamente cada vez y se ha realizado una puesta en marcha y montaje convenientes.

Además, se ha realizado la preparación de las piezas, mediante una limpieza con disolvente universal para asegurarse de que estuviesen limpias y realizando un bisel a 45° de inclinación para asegurarse del buen acabado de la soldadura.

CASO 1

En primer lugar, se ha fijado cada chapa a la mesa de trabajo mediante sargentos, dejando ambas en forma de V de manera que en el inicio de la unión la separación fuese mínima y esta fuera acrecentándose conforme se ha ido avanzando en la unión.

A continuación, se han punteado las chapas de derecha a izquierda en el punto inicial de unión, en el punto centro de la unión y en el último punto de esta.

El siguiente paso, ha sido la realización de un primer cordón de soldadura para asegurar una correcta penetración.

Más tarde, se ha realizado un segundo y tercer cordón de material para tener la seguridad de que todo el material ha quedado depositado y se ha rellenado toda la unión correctamente.

Por último, se ha dejado enfriar la pieza a temperatura ambiente.

CASO 2

En primer lugar, se ha fijado cada chapa a la mesa de trabajo mediante sargentos, dejando ambas en forma de V de manera que en el inicio de la unión la separación fuese mínima y esta fuera acrecentándose conforme se ha ido avanzando en la unión.

A continuación, se han punteado las chapas de derecha a izquierda en el punto inicial de unión, en el punto centro de la unión y en el último punto de esta.

El siguiente paso, ha sido la realización de un primer cordón de soldadura para asegurar una correcta penetración.

Más tarde, se ha realizado un segundo y tercer cordón de material para tener la seguridad de que todo el material ha quedado depositado y se ha rellenado toda la unión correctamente.

Por último, se ha calentado la pieza ya unida en el horno a 900°C durante una hora y media aproximadamente y se ha dejado tras esto, enfriar a temperatura ambiente.

CASO 3

En primer lugar, se han precalentado las chapas a 450°C durante 15 minutos, asegurándose de que la temperatura fuera uniforme en toda la pieza.

En segundo lugar, se han sacado las piezas del horno y se han dejado sobre la mesa de trabajo.

Se ha fijado cada chapa a la mesa de trabajo mediante sargentos, dejando ambas en forma de V de manera que en el inicio de la unión la separación fuese mínima y esta fuera acrecentándose conforme se ha ido avanzando en la unión.

A continuación, se han punteado las chapas de derecha a izquierda en el punto inicial de unión, en el punto centro de la unión y en el último punto de esta.

El siguiente paso, ha sido la realización de un primer cordón de soldadura para asegurar una correcta penetración.

Más tarde, se ha realizado un segundo y tercer cordón de material para tener la seguridad de que todo el material ha quedado depositado y se ha rellenado toda la unión correctamente.

Por último, se ha dejado enfriar la pieza a temperatura ambiente.

Para acabar dicho proceso se ha usado una amoladora para lograr eliminar el material sobrante de los cordones de soldadura y poder proceder a la elaboración de las probetas.

3.3 FABRICACION DE PROBETAS

DESCRIPCIÓN

Una vez realizados los cordones de soldadura correctamente y su acabado, se ha realizado una división de las chapas soldadas en probetas.

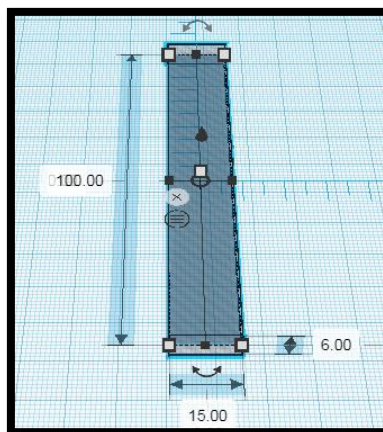


ILUSTRACIÓN 24: imagen 3D y medidas de las probetas usadas en los ensayos

Para esto, se ha utilizado una tronzadora refrigerada con taladrina. Cabe decir que al ser fundición dúctil el corte ha sido limpio y preciso.



ILUSTRACIÓN 25: tronzadora refrigerada con taladrina

Las probetas que se han elaborado son de 15x100x6mm y han sido un total de 3 probetas por caso.

Para el corte se han usado guantes para la manipulación de las chapas a la hora de introducirlas en la sierra, gafas de protección y botas de seguridad.

PROCEDIMIENTO

En primer lugar, se ha marcado en las chapas soldadas una línea cada 15mm de ancho desechando el inicio y el final del cordón, que posteriormente se han usado para el estudio de las micrografías.

Una vez marcadas las chapas para delimitar las probetas, se han introducido en la tronzadora y se ha ajustado la hoja al centro de la línea, se ha cerrado la puerta de seguridad de la tronzadora que sirve como protección y se ha apretado el botón de puesta en marcha de la máquina.

Por último, únicamente se ha apretado la palanca hacia abajo progresivamente hasta que el corte ha quedado realizado.

Este proceso se ha repetido para la elaboración de cada una de las probetas.

3.4 ENSAYOS

ENSAYO DE TRACCIÓN

DESCRIPCIÓN

Se ha usado este tipo de ensayo ya que en él se somete la probeta a una fuerza de tracción, que hace que dicha probeta se estire hasta que alcanza en primer lugar una tensión de deformación y por último una tensión de rotura, concepto que ya se ha explicado anteriormente.

En el ensayo, se ha usado una máquina ibertest x de 10Tn. Como se puede ver en la ilustración, está formada por dos cabezales, uno fijo, el superior, y el otro ajustable mediante control remoto. Todos los resultados obtenidos se muestran en un ordenador conectado directamente a la máquina por lo que esta carece de display.



ILUSTRACIÓN 26: máquina de ensayos de tracción Ibertest 10 Tn.

Mediante esta máquina hemos conseguido caracterizar las probetas de cada uno de los casos, además, para obtener un resultado estadísticamente aceptable se han realizado 3 ensayos por caso.

No ha sido necesario el uso de EPI's.

PROCEDIMIENTO

En primer lugar, se han introducido los datos pertinentes en el software de la maquina (dimensión, espesor y sección).

Tras haber realizado el primer paso, el software ha indicado los pasos a seguir:

Sujetar la probeta en la mordaza del brazo móvil sin apretar del todo.

Presionar el botón para accionar el avance vertical

Introducir la parte superior de la probeta en la parte superior de la mordaza mediante el avance.

Apretar las mordazas y presionar la barra espaciadora del teclado del ordenador para dar comienzo al ensayo.

ENSAYO DE MICRODUREZAS

DESCRIPCIÓN

El ensayo de microdurezas, así como el ensayo de tracción, se utiliza para caracterizar el comportamiento de un material. Es decir, se puede saber la dureza del material según el tamaño de la huella obtenida se podrá predecir el comportamiento del material y su dureza.

Para poder realizar el ensayo, en primer lugar, se ha cortado cada probeta usando la sierra manual refrigerada mediante taladrina que ya hemos explicado anteriormente y posteriormente, se ha empastillado cada una de las probetas. Únicamente se empastillarán 5 mm de material y el cordón de soldadura para ver correctamente el resultado obtenido.



ILUSTRACIÓN 27: máquina de empastillado.

Y por último para tener listas las probetas, se ha usado la desbastadora con un grano de tamaño 220, de 500 y por último con pasta de diamante de 3 μm hasta que la superficie ha quedado lista para ser usada.



ILUSTRACIÓN 28: desbastadora.

Para ser usadas, las probetas se han atacado con nital para eliminar la suciedad que en ellas hubiera y se han limpiado con alcohol y se han secado con secador convencional. Ahora sí, las probetas han estado listas para usarse.



ILUSTRACIÓN 29: ejemplo de probeta empastillada.

Para la realización del ensayo de microdurezas se ha usado la máquina de ensayos x. en cada una de las probetas se han realizado 9 ensayos, es decir, 3 ensayos en la interfase, 3 en el material y 3 en el cordón de soldadura para cada uno de los casos. Además, cabe decir que se ha realizado con una carga de 0.3 Kgp.



ILUSTRACIÓN 30: máquina de ensayos de microdurezas.

PROCEDIMIENTO

Para explicar paso por paso cada uno de los procesos los dividiremos para explicar correctamente cada uno de ellos.

Corte con tronzadora

El proceso es el mismo que el mencionado anteriormente con la misma máquina para el corte de las probetas teniendo en cuenta las dimensiones que se concretan en la descripción de este proceso.

Empastillado

En primer lugar, tras haber dejado lista la máquina para su funcionamiento (comprobar que hay presión de gas y la toma de agua está conectada) se ha movido el pistón hasta una distancia de aproximadamente 50mm por debajo del nivel del borde

A continuación, se ha introducido la probeta con la parte que se deseaba estudiar en contacto con el pistón.

Tras esto se ha llenado toda la cavidad con un compuesto termo endurecible, el polimetil metacrilato, material específico para este tipo de ensayos, hasta el borde de la cavidad enrasándolo.

Se ha cerrado la tapa de dicha cavidad hasta que ha hecho tope. Una vez realizado esto, se ha apretado la palanca que acciona el pistón hacia arriba para ejercer la presión.

El siguiente paso, será conectar la máquina para que comience a suministrar calor al material a embutir.

Se ha esperado alrededor de unos 20 minutos hasta que la probeta ha estado embutida y la refrigeración ha actuado hasta enfriarla.

Por último, se ha apretado la palanca de la embutidora para llevar el pistón hacia abajo y se ha abierto la tapa. Una vez hecho esto, se ha subido el pistón y se ha extraído la probeta ya embutida.

Desbaste

Para iniciar el proceso, se ha cogido la probeta recién embutida y, una vez encendida la máquina y con su puesta en marcha pertinente, se ha empezado a pasar en sentido longitudinal de la probeta por el grano de 220 hasta obtener un resultado nítido y limpio de la superficie y evitando que se biselen las piezas.

Una vez conseguido esto, se ha girado la probeta 180° y se ha comenzado a pasar por la hoja de 500 de grano hasta obtener otra vez un resultado nítido y sencillo y evitando biseles.

El paso siguiente, ha sido pasar la pieza por la hoja de diamante de 3 μm , previa aplicación de aceite específico para dicho proceso y de pasta de diamante de 3 μm , hasta obtener una superficie brillante y sin biseles que ya se pudiera utilizar en el microscopio para ver la microestructura.

Ataque

Para este último proceso antes de la realización del ensayo, en primer lugar, se han preparado dos cacitos, uno con nital y otro con alcohol. Una vez hecho esto se ha introducido la probeta en nital, dejándola unos segundos e introduciéndola en el alcohol al sacarla.

Tras esto, se ha sacado del alcohol y se ha secado con un secador convencional.

Tras terminar este proceso, ya estaría lista la probeta para el ensayo.

Ensayo de microdurezas (procedimiento)

En primer lugar, se ha introducido la pieza sobre la superficie del microscopio.

Con la lente de 50 aumentos, se ha localizado la interfase dejando la imagen lo más nítida posible al ojo humano.

Tras esto, se ha presionado el botón de cambio de herramienta y con la lente de 200 aumentos se ha localizado la zona a ensayar para cada caso.

A continuación, se ha seleccionado el punzón del cabezal de herramientas y se ha presionado el botón que lo acciona para iniciar el ensayo.

Mediante la mira, una vez terminado el proceso, se ha cambiado el cabezal a la lente de 200 aumentos y se ha localizado la marca realizada ha medido dicha marca mediante un micrómetro acoplado a la lente y se han introducido las marcas en el display.

Una vez introducidas las dimensiones en la máquina, esta nos ofrece la medida de la dureza en dicho material.

Este proceso se repite para cada una de las probetas en cada uno de los ensayos.

MICROGRAFÍAS

DESCRIPCIÓN

Este ensayo se utiliza para realizar una valoración gráfica de la estructura que se ha obtenido tras el proceso de soldadura y así poder terminar de caracterizar el material en cuestión que se ha obtenido.

Cabe decir que para este ensayo se han utilizado las mismas probetas que en el ensayo de microdurezas por lo que se han observado 3 probetas, cada una perteneciente a sus respectivos casos por lo que no será necesario explicar de nuevo la realización de las probetas. En dichas probetas se ha realizado una imagen de la interfase, una de la soldadura y otra del material.

El ensayo se ha realizado con un microscopio metalográfico en el que se ha acoplado una cámara de fotos. Para dicho ensayo, se pueden usar las distintas lentes del microscopio según la necesidad de cada persona, pero para este proyecto que nos ocupa, se han realizado las imágenes con la lente de 200 aumentos.



ILUSTRACIÓN 31: microscopio metalográfico.

PROCEDIMIENTO

En primer lugar, se ha introducido la probeta sobre la bandeja del microscopio, se ha seleccionado la lente de 200 aumentos y se ha dejado la imagen nítida para el observador.

A continuación, se ha puesto en marcha el ordenador y el software de la cámara, que sirve para el uso de dicha cámara.

Para la toma de fotos se ha seleccionado un punto y dividiendo la imagen en 5 partes o secciones se ha ido regulando el microscopio para obtener la visión más clara posible de cada una de las 5 secciones, por lo que hay 5 imágenes.

El siguiente paso, ha sido entrar en una opción del software que funde las 5 imágenes en una sola obteniendo de cada una de ellas la parte más nítida de cada una de las 5 secciones antes mencionadas por lo que obtendremos la máxima resolución posible.

Una vez hecho esto, ya se han tenido las imágenes listas para analizarlas.

4. RESULTADOS

4.1 RESULTADOS GRÁFICOS

A continuación, se puede ver el resultado final de la soldadura de las chapas tras todo el proceso:

CASO 1:



ILUSTRACIÓN 32: chapas soldadas pertenecientes al caso 1 del proyecto

CASO 2:



ILUSTRACIÓN 33: chapas soldadas pertenecientes al caso 2 del proyecto

CASO 3:



ILUSTRACIÓN 34: chapas soldadas pertenecientes al caso 3 del proyecto

Además, estos son los resultados de la máquina de ensayos, el número 13 corresponde al caso 1, el número 14 corresponde al caso 2 y el número 15 al caso 3:

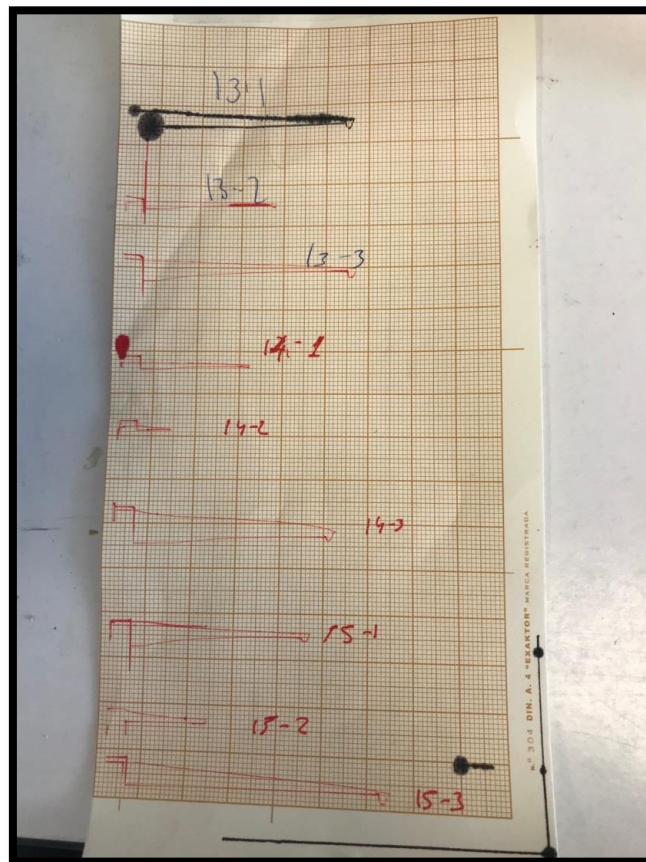


ILUSTRACIÓN 35: gráficas de tensión-deformación obtenidas en el ensayo de tracción

4.2 ENSAYO TRACCIÓN

Los resultados obtenidos tras el proceso que se ha detallado anteriormente han sido:

CASO 1 (Tª AMBIENTE):

<i>Probeta</i>	<i>Sección (mm²)</i>	<i>Fuerza de rotura (KN)</i>	<i>Tensión de rotura (MPa)</i>
1	71.595	26	356.17
2	76.31	17	222.78
3	68.265	26	380.87
Media	69.93	26	368.52

Se descarta la probeta nº2 debido a su desviación ya que se ha observado que dicha probeta posee un defecto.

CASO 2 (RECOCIDO)

<i>Probeta</i>	<i>Sección (mm²)</i>	<i>Fuerza de rotura (KN)</i>	<i>Tensión de rotura (MPa)</i>
1	35.24	14	397.275
2	72.15	5	69.3
3	63.27	23.95	378.53
Media	49.255	18.975	387.903

Se descarta la probeta nº 2 debido a su desviación ya que se ha observado que dicha probeta posee un defecto.

CASO 3 (PRECALENTADO)

<i>Probeta</i>	<i>Sección (mm²)</i>	<i>Fuerza de rotura (KN)</i>	<i>Tensión de rotura (MPa)</i>
1	73.54	21.2	288.278
2	31.9	10	310.65
3	68.265	29.5	432.14
Media	52.72	15.6	299.264

Se descarta la probeta nº3 debido a que no se puede tomar el valor como real ya que dicha probeta no parte por la soldadura sino por el material.

A continuación, se muestra una gráfica que compara los resultados de tensión para cada caso:

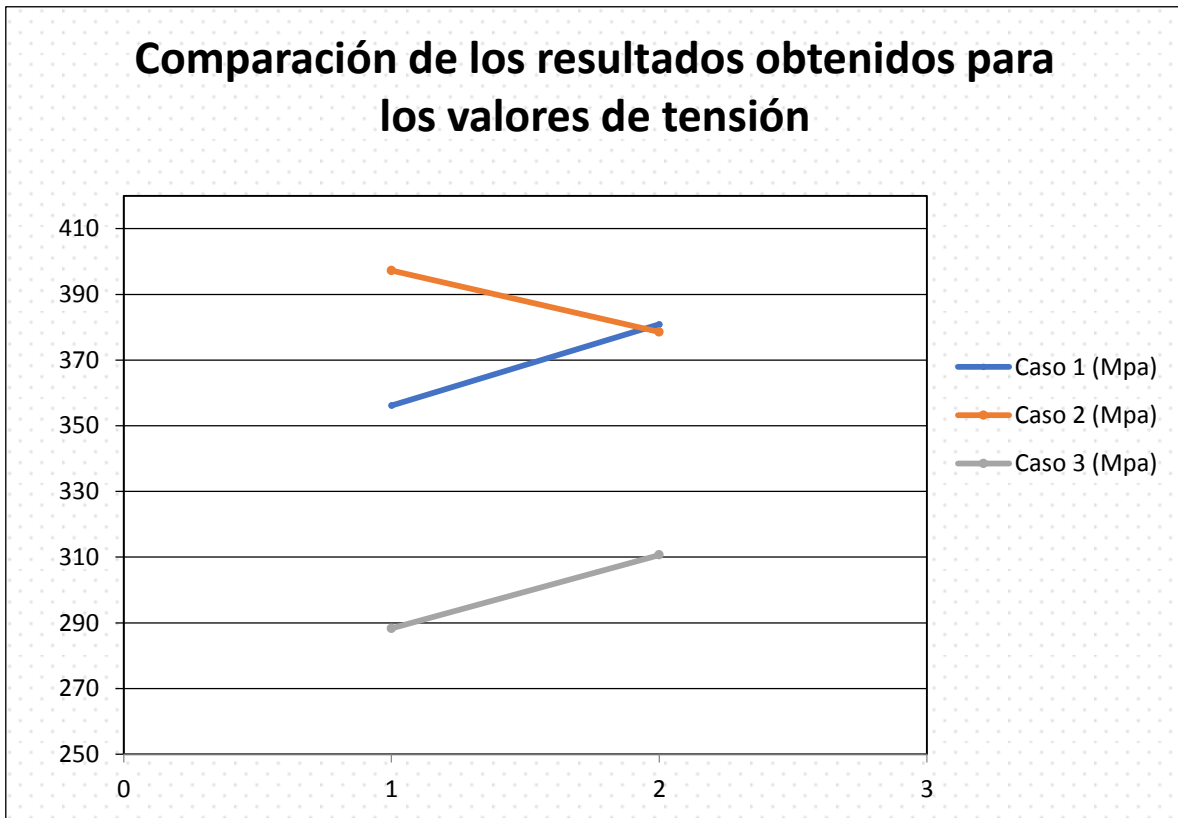


ILUSTRACIÓN 36: comparación de los resultados obtenidos en los ensayos de tracción para cada una de las probetas (1,2)

4.3 ENSAYO DUREZAS

Los resultados obtenidos para cada caso en este ensayo son:

CASO 1:

Ensayo	Soldadura (HV)	Interfase (HV)	Material (HV)
1	431.2	507.3	391.4
2	402.2	463.5	330.7
3	413.4	566.7	347.8
Media	415.6	512.5	356.64

CASO 2:

<i>Ensayo</i>	<i>Soldadura (HV)</i>	<i>Interfase (HV)</i>	<i>Material (HV)</i>
1	407.8	261.7	214.3
2	402.2	271.4	194.4
3	396.7	279.9	190.7
Media	402.23	271	199.8

CASO 3:

<i>Ensayo</i>	<i>Soldadura (HV)</i>	<i>Interfase (HV)</i>	<i>Material (HV)</i>
1	437.4	626.3	279
2	419.2	605.4	296.6
3	407.8	576	314.9
Media	421.47	602.57	296.84

A continuación, se muestra una gráfica que compara los valores de los ensayos obtenidos. En esta gráfica se pueden ver los valores clasificados por caso en cuanto a tratamiento térmico se refiere, además se puede observar la comparación de los valores obtenidos para la soldadura (en el eje X con valor 1), para la interfase (en el eje X con valor 2) y para el material base (en el eje X con valor 3).



ILUSTRACIÓN 36: comparación de los resultados obtenidos en los ensayos de microdurezas para cada uno de los ensayos realizados en cada una de las partes de las probetas (1,2,3)

4.4 MICROGRAFÍA

CASO 1

MATERIAL X200 AUMENTOS

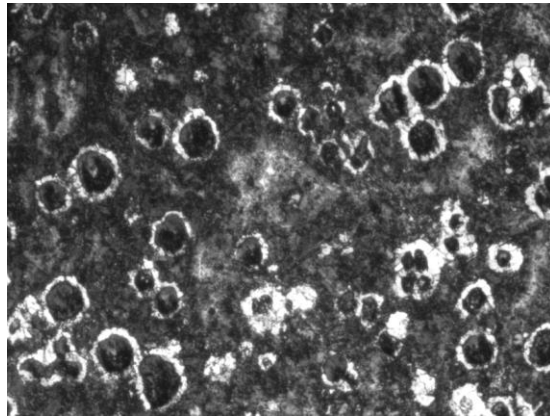


ILUSTRACIÓN 37: imagen del microscopio de la probeta a 200 aumentos en la parte del material. Caso 1.

En la imagen podemos observar una estructura nodular ferrítico-perlítica.

INTERFASE X200 AUMENTOS

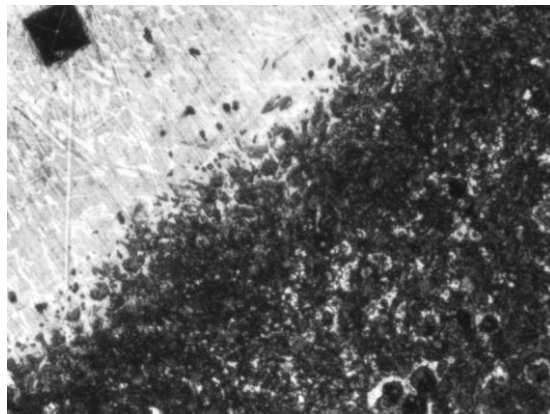


ILUSTRACIÓN 38: imagen del microscopio de la probeta a 200 aumentos en la parte de la interfase. Caso 1.

En esta imagen, se observa una estructura martensítica con matriz austenítica y precipitados de fundición blanca.

SOLDADURA X200 AUMENTOS



ILUSTRACIÓN 39: imagen del microscopio de la probeta a 200 aumentos en la parte de la soldadura. Caso 1.

En esta imagen se pueden ver precipitados de carburos de cromo con matriz austenítica.

CASO 2

MATERIAL X200 AUMENTOS

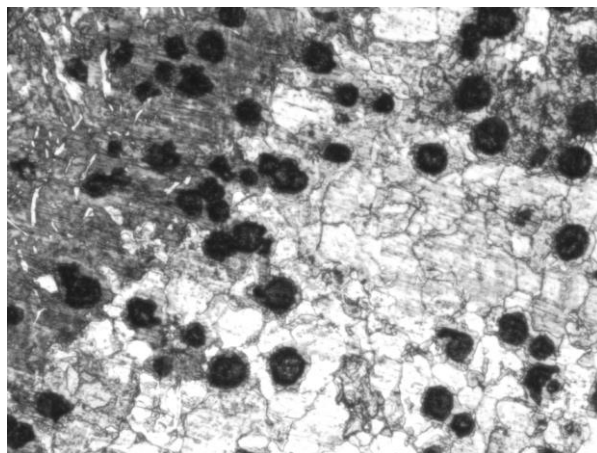


ILUSTRACIÓN 40: imagen del microscopio de la probeta a 200 aumentos en la parte del material. Caso 2.

Se puede observar una estructura ferrítica con grafito nodular.

INTERFASE X200 AUMENTOS

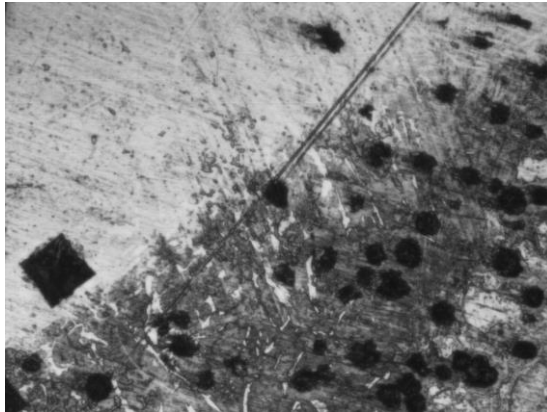


ILUSTRACIÓN 41: imagen del microscopio de la probeta a 200 aumentos en la parte de la interfase. Caso 2.

Se observa una estructura ferrítica con grafito nodular además de perlita.

SOLDADURA X200 AUMENTOS

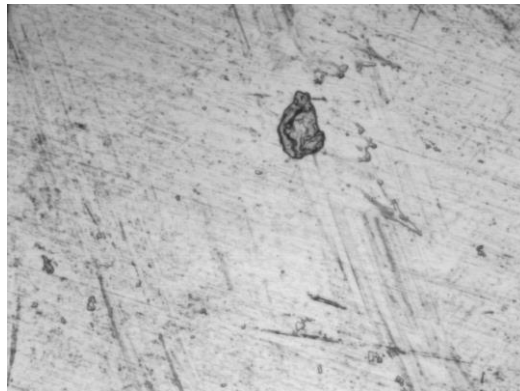


ILUSTRACIÓN 42: imagen del microscopio de la probeta a 200 aumentos en la parte de la soldadura. Caso 2.

Se pueden ver carburos de cromo con matriz austenítica, esto se debe a que este material necesita unas temperaturas muy altas para transformar su microestructura.

CASO 3

MATERIAL X200 AUMENTOS

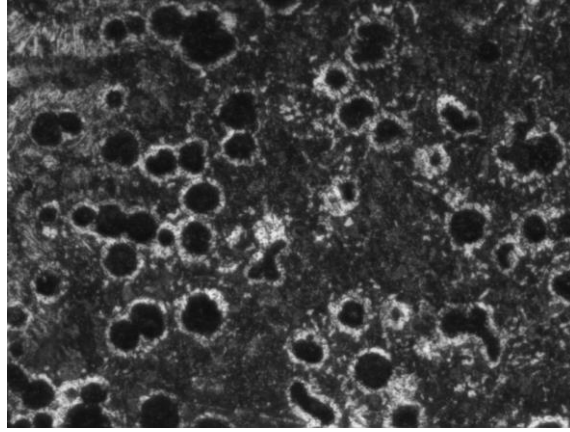


ILUSTRACIÓN 43: imagen del microscopio de la probeta a 200 aumentos en la parte del material. Caso 3.

Podemos observar una estructura perlítica con grafito nodular.

INTERFASE X200 AUMENTOS

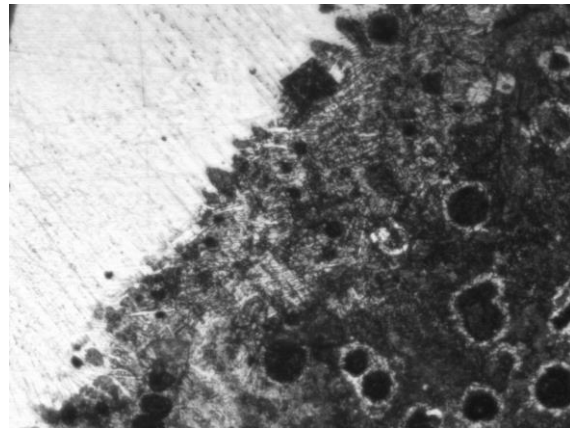


ILUSTRACIÓN 44: imagen del microscopio de la probeta a 200 aumentos en la parte de la interfase. Caso 3.

En esta imagen se puede ver una estructura bainítica con trazas de martensita.

SOLDADURA X200 AUMENTOS



ILUSTRACIÓN 45: imagen del microscopio de la probeta a 200 aumentos en la parte de la soldadura. Caso 3.

En esta imagen se observan carburos de cromo con matriz austenítica.

5. CONCLUSIONES

Tras los resultados obtenidos tras haber realizado los ensayos podemos establecer las siguientes conclusiones en cuanto a la aplicación industrial del material se refiere:

Si para la aplicación se busca un material más dúctil se debe escoger el tratamiento de recocido para este tipo de soldadura.

Si en cambio se busca una unión que sea mejor en cuanto a resistencia a desgaste se refiere se escogerá el tratamiento de precalentado de la pieza.

Por último, para un término medio, es decir, con buen comportamiento a tracción y con buena resistencia al desgaste, se escogerá el material sin tratamiento, siempre y cuando se verifique la posible deformación y dureza del material para la aplicación en cuestión.

6. PLIEGO DE CONDICIONES

En este apartado, se detalla la maquinaria, normativa y equipos utilizados en la realización del proyecto que nos ocupa:

6.1 PROCESO DE SOLDADO DE CHAPAS

MATERIAL Y EQUIPOS UTILIZADOS

- Soldador TIGMIG 170
- Banco de trabajo
- Amoladora convencional
- Botella de gas argón
- Sargento

EPI's

- Careta para soldar automática
- Guantes de protección
- Botas de seguridad
- Mandil
- Polainas
- Chaqueta de trabajo

NORMATIVA

- Norma UNE-EN ISO 9692-1:2014 para Soldeo y procesos afines.
- Norma en292 para la protección facial en la soldadura

6.2 PROCESO DE CORTE DE PIEZAS

MATERIAL Y EQUIPOS UTILIZADOS

- Tronzadora
- Tornillo de banco

EPI's

- Guantes
- Gafas de protección
- Botas de seguridad

NORMATIVA

- Norma NTP 133 para el uso de tronzadoras

6.3 ENSAYO DE TRACCIÓN

MATERIAL Y EQUIPOS

- Máquina de ensayos de tracción ibertest 10 Tn.

EPI's

- Guantes
- Gafas de protección
- Botas de seguridad

NORMA

- Norma ISO 6892 para ensayos de tracción

6.4 ENSAYO DE MICRODUREZAS

MATERIAL Y EQUIPOS

- Máquina de ensayos de microdurezas Innovatest

NORMA

- Norma UNE-EN ISO 6507-1 para ensayos de dureza Vickers

6.5 MICROGRAFÍAS

MATERIAL Y EQUIPOS

- Tronzadora
- Empastilladora metalográfica Remet evolution IPA 30
- Compuesto transoptic
- Desbastadora Struels labopol
- Secador
- Microscopio
- Pasta de diamante

EPI's

- Guantes
- Gafas de protección
- Botas de seguridad

NORMA

- Norma UNE-EN ISO 643 para la determinación de tamaño de grano en metales
- Norma NTP 133 para el uso de tronzadoras

7. PRESUPUESTO

7.1 MATERIALES Y CONSUMIBLES

Nº	UNIDADES	CANTIDAD	ELEMENTO	PRECIO UNITARIO (€)	PRECIO TOTAL (€)
1	UDS	6	CHAPAS FUNDICION NODULAR	10	60
2	UDS	5	VARILLA INCONEL 625	20	100
3	UDS	1	VARILLA TUNGSTENO	1.90	1.90
4	L	6	GAS ARGÓN	28.75	172.5
5	UDS	1	DISCO DESBASTE AMOLADORA	4	4
6	UDS	2	DISCO PULIDO 220	1	2
7	UDS	2	DISCO PULIDO 500	3.35	6.70
8	UDS	1	DISCO PULIDO DIAMANTE 3 UM	9.90	9.90
9	UDS	1	PASTA PULIDO DIAMANTE 3 UM	11.54	11.54
10	UDS	1	ALCOHOL ETILICO	6.20	6.20
11	UDS	1	NITAL	7	7
12	L	1	TALADRINA	6.99	6.99
13	KG	0.5	COMPUESTO TERMOENDURECIBLE	10.37	5.19
TOTAL (€)					393.92

7.2 MAQUINARIA

Nº	UNIDADES	CANTIDAD	ELEMENTO	PRECIO UNITARIO (€)	PRECIO TOTAL (€)
1	H	3	EQUIPO SOLDADURA	53	159
2	H	1	AMOLADORA	8.30	8.30
3	H	2	MAQUINA DE ENSAYO A TRACCION	50	100
4	H	3	TRONZADORA	15	45
5	H	3	MICROSCOPIO	15	45
6	H	3	MAQUINA DE ENSAYO DE MICRODUREZAS	45	135
7	H	2	EMPASTILLADORA	34.95	69.84
8	H	1	SECADOR	15.99	15.99
9	H	3	DESBASTADORA	49.99	149.97
TOTAL (€)					728.10

7.3 MANO DE OBRA

Nº	UNIDADES	CANTIDAD	ELEMENTO	PRECIO UNITARIO (€)	PRECIO TOTAL (€)
1	H	1	Oficial de 1ª soldador (PREPARACIÓN EQUIPO SOLDADURA)	16.50	16.50
2	H	3	Oficial de 1ª soldador (SOLDADURA)	16.50	49.5
3	H	1	Técnico de laboratorio (DESBASTE)	13	13
4	H	3	Técnico de laboratorio (CORTE DE PIEZAS)	13	39
5	H	1	Técnico de laboratorio (PREPARACIÓN ENSAYO DE TRACCIÓN)	13	13
6	H	2	Técnico de laboratorio (ENSAYO DE TRACCIÓN)	13	26
7	H	8	Técnico de laboratorio (PREPARACIÓN PROBETAS ENSAYO DE MICRODUREZAS)	13	104
8	H	2	Técnico de laboratorio (ENSAYO DE MICRODUREZAS)	13	26
9	H	2	Técnico de laboratorio (MICROGRAFÍAS)	13	26
TOTAL (€)					313.00

7.4 TOTAL

TOTAL PRESUPUESTO	
Materiales y consumibles	393.92€
Maquinaria	728.1€
Mano de obra	313€
TOTAL	1435.02€
IVA (21%)	301.35€
Costes indirectos (3%)	43.06€
PRESUPUESTO TOTAL	1779.43 €

El presupuesto total del proyecto ha sido mil setecientos setenta y nueve euros y cuarenta y tres céntimos.

8. BIBLIOGRAFÍA

Ensayo de dureza:

https://www.ecured.cu/Ensayo_a_la_dureza_Vickers

Defectos de soldadura:

<https://metfusion.wordpress.com/2013/08/10/imperfecciones-en-soldadura-tipos-de-discontinuidades/>

Tipos de soldadura:

https://www.quieroapuntes.com/soldadura_11.html

Soldadura Mig/Mag:

https://es.wikipedia.org/wiki/Soldadura_MIG/MAG

Inconel 625:

http://megamex.com/span/inconel_625.html

Fundición nodular:

<https://www.construtec.com/que-es-la-fundicion-ductil-que-quiere-decir-ductil/>

Ensayo de tracción:

<https://www.areatecnologia.com/materiales/ensayo-de-traccion.html>

Normativa:

<https://www.aenor.com/normas-y-libros/buscador-de-normas>

ILUSTRACIONES:

Ilustración 1: soldador con EPI's pertinentes realizando una soldadura por arco de plasma (PAW)

Fuente: <https://ilmo.es/especialistas-en-soldadura-en-15085/>

Ilustración 2: Soldadura GMAW

Fuente: <https://formacionceif.es/soldadura/soldadura-mig-mag-mig-metal-inerte-gas-mag-metal-active-gas/>

Ilustración 3: Soldadura SMAW

Fuente: <http://instructorjrp.blogspot.com/2011/11/proceso-de-soldadura-smaw.html>

Ilustración 4: Soldadura SAW

Fuente: <http://www.kjellberg.de/Tecnologia-de-soldadura/Asistencia/Procedimiento-de-soldadura/Soldadura-de-arco-sumergido.html>

Ilustración 5: Soldadura GTAW o TIG

Fuente: https://es.wikipedia.org/wiki/Soldadura_TIG#/media/Archivo:GTAW.svg

Ilustración 6: Soldadura PAW

Fuente: <http://soldaduracursos.blogspot.com/2016/03/soldadura-por-plasma-o-paw.html>

Ilustración 7: Soldadura de puntos por resistencia

Fuente: <http://www.maquituls.es/noticias/la-soldadura-por-puntos-principales-caracteristicas/>

Ilustración 8: Soldadura con oxiacetileno

Fuente: <https://www.demaquinasyherramientas.com/soldadura/partes-de-un-soplete>

Ilustración 9: Defecto de soldadura por deformación

Fuente: <http://www.mailxmail.com/curso-soldadura-arco-manual-electrico-fundamentos/tensiones-deformaciones-piezas-soldadas-buena-soldadura>

Ilustración 10: Tensiones residuales producidas en las soldaduras.

Fuente: https://academica-e.unavarra.es/bitstream/handle/2454/13684/TFM%20Gorka%20Garcia%20Roderero%20Sept_2014.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Ilustración 11: Defecto por falta de penetración en la soldadura

Fuente: <http://blog.utp.edu.co/metalografia/capitulo-19-soldadura-defectologia-y-simbologia/>

Ilustración 12: Defecto de falta de penetración en la soldadura

Fuente: http://www.scalofrios.es/soldadura/pag/defectos/falta_fusion.htm

Ilustración 13: Posibles fracturas que se pueden producir en una soldadura

Fuente: <http://www.alexandersaavedra.com/2012/02/agrietamiento-en-soldaduras.html>

Ilustración 14: Ejemplos de porosidad en soldadura

Fuente: <https://metfusion.wordpress.com/2013/08/10/defectos-en-la-soldadura-causas-y-soluciones/>

Ilustración 15: Esquema de máquina de ensayos de tracción

Fuente: <http://blog.espol.edu.ec/josmvala/2011/07/27/ensayos-del-acero-estructural/dibujo3/>

Ilustración 16: Grafica modelo de ensayo de tracción

Fuente: <https://www.google.com/search?biw=1280&bih=864&tbm=isch&sa=1&ei=5LQkXab>

WCaWp8gKq6ISAAg&q=ensayo+de+traccion&oq=ensayo+de+traccion&gs_l=img.3.
.0i10.108064.111899..112385...0.0..0.557.2565.12j4j4-1j1.....0....1..gws-wiz-
img.....0i67.m0e2-tKLpwU#imgsrc=IIIJi10EYGWjuM:

Ilustración 17: modelo de punzón para ensayo de microdurezas

Fuente: https://es.wikipedia.org/wiki/Dureza_Vickers

Ilustración 18: ecuaciones para la obtención de los valores de un ensayo de microdurezas

Fuente: <http://www.fullmecnica.com/definiciones/d/1031-dureza-vickers>

*el resto de imágenes o ilustraciones se han obtenido de imágenes tomadas por el autor del proyecto o de la web del fabricante de los equipos utilizados en dicho proyecto.