



BLOQUE II. OPERACIONES SECUNDARIAS

Tema 5. Tecnologías de unión

Tema 5 - 3. Tecnologías de soldadura



Clasificación



POR FUSIÓN

**SOLDADURA
FUERTE Y
BLANDA**

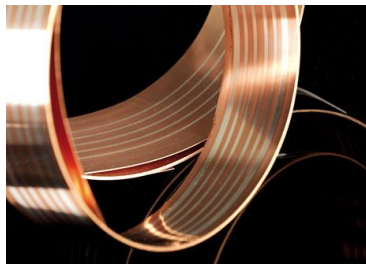
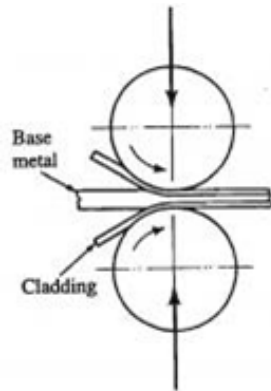
**ESTADO
SÓLIDO**



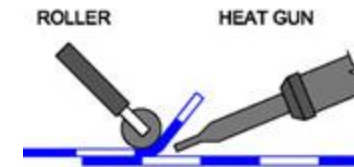
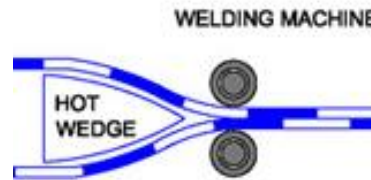
SOLDADURA EN ESTADO SÓLIDO

Procesos

Soldadura a presión en frío



Soldadura a presión en caliente

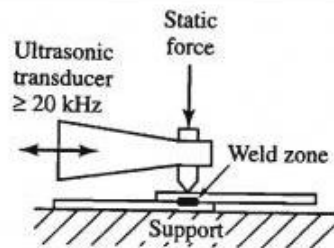


Se puede emplear vacío o un medio que cubra el área de operación

SOLDADURA EN ESTADO SÓLIDO

Procesos

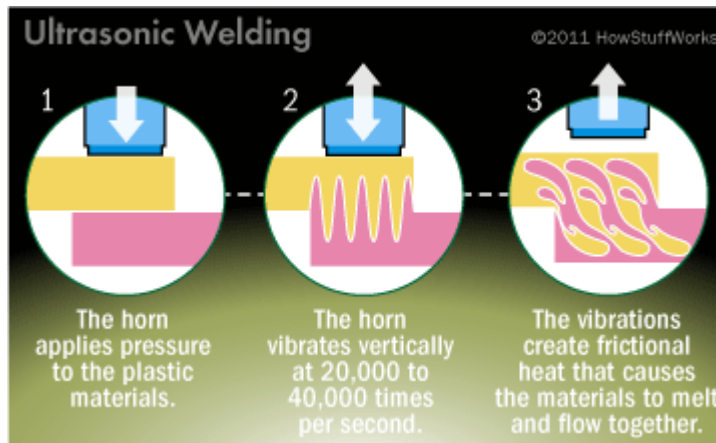
Soldadura con ultrasonidos



10-75 kHz

$1/3$ a $1/2$ T_f

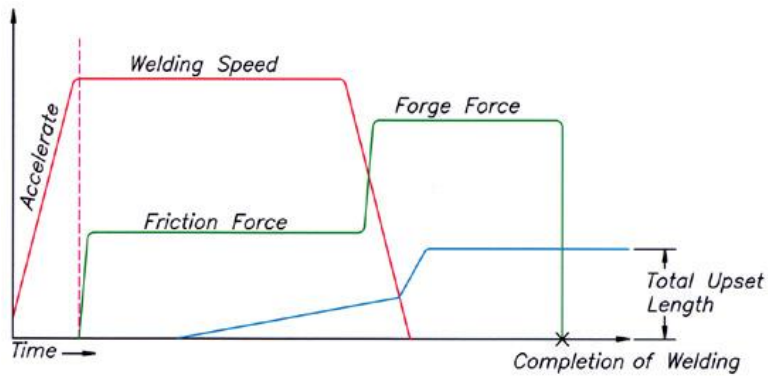
Plásticos, materiales compuestos, embalajes, soldadura de láminas y cables...



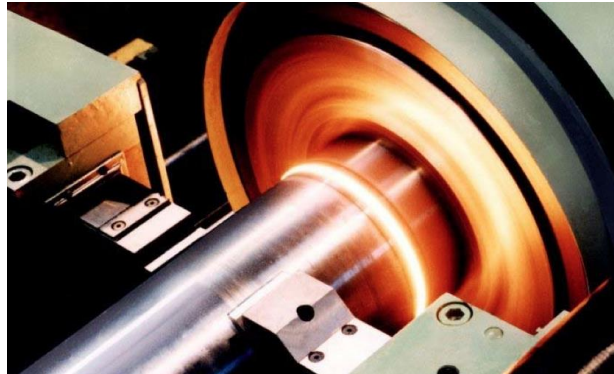
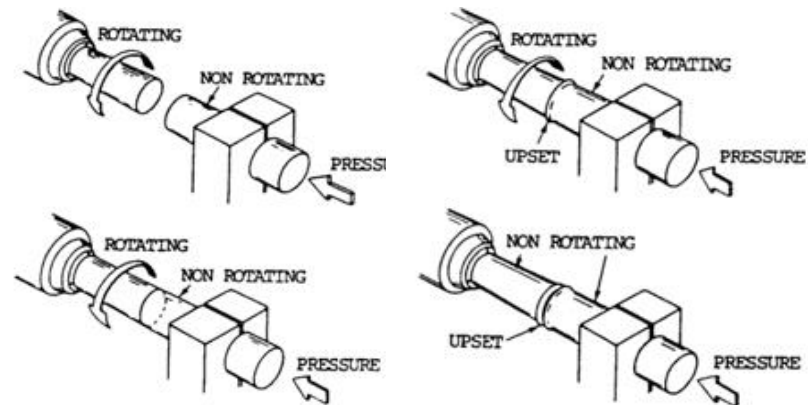
SOLDADURA EN ESTADO SÓLIDO

Procesos

Soldadura por fricción



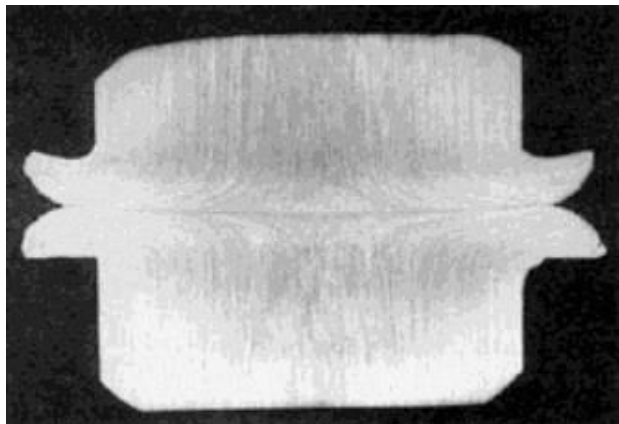
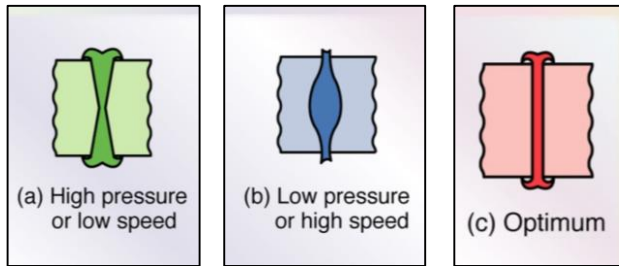
Etapas de la soldadura por fricción



SOLDADURA EN ESTADO SÓLIDO

Procesos

Soldadura por fricción



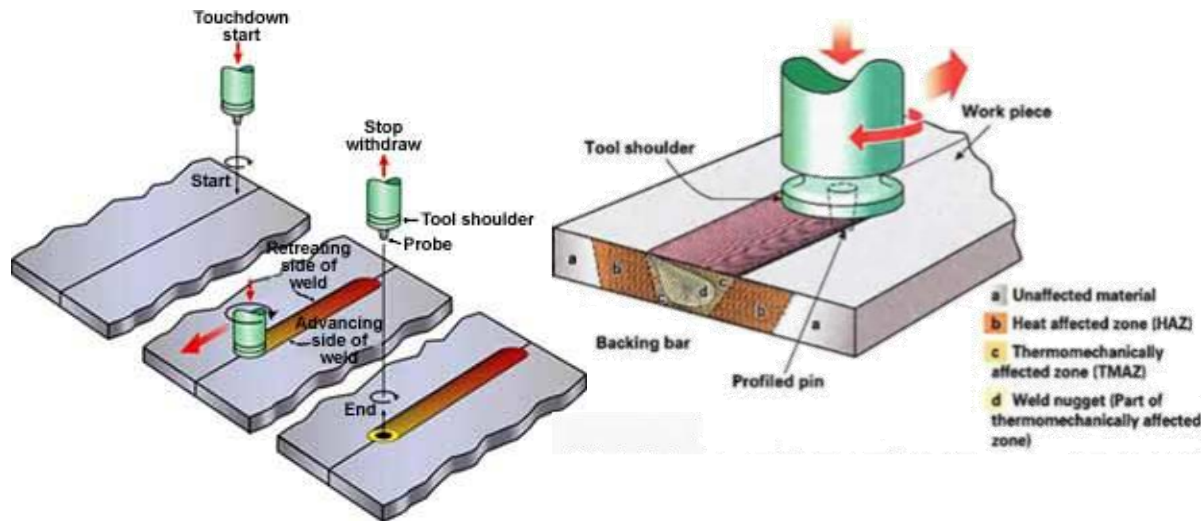
Tubos con diámetro: 100 mm interior y 250 mm exterior

SOLDADURA EN ESTADO SÓLIDO

Procesos

Soldadura por fricción

a. Soldadura por fricción mediante agitación (FSW)



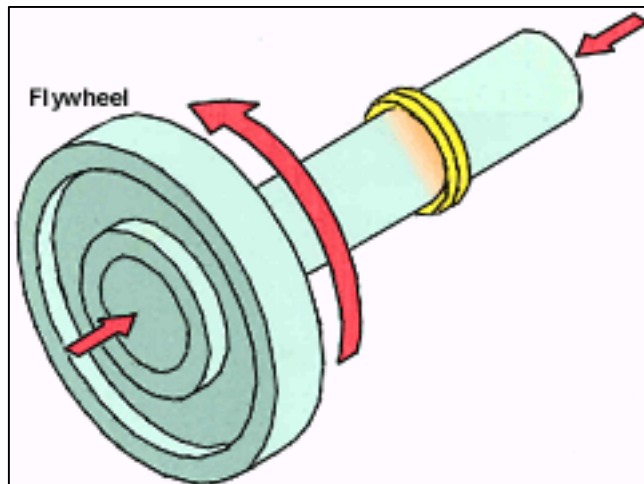
Espesor una pasada: 1-50 mm

SOLDADURA EN ESTADO SÓLIDO

Procesos

Soldadura por fricción

b. Soldadura por fricción e inercia



Ejes de turbocompresor (15 s/soldadura)

c. Soldadura por fricción e inercia (oscilación lateral)

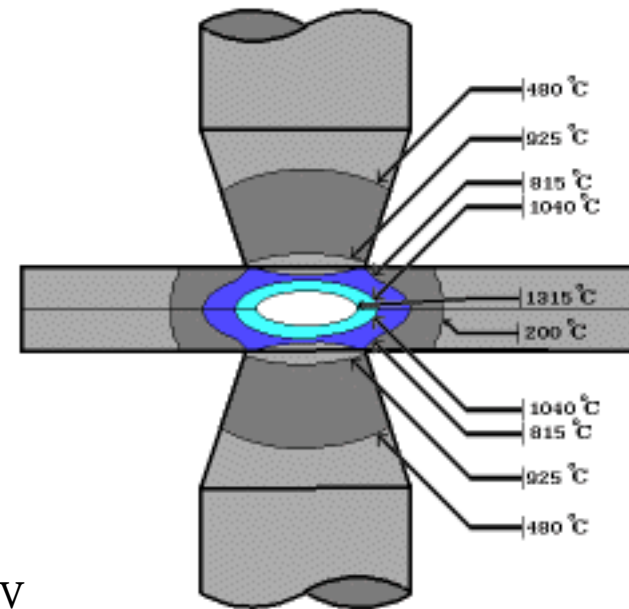
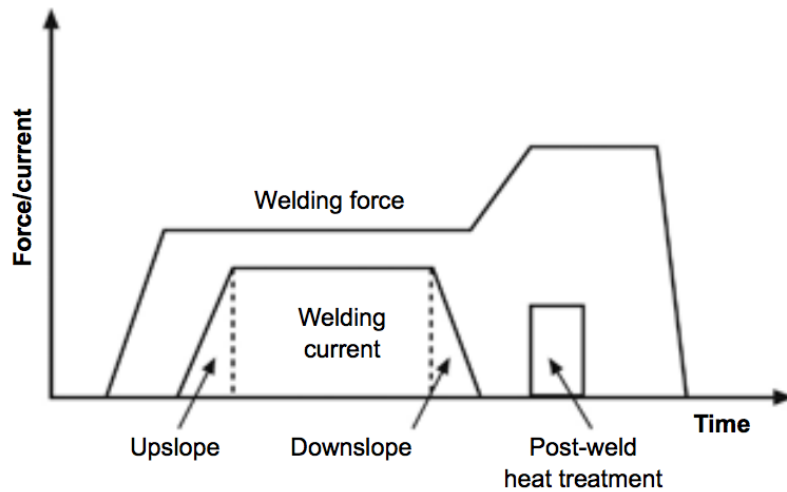


Piezas planas metálicas o plásticas

SOLDADURA EN ESTADO SÓLIDO

Procesos

Soldadura por resistencia



Calor generado

$$H = I^2 R t$$

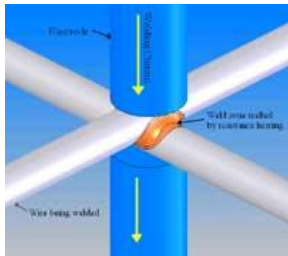
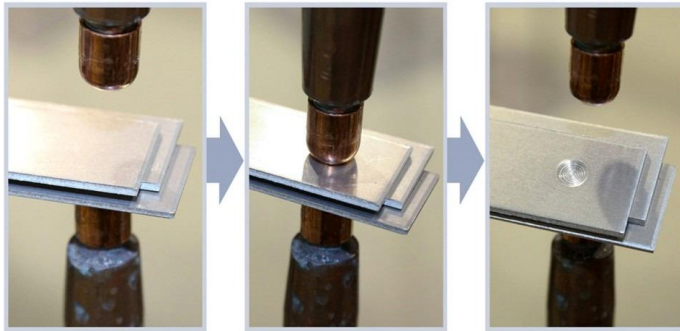
V ~ 0.5-10 V
I hasta 100000 A

SOLDADURA EN ESTADO SÓLIDO

Procesos

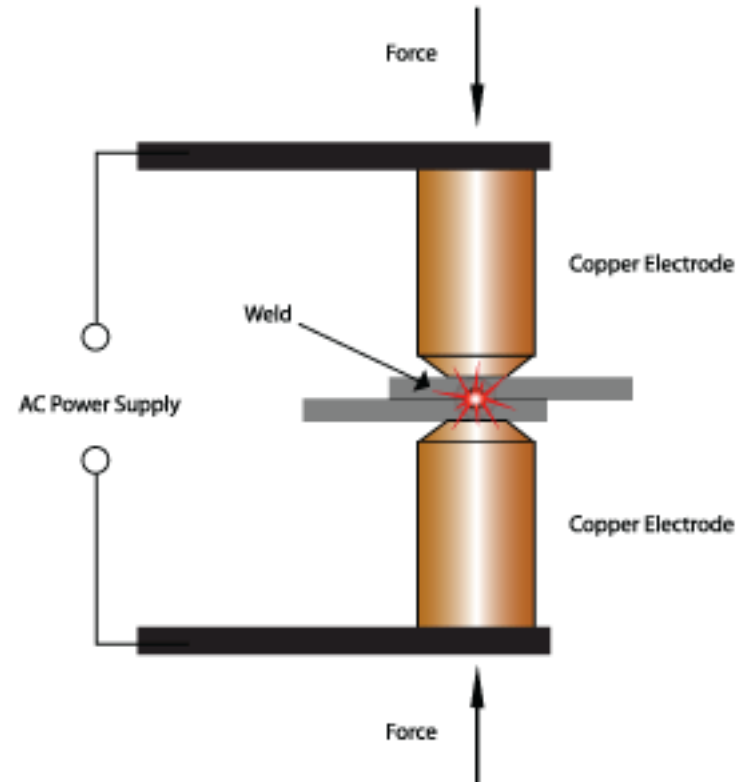
Soldadura por resistencia

a. Soldadura por puntos



30 - 60 Hz
I: 3000-40000 A
Ø 3-10 mm

Cuerpo del automóvil:
10000 puntos de soldadura

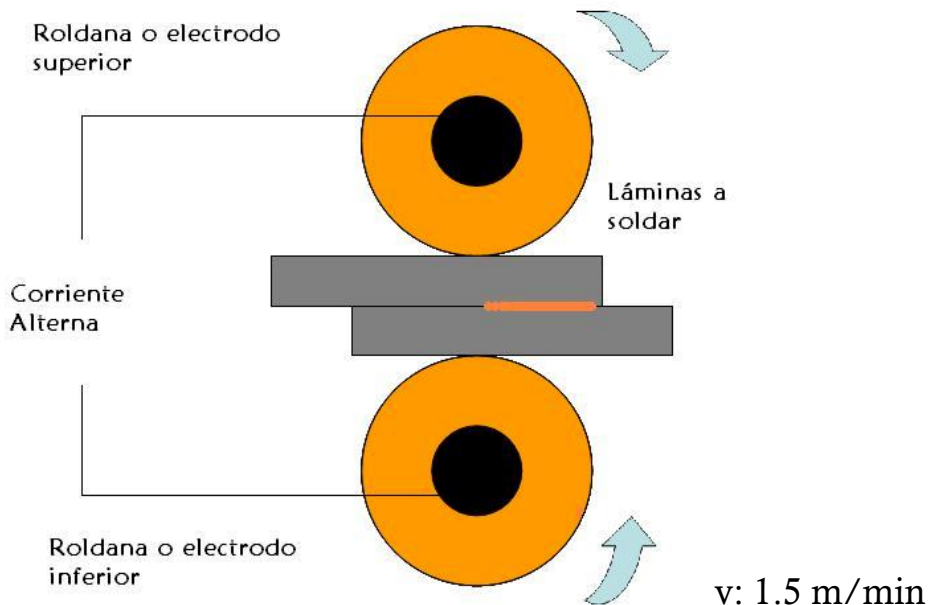


SOLDADURA EN ESTADO SÓLIDO

Procesos

Soldadura por resistencia

b. Soldadura de roldanas (o de costura)

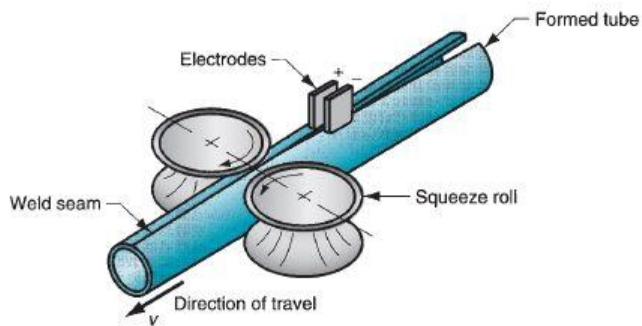


SOLDADURA EN ESTADO SÓLIDO

Procesos

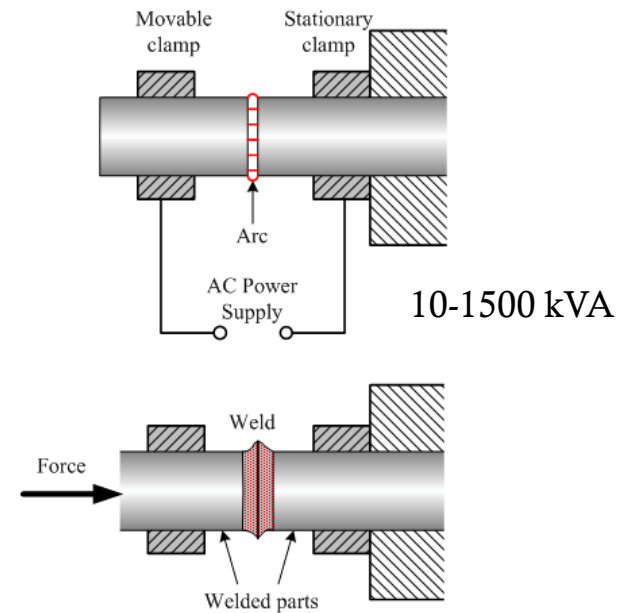
Soldadura por resistencia

c. Soldadura a alta frecuencia



Hasta 450 kHz

d. Soldadura por arco

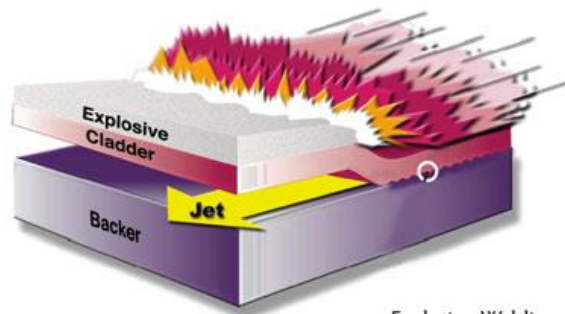
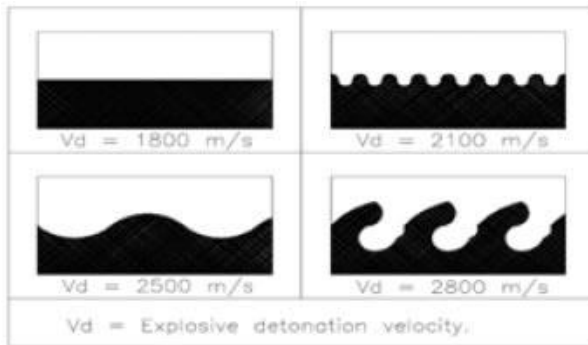
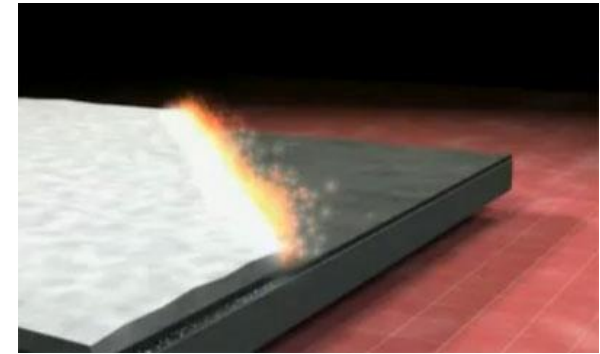
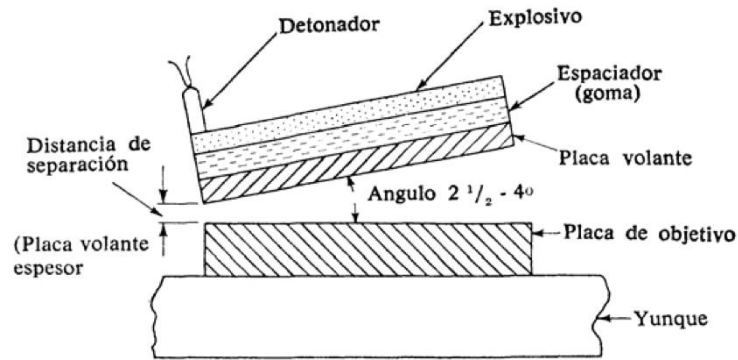


SOLDADURA EN ESTADO SÓLIDO

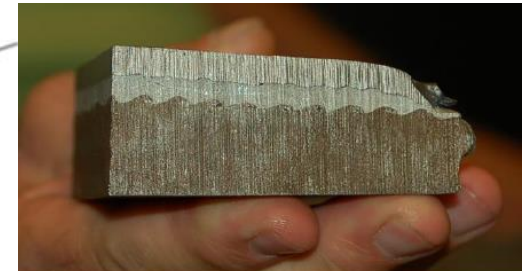
Procesos

Soldadura por explosivos

2400-3600 m/s



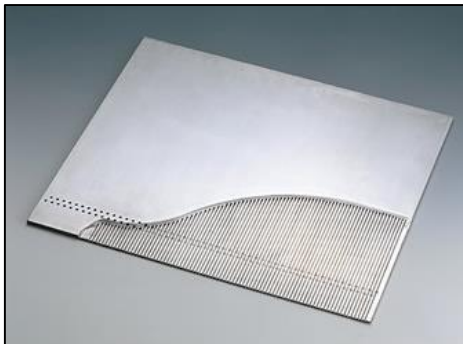
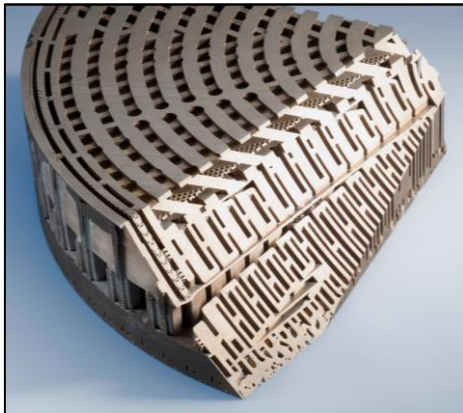
Explosion Welding



SOLDADURA EN ESTADO SÓLIDO

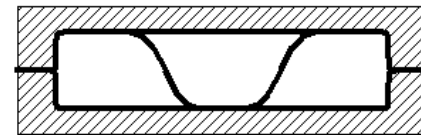
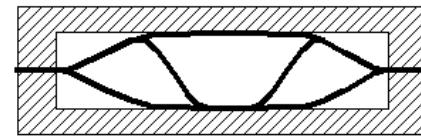
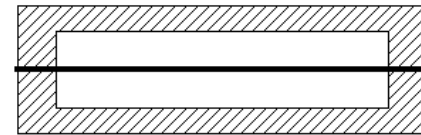
Procesos

Soldadura por difusión



$$T > 0.5 T_f$$

Uniones de distintos
metales, materiales
reactivos y compuestos
de matriz metálica



Industria aeronáutica, nuclear y electrónica

SOLDADURA FUERTE Y BLANDA

Procesos:

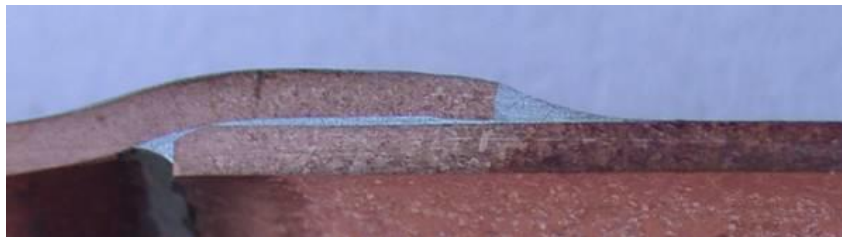
Se hace fluir un líquido (T_f inferior a la de las piezas a unir), relleno el espacio existente entre las caras de la unión y dejándolo luego solidificar.

No hay fusión del metal base, sólo del metal de aporte

Etapas:

- Aportación de un metal de menor temperatura de fusión
- Calentamiento del conjunto
- Flujo o relleno de la unión por el metal aportado

Soldaduras fuerte (BRAZING) y blanda (SOLDERING)

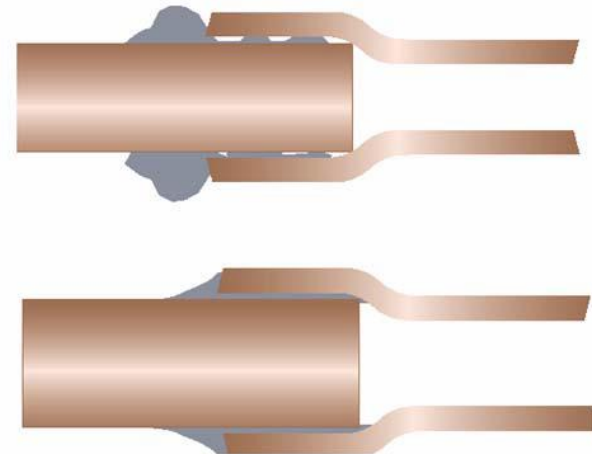


SOLDADURA FUERTE Y BLANDA

Procesos:

Para una unión satisfactoria es necesario que la soldadura:

- Bañe (moje) el metal base.
- Se extienda y haga contacto con la abertura de la unión.
- Se introduzca en la unión mediante acción capilar.





SOLDADURA FUERTE Y BLANDA

Procesos:

$T_{\text{SÓLIDUS}}$ metal de aporte es: < 450°C SOLDADURA BLANDA
> 450°C SOLDADURA FUERTE

Soldadura fuerte

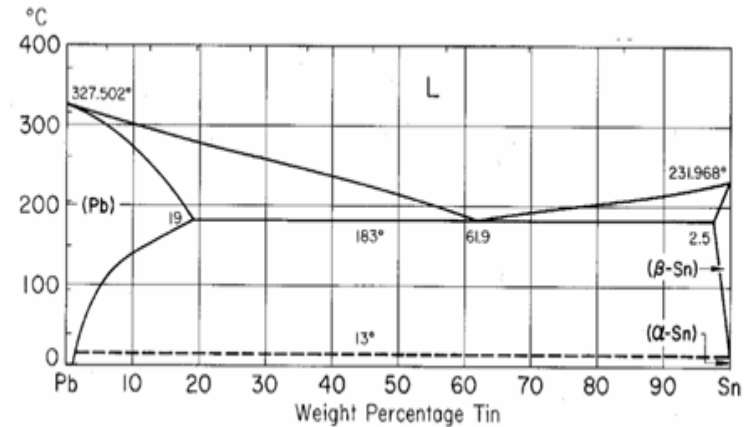
METAL DE APORTE	TEMPERATURA, °C	APLICACIONES
Cu - 40 Zn	925	Aceros, Fundiciones férreas, Níquel
Cu - 5 P	850	Cobre
Cu (99.99%)	1120	Cu-Ni, Aleaciones férreas
Al - 10 Si	600	Aluminio
Au - 20 Cu	950	Aceros inoxidable, Aleaciones de Ni
Al - 25 Ni	990	Aceros inoxidable
Aleaciones de Ni	1120	Aceros inoxidable, Aleaciones de Ni
Aleaciones de Ag	730	Ti, Monel, Inconel, Ni, Aceros rápidos

SOLDADURA FUERTE Y BLANDA

Procesos:

Soldadura blanda

Pb-Sn en diferentes composiciones:



METAL DE APORTE	TEMPERATURA, °C	APLICACIONES
Pb - 40 Sn	207	Radiadores de automóviles
Pb - 50 Sn	199	Uso general
Pb - 63 Sn (eutéctico)	183	Electrónica
Pb - 4 Ag	305	Uniones a alta temperatura
Sn - 4 Ag	221	Latas de alimentos, conducciones sanitarias
Sn - 9 Zn	199	Aluminio



SOLDADURA FUERTE Y BLANDA

Soldadura de metales

Antes de la unión hay que aplicar un **fundente** (flux) para:

- Limpieza de restos de óxido u otros residuos de la superficie.
- Prevenir la oxidación de las superficies durante la soldadura.
- Ayudar al mojado.
- Disminuir los defectos perjudiciales.

Soldadura fuerte:

- Uno de los fundentes más utilizados es el borax.
- Para Al, Mg, Ti y Zrse emplean mezclas de cloruros y fluoruros.

Soldadura blanda:

- Orgánicos (disoluciones de resina en petróleo)
- Inorgánicos (cloruro de zinc y el cloruro de amonio).

Soldadura de metales

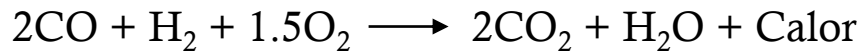
Las superficies a unir se calientan hasta llegar al punto de fusión (si es necesario se añade metal de aporte para rellenar separación).

La forma de generar el calor diferencia los procesos:

- Soldadura por gas o por llama.
- Soldadura por gas inerte con tungsteno.
- Soldadura por arco con electrodo revestido.
- Soldadura por gas inerte con electrodo metálico.
- Soldadura por arco sumergido.
- Soldadura por electroescoria.
- Soldadura por haz de electrones.
- Soldadura por láser

SOLDADURA POR FUSIÓN

1. Soldadura por gas o por llama

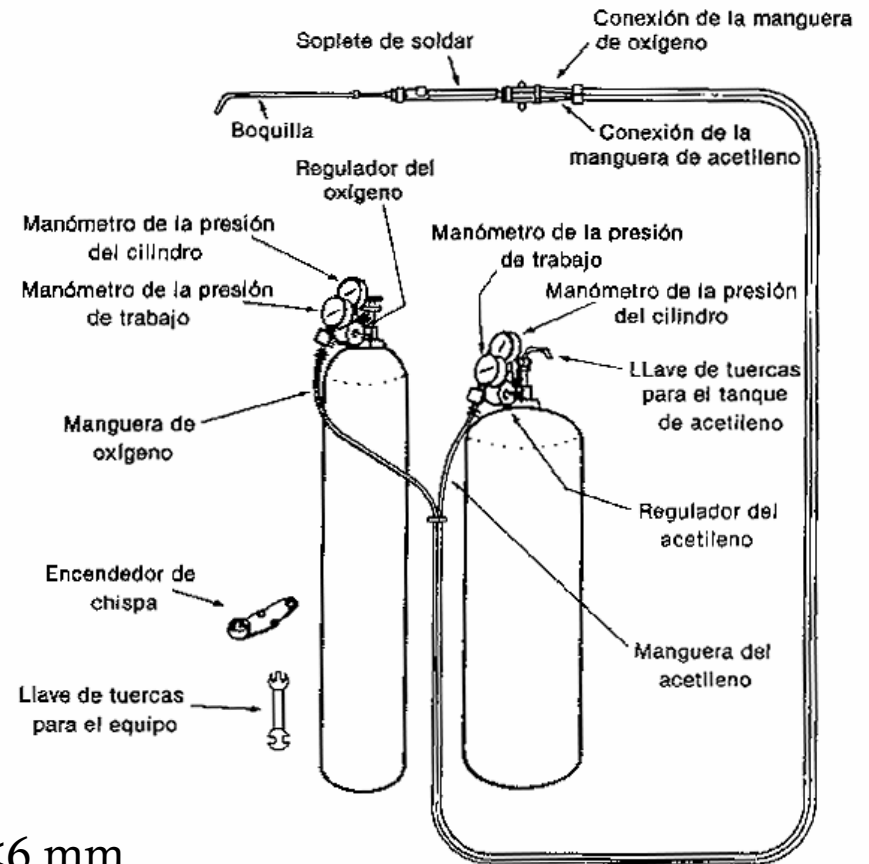


Temperatura: 3300 °C

Tipos de llamas:

- Oxidante
- Reductora
- Neutra

Metales férreos o no férreos de espesor <6 mm



SOLDADURA POR FUSIÓN

2. Soldadura por gas inerte con electrodo de tungsteno (TIG)

Transferencia de calor: $H/l = eVI / v$

Temperatura: 30000 °C

Volumen de material fundido: $H = uV = uAl$

l: longitud de la soldadura (mm)
v: velocidad de soldadura (mm/s)
I: Intensidad de corriente (A)
V: Potencial aplicado (V)
A: Área de la soldadura (mm²)
V: Volumen de la soldadura (mm³)
e: Eficiencia del proceso:
75%: empleo de gas protector
90%: gas-metal o arco sumergido
u: Energía específica para fundido.

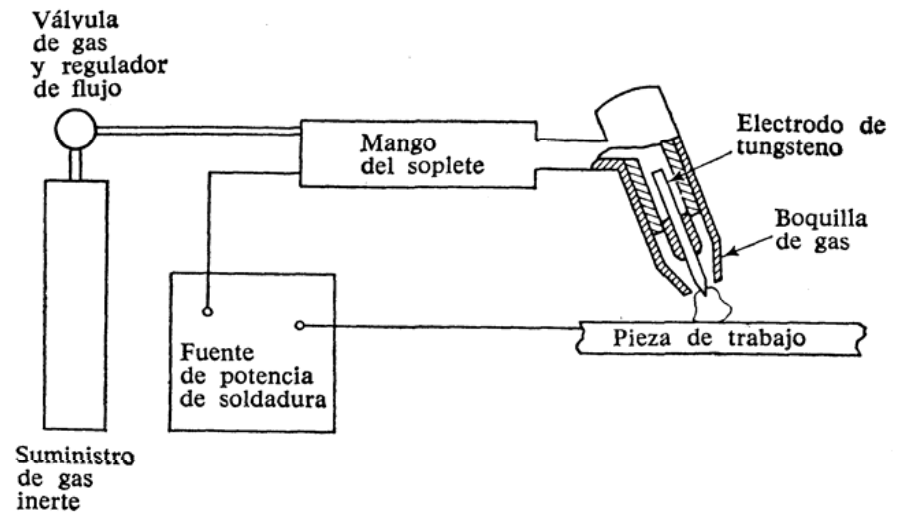


FIG. 3.4.—Equipo de soldadura de gas inerte con tungsteno.

SOLDADURA POR FUSIÓN

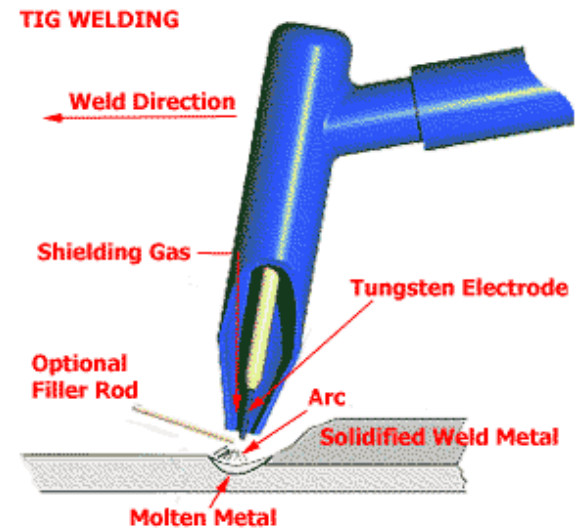
2. Soldadura por gas inerte con electrodo de tungsteno (TIG)

- Potencia: 8 – 20 kW
- Intensidad de corriente:

DC: 200 A

AC: 500 A (Al y Mg)

Se puede producir la
contaminación del electrodo
por el metal: discontinuidades

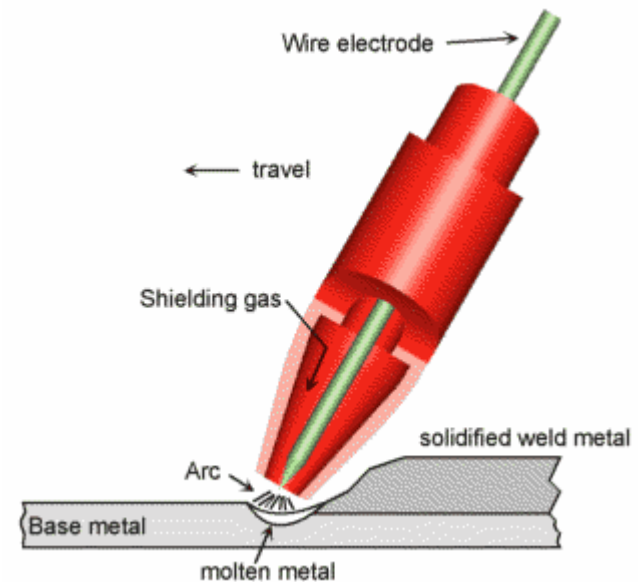
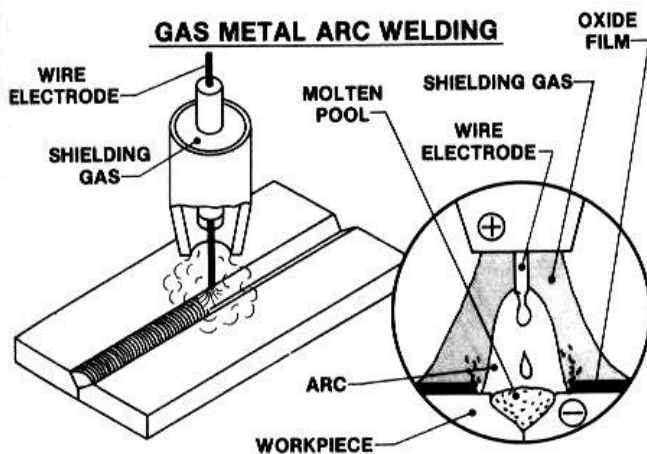


Aluminio, magnesio, titanio y metales refractarios

SOLDADURA POR FUSIÓN

3. Soldadura por gas inerte con electrodo metálico (MIG)

- Atmósfera inerte: Ar, He, CO₂ o mezclas
- Temperaturas generadas relativamente bajas
- Espesores < 6 mm
- Se pueden emplear arcos pulsados



Metales férreos y no férreos

SOLDADURA POR FUSIÓN

4. Soldadura por arco con electrodo revestido (MMA)

50% de las soldaduras industriales

- Electrodo de pequeño diámetro y gran longitud que se sostienen manualmente
- El revestimiento del electrodo proporciona una atmósfera gaseosa adecuada para el arco.
- El depósito de soldadura produce una escoria que protege el metal fundido y actúa como transportador de ferroaleaciones, desoxidantes y polvo de hierro.

I: 50 - 300 A
Potencia: <100 kW

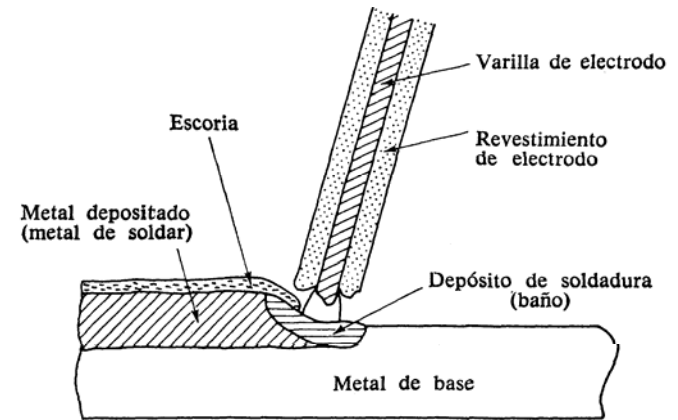
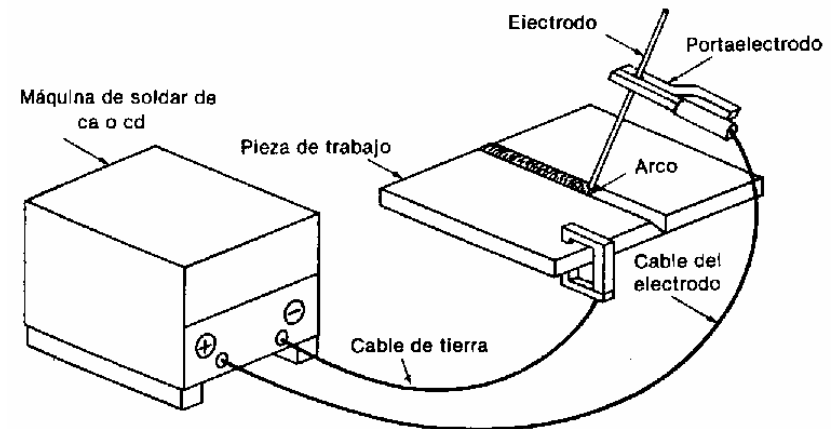


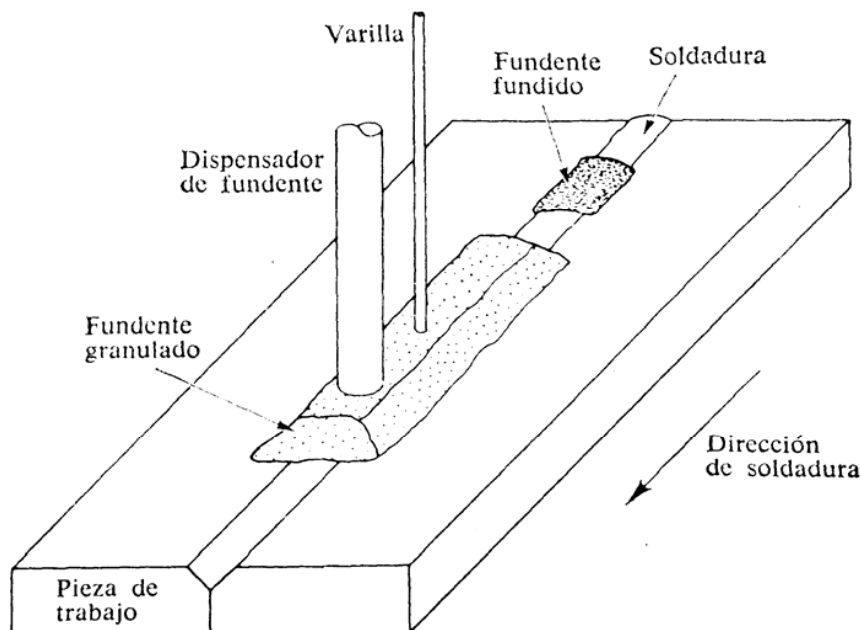
FIG. 3.3.—Soldadura por arco con electrodos revestidos.



SOLDADURA POR FUSIÓN

5. Soldadura por arco sumergido

- La pieza de trabajo está situada debajo de una masa de fundente.
- Este método permite grandes deposiciones de metal y pueden realizarse soldaduras con una sola pasada de chapas 40 mm de espesor.



I: 300 - 20000 A

Potencial: 440 V

Diámetro del electrodo: 1.5-10 mm

Velocidad: 5 m/min

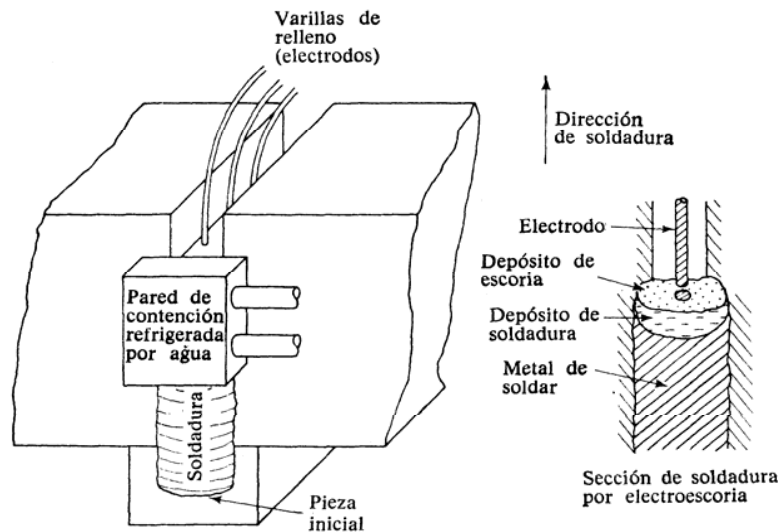
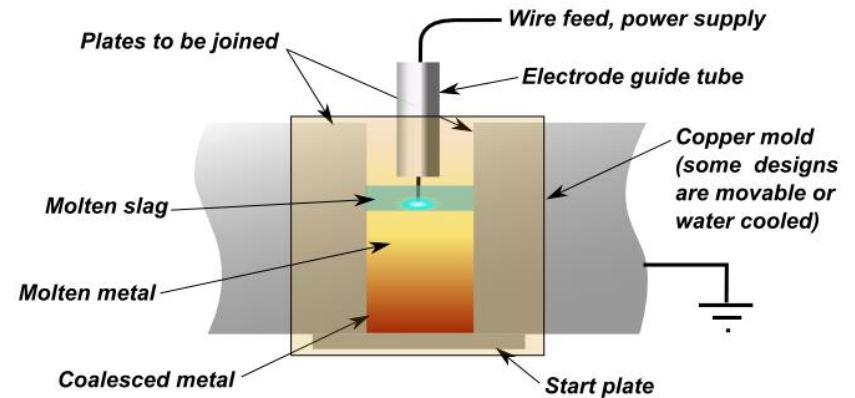
Propiedades uniformes

Construcción de barcos

SOLDADURA POR FUSIÓN

6. Soldadura por electroescoria

- Empleo de escoria fundida
- Se forma un depósito de soldadura cubierto por la escoria
- Unión de chapas de elevado espesor



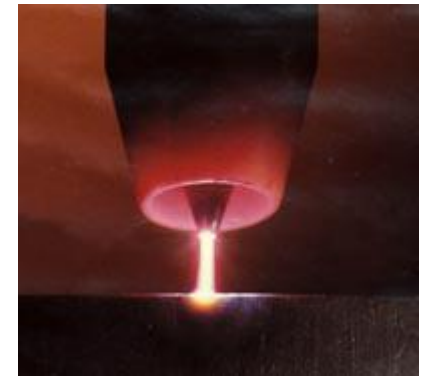
I: 600 A
Potencial: 40-50 V
Velocidad: 12 - 36 m/min
Espesores: 50-900 mm en una pasada

Secciones estructurales de aceros, en puentes, barcos y reactores nucleares

7. Soldadura por haz de electrones

- La energía cinética de los electrones se convierte en calor al colisionar con la superficie
- Necesidad de vacío
- Emisión de rayos X
- Mínimas distorsiones en el área soldada

Potencia de los electrones: 100 kW
Relación profundidad/anchura: 10-30
Velocidad: 12 m/min
Espesores: hasta 150 mm



Soldadura en componentes de aviones, misiles, nucleares y electrónicos
Engranajes y ejes de la industria del automóvil

8. Soldadura por láser

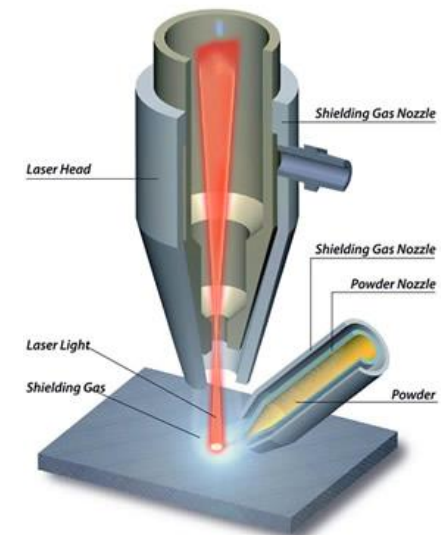
- Haz localizado en área reducida
- Alta densidad y penetración

Potencia: pulsado 100 kW (soldadura por puntos) y continuo kW (soldadura profunda en secciones de elevado espesor)

Relación profundidad/anchura: 4 - 10

Velocidad: 2.5 - 80 m/min

Espesores: hasta 25 mm



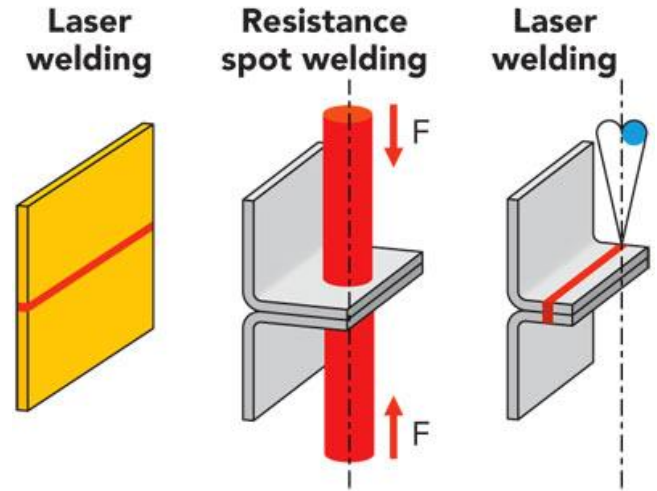
(Picture: non-coaxial powder feed)

Aluminio, titanio, metales férreos, cobre, superaleaciones y metales refractarios
Industria del automóvil y electrónica

8. Soldadura por láser

- Ventajas respecto al haz de electrones:

- No se requiere vacío.
- El haz se puede manipular mediante óptica.
- No genera rayos X.
- Calidad superior debido a que tiene menor tendencia a la fusión incompleta, salpicaduras y porosidad.
- Menor distorsión de dimensiones.



Aluminio, titanio, metales férreos, cobre, superaleaciones y metales refractarios
Industria del automóvil y electrónica

Factores metalúrgicos de soldadura por fusión de aceros

- El metal sufre un proceso de moldeo y tratamiento térmico
 - Si no hay aporte de metal, zona fundida constituida por metal base fundido.
 - Si hay aporte, zona fundida constituida en mayor parte por metal de aportación y el resto por metal base fundido.
- En la zona fundida ocurren:
 - Modificaciones químicas
 - Absorción de gases
 - Modificaciones estructurales

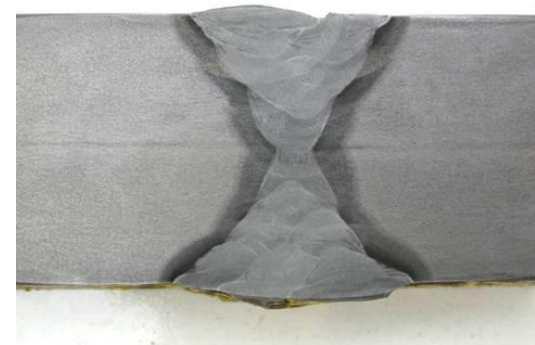
Factores metalúrgicos de soldadura por fusión de aceros

- Rango T: $> T_f - T_{amb}$

Estructuras típicas de moldeo y zonas del metal que, sin haber fundido, han sido sometidas a diferentes tratamientos térmicos.

- ZAT, ZAC (zona afectada térmicamente):

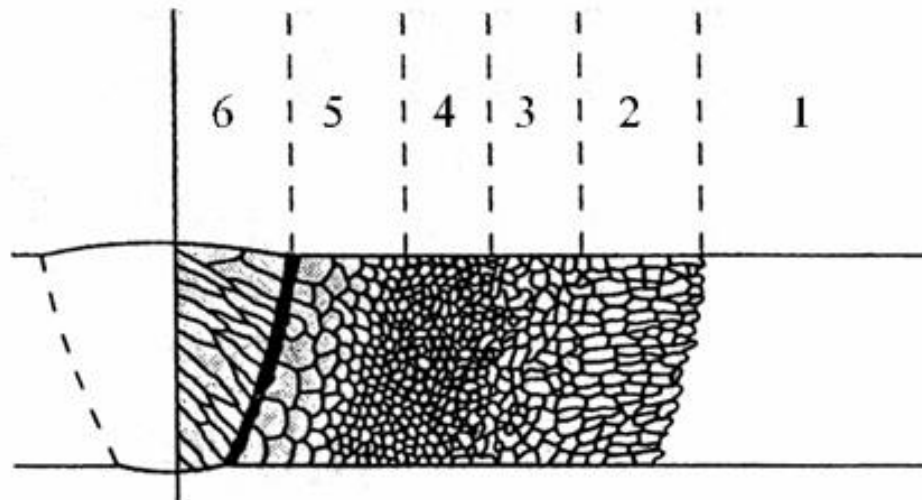
Zona en la que las temperaturas han estado comprendidas entre unos 650°C (para aceros ordinarios) y la T_f .



Factores metalúrgicos de soldadura por fusión de aceros

En corte transversal de una soldadura:

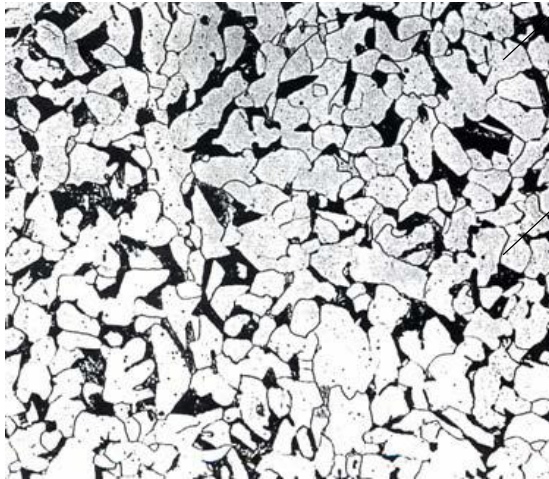
Se observan macro y microscópicamente diversas zonas que se corresponden con zonas del diagrama de equilibrio Fe-Fe₃C



SOLDADURA EN ACEROS

Factores metalúrgicos de soldadura por fusión de aceros

ZONA 1:
No afectada por el calor



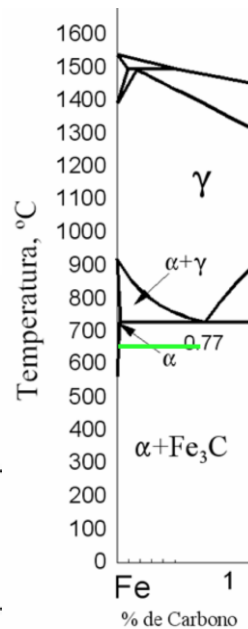
Ferrita

<650°C

Perlita

ZONA 2:
Rococida

650 – A1 °C



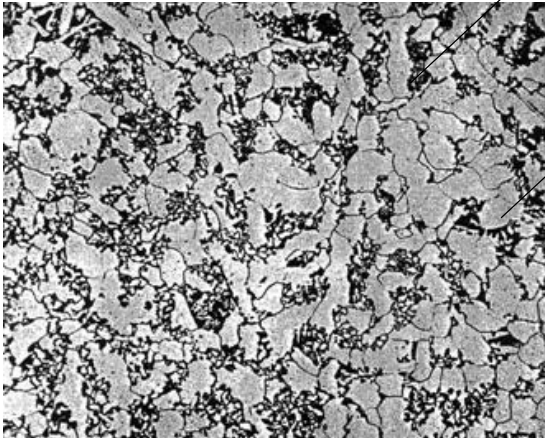
Globulización de la cementita

SOLDADURA EN ACEROS

Factores metalúrgicos de soldadura por fusión de aceros

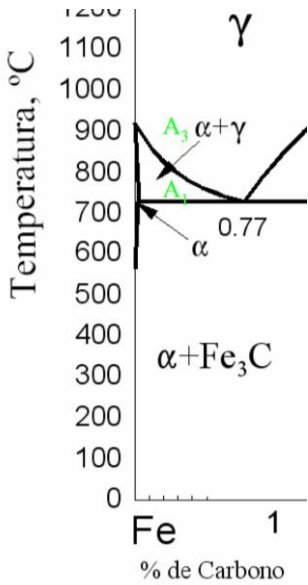
ZONA 3:
Transición

Austenita
Globulización
de la cementita

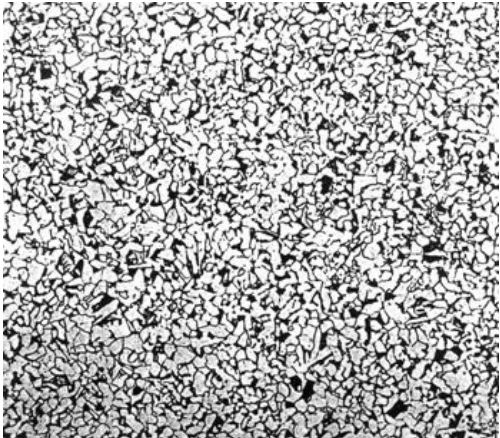


Ferrita

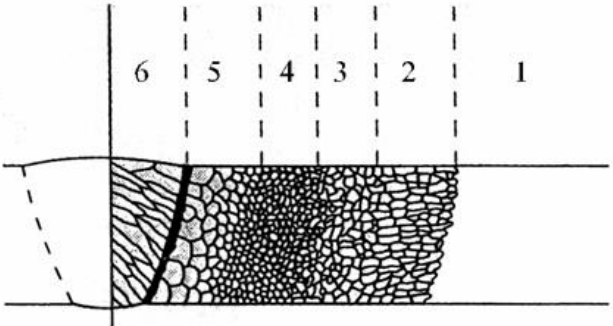
A1 - A3



ZONA 4:
Afino de grano



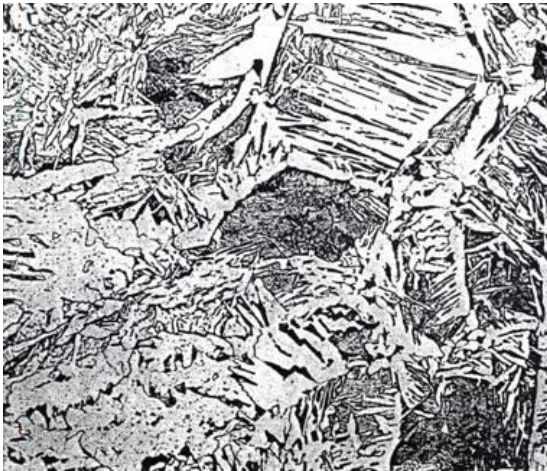
A3 - T_a fino de grano



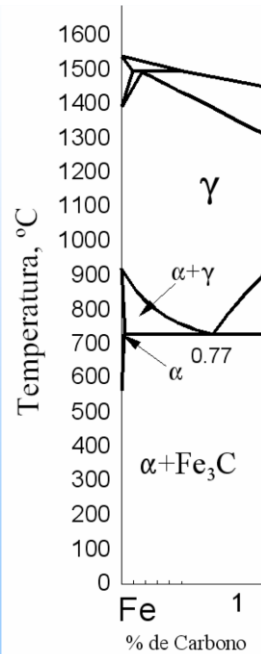
SOLDADURA EN ACEROS

Factores metalúrgicos de soldadura por fusión de aceros

ZONA 5:
Grano basto



Estructura de
tipo
Widmanstätten

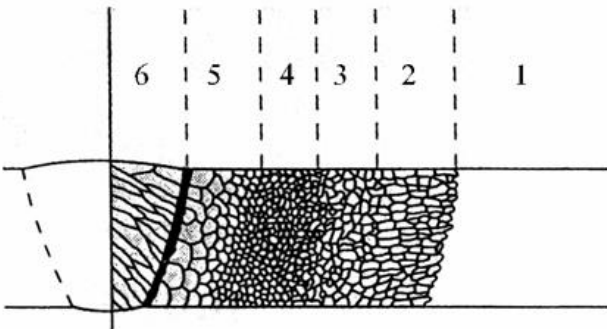


ZONA 6:
Fusión



$> T_{\text{fusión}}$

Estructura de tipo Basáltica
Granos columnares



Aceros

Acero soldable: cuando se consigue la continuidad de la unión metálica de manera que ésta cumpla las exigencias prescritas.

- Se suele referir a la facilidad de evitar formación de martensita en ZAT.
- Soldabilidad como función del $C_{\text{equivalente}}$:

$$\%C_{\text{EQUIV}} = \%C + \frac{\%Mn}{6} + \frac{\%Cr + \%Mo + \%V}{5} + \frac{\%Ni + \%Cu}{15}$$

$C < 0.22\%$ $C_{\text{equiv}} < 0.43\%$

Un método que se puede aplicar para soldar aceros de alto C_{equiv} aplicar un precalentamiento a las piezas a soldar para así disminuir la velocidad de enfriamiento y evitar la aparición de estructuras martensíticas.

Otros metales

- Aleaciones de aluminio:
 - Soldables a alta velocidad de calentamiento.
 - Es importante el empleo de gas protector y la ausencia de humedad.
 - Las aleaciones con Zn o Cu se consideran insoldables.
- Aleaciones de cobre:
 - Generalmente son soldables a altas velocidades de calentamiento.
 - Es importante el empleo de gas protector y la ausencia de humedad.

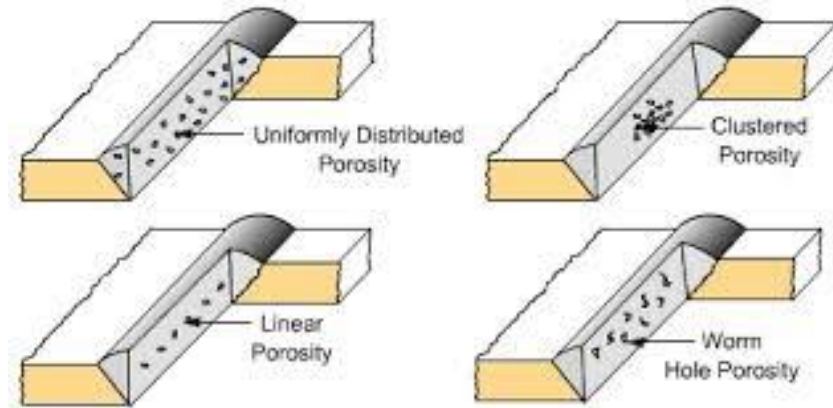
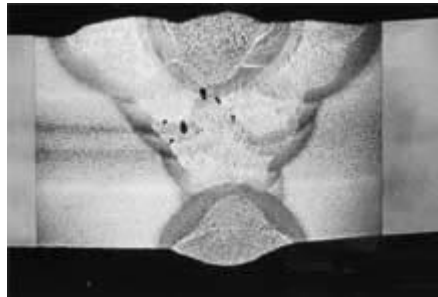
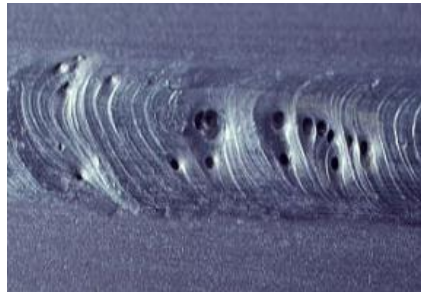
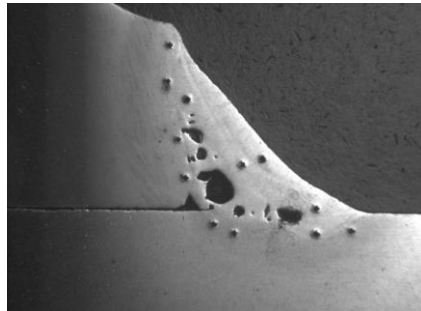
Otros metales

- Aleaciones de magnesio:
 - Soldables con empleo de gas protector y fundente.
- Aleaciones de níquel:
 - Similar a aceros inoxidable (según el proceso)
- Aleaciones de titanio y de tántalo:
 - Es importante el empleo de gas protector

CALIDAD DE LA SOLDADURA

Defectos

Porosidad

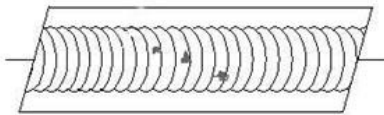


- Porosidad uniforme dispersa
- Porosidad agrupada
- Porosidad alineada
- Porosidad vermicular

CALIDAD DE LA SOLDADURA

Defectos

Inclusiones

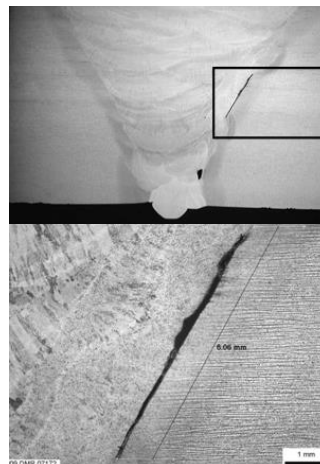
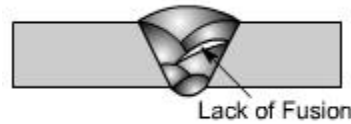
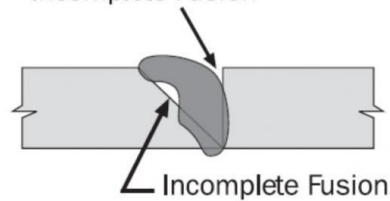


a. Escoria

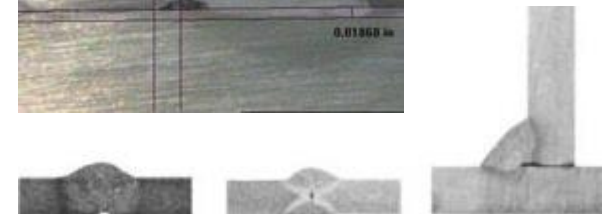
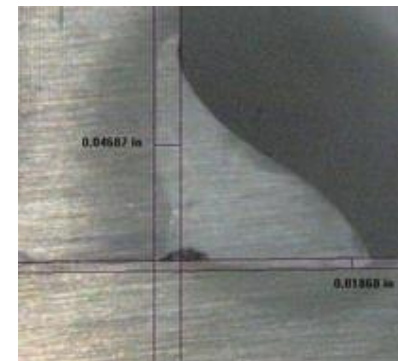
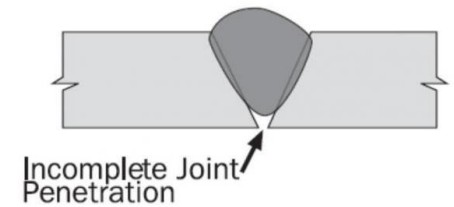
b. Wolframio

Fusión incompleta

Incomplete Fusion



Penetración incompleta

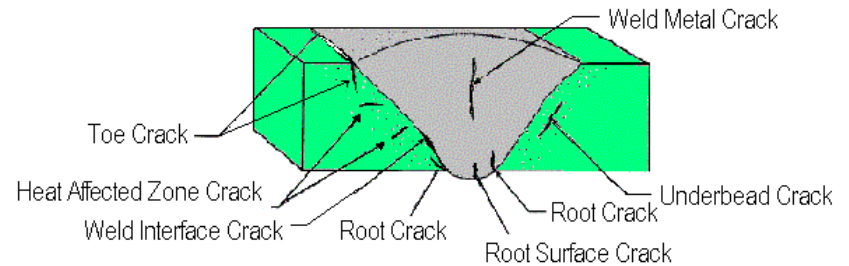


CALIDAD DE LA SOLDADURA

Defectos

Fisuras

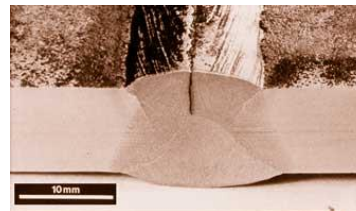
- a. Fisuras en caliente
- b. Fisuras en frío
- c. Fisuras longitudinales
- d. Fisuras transversales
- e. Cráteres
- f. Fisuras de garganta
- g. Fisuras de borde
- h. Fisuras de raíz



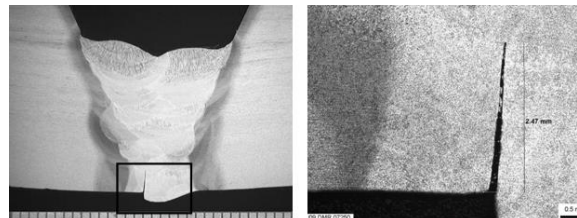
Fisura en frío



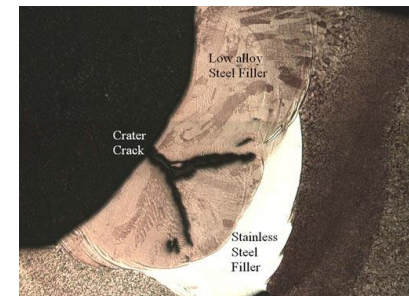
Fisura en caliente



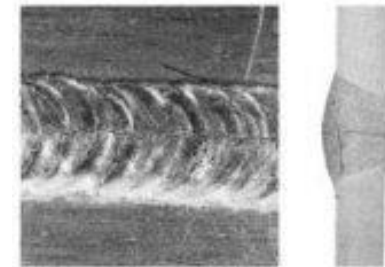
Fisura de raíz



Cráter



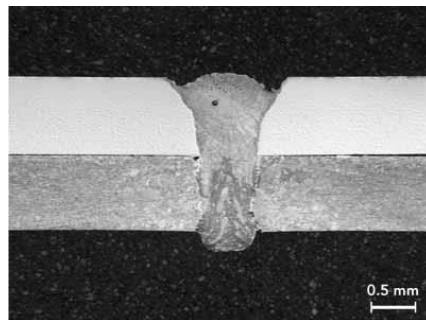
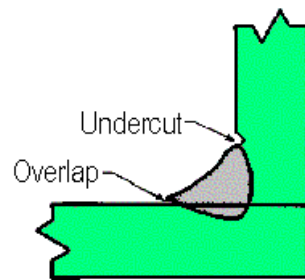
Fisura longitudinal



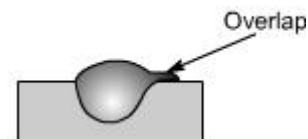
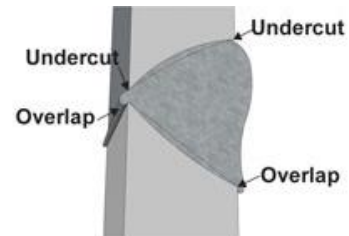
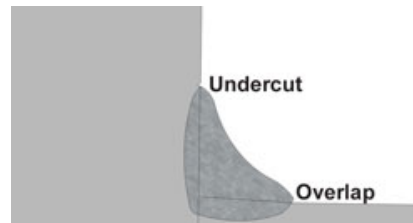
CALIDAD DE LA SOLDADURA

Defectos

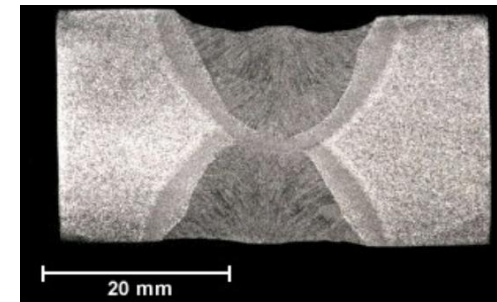
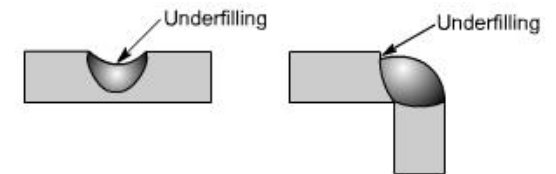
Socavadura o mordedura



Solape



Concavidad

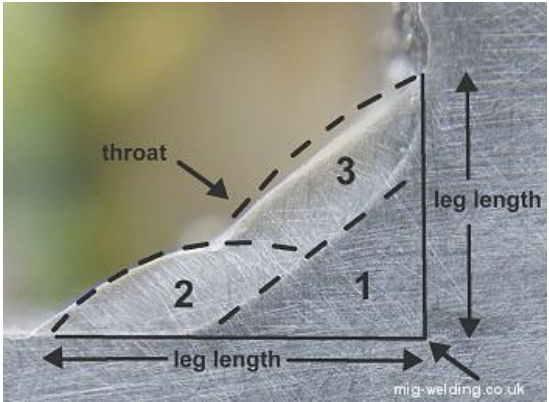


CALIDAD DE LA SOLDADURA

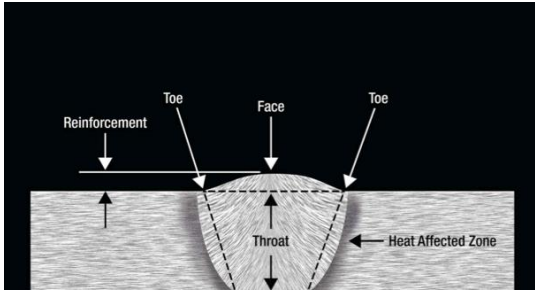
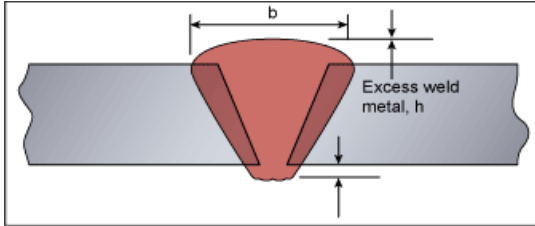
Defectos

Garganta insuficiente

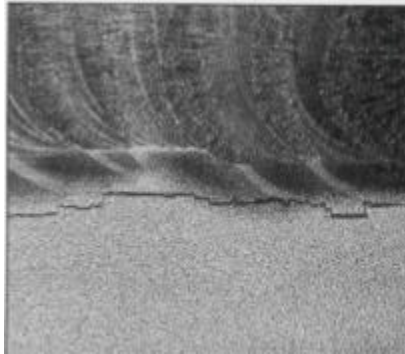
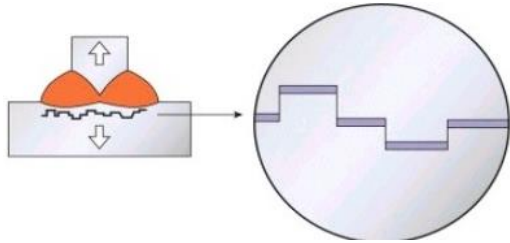
Catetos demasiado cortos



Sobremonta excesiva



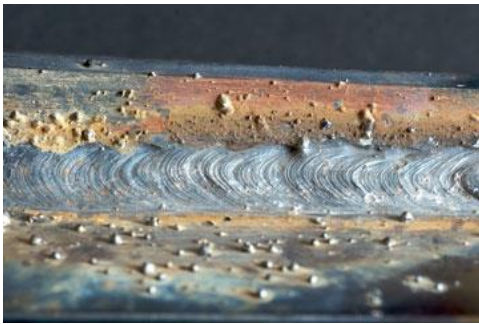
Fisuras laminares



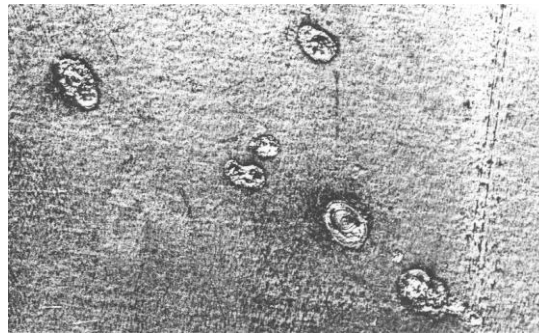
CALIDAD DE LA SOLDADURA

Defectos

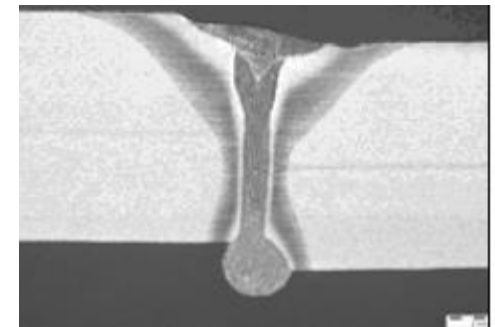
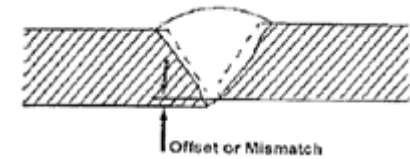
Salpicaduras



Golpe de arco o arranque por arco



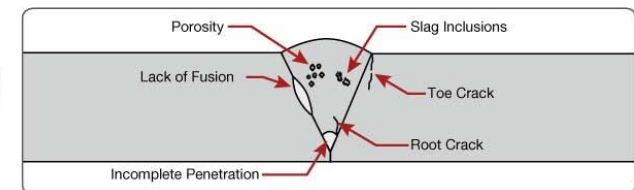
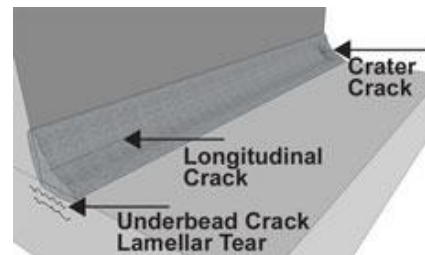
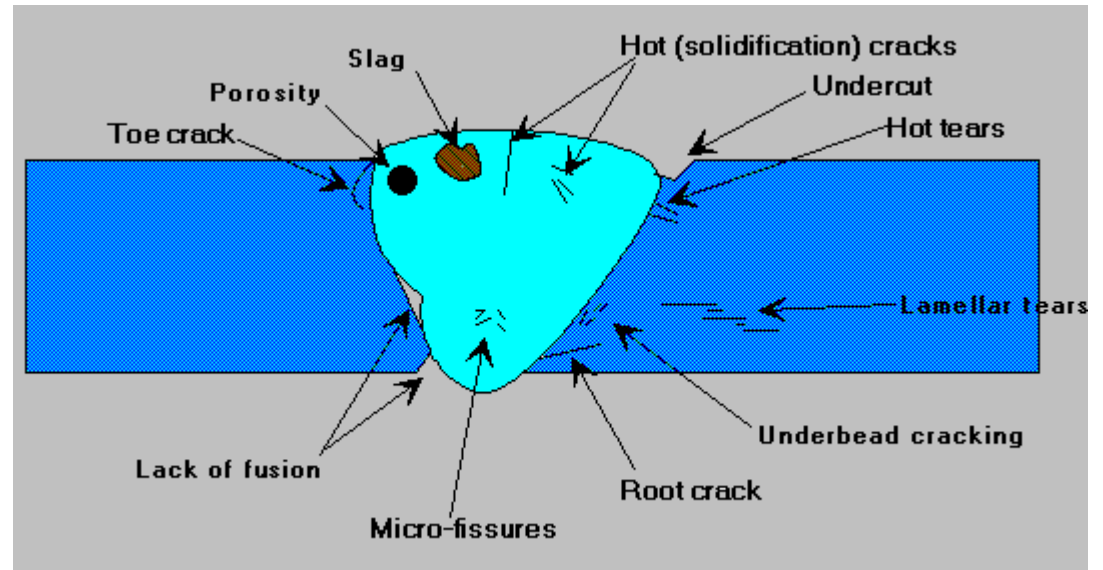
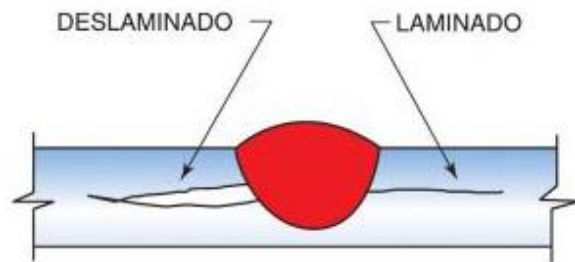
Desalineación



CALIDAD DE LA SOLDADURA

Defectos

Laminaciones



CALIDAD DE LA SOLDADURA

Diseño

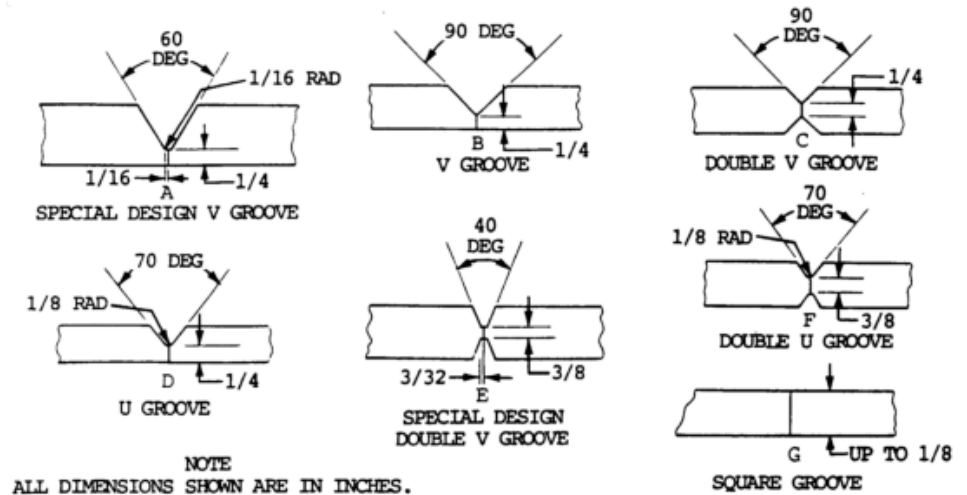
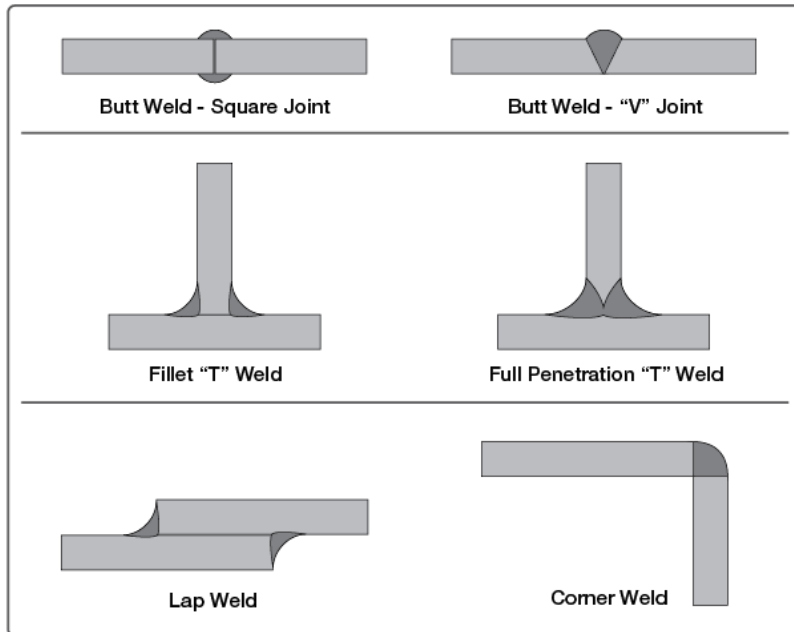


Figure 7-11. Joint design for aluminum plates.