

1_ METALURGIA DOS AÇOS	2
1.1 _ Aços carbono:	2
1.2 _ Influência do carbono na soldabilidade dos aços:	3
1.3 _ Classificação dos Aço-Carbono de acordo com sua soldabilidade:	5
1.4 _ Aços de baixa liga:	6
1.5 _ Aços de alta resistência para altas pressões:.....	6
1.6 _ Aços Carbono Molibdênio:	6
1.7 _ Aços Cromo Molibdênio:	7
1.8 _ Aços de alta velocidade:	7
1.9 _ Aços Manganês de Baixa Liga:	7
1.10 _ Aços de baixa liga classificados pela SAE:	8
2_ AÇOS INOXIDÁVEIS	8
2.1 _ Aços Inoxidáveis Austeníticos:	9
2.1.1 _ Soldabilidade dos Aços Inox Austeníticos	10
2.2 _ Aços Inoxidáveis de baixo teor de carbono:.....	11
2.3 _ Aços Inoxidáveis estabilizados:	11
2.4 _ Tratar termicamente (Hipertêmpera):	12
2.5 _ Aços Inoxidáveis Martensíticos:	12
2.6 _ Aços Inoxidáveis Ferríticos:.....	13
3_ FERRO FUNDIDO:	14
3.1 _ Ferro fundido cinza:	14
3.2 _ Ferro fundido branco:	15
3.3 _ Ferro fundido maleável:.....	15
3.4 _ Ferro fundido nodular:.....	16
3.5 _ Soldabilidade do ferro fundido:.....	16
3.5.1 _ Aspecto metalúrgico:.....	16
3.5.2 _ Aspecto físico:	17
3.6 _ Escolha do procedimento de soldagem:	17
4_ REVESTIMENTO DE PROTEÇÃO CONTRA DESGASTE:	18
4.1 _ Abrasão:.....	19
4.1.1 _ Classificação dos desgastes abrasivos:	19
4.2 _ Impacto:.....	20
4.3 _ Fricção:	20
4.4 _ Cavitação:	21
4.5 _ Temperatura:.....	21
5_ SOLDABILIDADE DO AÇO MANGANÊS AUSTENÍTICO:	22
6_ COBRE E SUAS LIGAS:	22
6.1 _ Soldabilidade do cobre puro:	23
7_ BRONZE:	24
7.1 _ Bronze alumínio:	24
8_ LATÃO:	25
9_ ALUMÍNIO E SUAS LIGAS:	25
9.1 _ Soldabilidade do alumínio:.....	25

1 METALURGIA DOS AÇOS

O ferro está na natureza em estado de óxido, devido a sua afinidade com o oxigênio. Para se obter ferro metálico deve-se desligar a união ferro-oxigênio. O minério é posto em contato com o carbono que tem uma maior afinidade com o ferro. Isto é feito no alto forno, onde se obtém o ferro Gusa. Posteriormente, para produzir aço ou ferro fundido, o ferro gusa é beneficiado em dois tipos de fornos.

A função do carbono é de desoxidar e de acordo com o teor deste com o ferro, modifica suas propriedades mecânicas.

O ferro tem uma capacidade de dissolver carbono até certo limite. Acima de 1,7% o ferro está saturado de carbono e este fica em estado livre. Esta é a diferença entre o aço e o ferro fundido. Assim sendo, fica o aço definido como uma liga de ferro – carbono de 0,05% a 1,7% de carbono.

Com maior teor de carbono o aço aumento o limite de resistência à tração, o limite elástico e a dureza, diminui o alongamento e a resiliência, perde a propriedade de ser forjado, tem maior facilidade para ser temperado e diminui a soldabilidade.

Nos aços aparece o carbono em forma de união química como carboneto de ferro, denominado cementita (Fe_3C). Isto quer dizer: Três átomos de ferro estão combinados com um de carbono.

1.1 Aços carbono:

Na prática, podemos estabelecer os dois estados mais importantes dos aços carbono.

Estado estável a frio: Abaixo de $723^{\circ}C$, onde o ferro não dissolve o carbono.

Estado estável a quente: Acima de $723^{\circ}C$ chamado ponto de transformação o ferro dissolve totalmente o carbono. O ponto de transformação varia de acordo com o teor de carbono de $723^{\circ}C$ a $1130^{\circ}C$.

Em um exame microscópico de um aço carbono com menos de 0,83% de carbono, recozido, pode-se ver a diferença entre três constituintes fundamentais:

- _ Ferrita
- _ Perlita
- _ Cementita

A ferrita é o ferro puro (ferro α _ alfa).

A cementita é a união química, ferro – carbono (Fe_3C).

A perlita está sob a temperatura de transformação ($723^{\circ}C$) como um cristal misto composto por lâminas de ferrita.

De acordo com o teor de carbono o aço mostrará menor ou maior quantidade de grãos de ferrita pura, perlita ou cementita pura.

Acima do ponto de transformação do aço (723°C), os constituintes podem dissolver-se entre si produzindo uma solução sólida. Nesta fase todo o carbono está dissolvido no ferro e chama-se Austenita.

1.2 Influência do carbono na soldabilidade dos aços:

A Soldabilidade dos aços diminui com o aumento do teor de carbono. Isto porque, como é sabido, entre outras influências, o aumento do teor de carbono no aço, diminui seu alongamento e aumenta sua capacidade de têmpera.

Uma união preparada com um chanfro em V é como um cadinho que recebe o metal líquido, que está sendo depositado pelo eletrodo consumível. O metal depositado sofre um resfriamento de menor ou maior velocidade dependendo da temperatura da peça devido à dissipação de calor através dela.

Então, de acordo com o teor de carbono da peça, temos problemas de dureza na zona de transição e na zona termicamente afetada devido a modificação estrutural e trincas, pela falta de elasticidade, que não acompanha o fenômeno de dilatação e contração (acúmulo de tensões internas).

Para eliminar os problemas de soldabilidade dos aços em relação ao teor de carbono é necessário ter os seguintes cuidados:

- a_ limpeza da peça e preparação da unir.
- b_ Temperaturas de pré-aquecimento e pós-aquecimento.
- c_ Escolha do eletrodo.

Como norma geral, a limpeza é fundamental em qualquer tipo de soldagem para evitar porosidades, incrustações e oxidação no depósito.

A preparação do chanfro deverá ser de acordo com as espessuras a unir, a posição da peça e ao processo de soldagem utilizado.

O pré-aquecimento tem como objetivo evitar uma dissipação muito rápida de calor produzido pela soldagem, e, com isso, um resfriamento brusco.

A temperatura de pré-aquecimento deverá ser de acordo com a espessura, o tamanho da peça, a forma da peça e ao teor de carbono. Vejamos uma tabela com temperatura de pré-aquecimento de acordo com o teor de carbono:

Teor de C		Temperaturas °C	
0,05	- 0,30%	Até 100°C	
0,31	- 0,40%	100°C	- 200°C
0,41	- 0,50%	200°C	- 300°C
0,51	- 0,60%	300°C	- 400°C
0,61	- 1,70%	400°C	- 500°C

Pode-se também calcular pela fórmula de C_{eq} , ou seja:

$$C_{eq} = (\% C) + (\% Mn / 4) + (\% Si / 4)$$

Se o aço está a uma temperatura superior ao seu ponto de transformação e deixar resfriar lentamente. A austenita passará à perlita, isto é – Recozimento: O grão afina-se, aliviam-se as tensões e se homogeneíza a estrutura.

Se ao passar de estado “Austenítico” o resfriamento é brusco, então temos um estado intermediário chamado Martensita. Isto denomina-se: Têmpera.

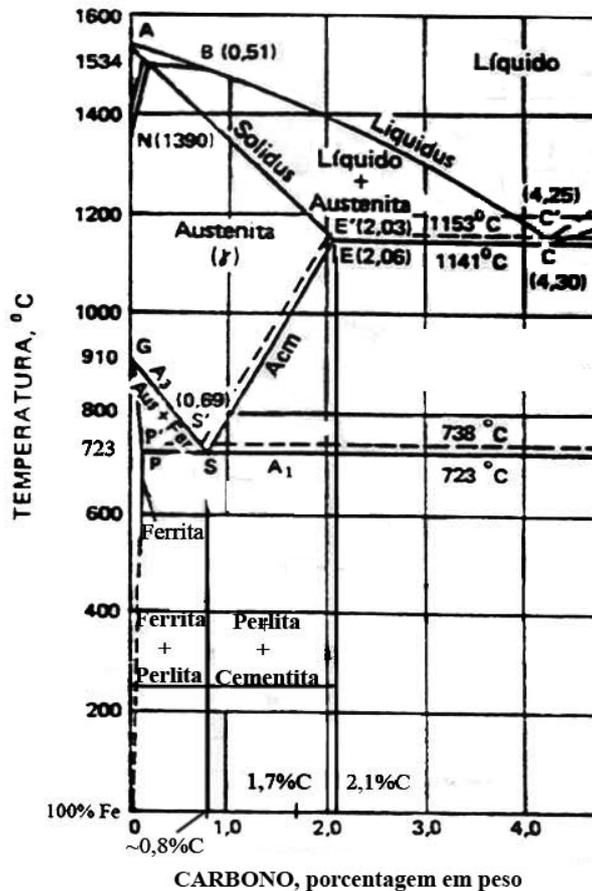
A martensita será mais dura se o teor de carbono for maior. O aço no estado martensítico é frágil, duro, com grandes tensões internas e com coeficiente de segurança quase nulo. Por esta razão a maioria dos aços temperados precisa de um revenimento depois da têmpera.

O revenimento consiste em aquecer o aço temperado sob a temperatura de transformação e deixar resfriar lentamente, se bem que pode-se efetuar o resfriamento mais rápido, mergulhando-se em óleo ou água.

Quando se esquento o aço temperado, a Martensita sofre uma transformação sob a influência da temperatura e seu estado molecular apresenta diferentes fases que se conhecem como: “Troostrita”, “Osmondita” e “Soorbita”.

A estrutura destes três estados são lâminas de Ferrita e Cementita finíssimas.

Podemos ver no diagrama Ferro-Carbono o comportamento dos aços de acordo com o teor de carbono.



O pós-aquecimento pode ser de 50°C a 100°C acima da temperatura de pré-aquecimento e serve para uniformizar a temperatura da peça, ter um resfriamento uniforme e aliviar as tensões internas.

A seleção do tipo de eletrodo deverá ser de acordo com o tipo de aço a soldar e a bitola de acordo com a espessura.

1.3 Classificação dos Aço-Carbono de acordo com sua soldabilidade:

Aços de baixo carbono. (0,05% até 0,30% C)

Usos: Estruturas, vigas, chapas, tubulações, arames, parafusos, etc.

Não apresenta dificuldades em sua soldabilidade.

Aços de médio teor de carbono. (0,31% até 0,45% C).

Usos: Elementos de máquinas de resistência média (eixos, engrenagens, pinhões, pinos, chavetas, etc).

Sua soldabilidade não é difícil tendo-se os cuidados necessários na escolha do eletrodo, temperatura de pré-aquecimento, pós-aquecimento e taxa de resfriamento.

Aços com alto teor de carbono. (0,46% até 0,75% C).

Usos: Elementos de máquinas de maior resistência, ferramentas, molas, etc.

Sua soldabilidade é mais difícil, mas cuidando –se dos parâmetros, se obtém ótimos resultados.

Aços de altíssimo teor de carbono. (0,76 até 1,7% C).

Usos: ferramentas, matrizes, calibres, ferramentas de precisão e etc.

Sua soldabilidade é muito difícil pelos cuidados que se deve ter com a temperatura de pré-aquecimento, pós-aquecimento, resfriamento e tratamento térmico antes e depois da soldagem, mas podem-se soldar com bons resultados com a escolha de um eletrodo adequado e cuidando-se dos parâmetros.

1.4 Aços de baixa liga:

Pelas limitações técnicas dos aços-carbono, foram desenvolvidos os aços de baixa liga, adicionando-lhes pequenas quantidades de outros elementos, não ultrapassando um total de 6%.

Os elementos de liga são cromo, níquel, molibdênio, vanádio, tungstênio, silício e manganês. Os dois últimos elementos em teores maiores que os normais. Também podem se usar os elementos de liga: Fósforo, enxofre, cobre, boro, zircônio, nióbio, etc.

Conforme seu uso, classificaremos os aços de baixa liga em:

1.5 Aços de alta resistência para altas pressões:

Conforme a norma ASTM e as seguintes especificações: A203*, A204, A225, A353*, A553* e A537.

*Estes três tipos de aço-liga, em geral, tem uma baixa tenacidade à baixas temperaturas na condição de laminado. Isto soluciona-se com a adição de níquel.

Estes aços especialmente ligados com níquel estão especificados por:

A 203 (2,50% Ni)	–	40°C
A 353 (2,50% Ni)	–	100°C
A 553 (2,50% Ni)	–	196°C

e podem ser soldados com eletrodos do tipo AWS E310 e 309 ou com eletrodos com 70% de níquel, em especial os aços ASTM A553 e A 353.

1.6 Aços Carbono Molibdênio:

Conforme a norma ASTM especificado por: A335 e A369 para resistir a temperatura até 400°C. O eletrodo mais apropriado é classificado como E 7018-A1

1.7 Aços Cromo Molibdênio:

Estes aços representam o mais importante grupo de aços liga para serviço em altas temperaturas utilizados em refinarias de petróleo onde também sofrem corrosão pelo enxofre do petróleo cru. O aço mais representativo é aquele que tem 5 % de Cr e 0,5% de Mo, conforme a norma AISI 510 e AISI 502.

Nestes tipos de aços, pré-aquecimento e pós-aquecimento são importantes para o alívio de tensões.

Se não for possível o pré-aquecimento podem ser soldados com eletrodos dos tipos AWS E 310 e E309 ou E309 Mo.

1.8 Aços de alta velocidade:

São aços em uma adição de fósforo e enxofre para facilitar a usinagem, que favorece o corte das ferramentas a grandes velocidades.

Os valores normais de fósforo e enxofre são de 0,040% máximo. Para facilitar a usinagem o teor de fósforo pode ser de 0,12% máximo e o teor de enxofre de 0,15% máximo. Mas, isto prejudica a soldabilidade pelo fato de produzir muitas trincas. Neste caso o eletrodo mais adequado é o de revestimento básico.

1.9 Aços Manganês de Baixa Liga:

O manganês atua como desoxidante e desulfurante. Abaixo de 1% o manganês não prejudica a soldabilidade, mas dá uma tendência ao endurecimento.

Acima de 1% o manganês aumenta a tendência de trincas. O manganês tem uma tendência de endurecimento 4 vezes menor que o carbono.

Um aço manganês de baixa liga tem um teor de 1,6% a 1,9%, o que dificulta a soldabilidade.

Este aço é principalmente usado como chapa anti-desgaste em equipamentos de mineração, etc.

O teor de carbono pode ser de 0,20% a 0,45% e necessita de um pré-aquecimento de 200°C a 400°C para evitar as trincas. Sua soldabilidade não é muito fácil, e utiliza-se eletrodos de baixo hidrogênio, ou melhor ainda, eletrodos de cromo-níquel.

A classificação destes tipos de Aço Manganês de baixa liga conforme a norma SAE são: 1320, 1330, 1335, 1340.

1.10 Aços de baixa liga classificados pela SAE:

Esta classificação tem um sistema numérico de 4 dígitos que indica o tipo de aço.

Exemplo: SAE X Y Z Z

Primeiro dígito _ Indica o(s) elemento(s) principal(is) da liga, como por exemplo:

- 1 Aço ao carbono / Aço manganês
- 2 Aço ao níquel
- 3 Aço ao níquel – cromo
- 4 Aço ao molibdênio – cromo
- 5 Aço ao cromo
- 6 Aço ao cromo – vanádio
- 7 Aço ao tungstênio
- 8 Aço ao níquel – molibdênio
- 9 Aço ao silício – manganês

Segundo dígito: indica o teor aproximado do(s) elemento(s) principal(is)

Terceiro e quarto dígitos: indicam o teor aproximado de carbono no aço.

Exemplo:	SAE	1045	=	0,45%C
		2120	=	0,20%C
		4140	=	0,40%C

Em alguns casos estes tipos de aços podem ser soldados com eletrodos de baixo hidrogênio, mas quando uma peça for muito importante é melhor solda-la com eletrodos de cromo-níquel austenítico-ferrítico que dão maior segurança.

2 AÇOS INOXIDÁVEIS

Define-se como aços inoxidáveis todos os aços com um teor de cromo acima de 11,5%, os quais poderão ou não serem ligados com o níquel. A propriedade é dada pelo cromo pois sobre o aço,

forma uma camada de óxido de cromo muito resistente à corrosão. Metalurgicamente, podemos estabelecer três tipos fundamentais de aços inoxidáveis:

2.1 Aços Inoxidáveis Austeníticos:

- _ Não tratáveis ao calor.
- _ Série 300.

Ao cromo-níquel, endurecem com o trabalho, não magnéticos, normalizados por AISI, na AISI 301, 302, 304, 304L, 305, 308, 308L, 309, 310, 314, 316, 316L, 317, 318, 321, 347, e 348.

Os aços inoxidáveis austeníticos são classificados pela AISI série 300 e suas análises variam entre 16 e 26% de cromo, 6 a 22% de níquel e 0,03 a 0,025% de carbono no máximo. Estes aços não são magnéticos e tampouco endurecíveis pelo tratamento ao calor. Não requerem pré-aquecimento ou recozimento pós soldagem quando utilizados em condições atmosféricas de corrosão normais ou médias.

O recozimento destes aços somente será necessário quando os mesmos forem submetidos a um processo mecânico de atrito como o caso de laminação, trefilação, ou outro similar, pois, caso contrário, encruam.

Estes aços possuem baixa condutividade térmica e alto coeficiente de expansão, assim sendo, poderão apresentar alguns problemas de distorção, a menos que medidas preventivas sejam tomadas. Respaldos de cobre poderão ser utilizados para absorver o calor mais rapidamente.

O uso de gabaritos também será uma boa prática para evitar estes problemas. (os problemas de distorção decorrentes destas propriedades).

A soldagem multi-passes com eletrodos de pequeno diâmetro e cordões curtos, também poderão evitar certos problemas causados pela distorção.

São os aços inoxidáveis mais usados industrialmente para trabalhar em presença de corrosão química ou a altas temperaturas.

Os tipos 18/8 (18% Cr e 8% Ni), AISI 304 e 308, são os aços mais comuns.

Os tipos 24/12 e 25/20 (% Cr / % Ni - respectivamente), AISI 309 e 310, são utilizados para serviços que devem suportar altas temperaturas e corrosão.

Os tipos 20/12/2,5 (20% Cr; 12% Ni; 2,5% Mo), são utilizados para resistir à corrosão química e a altas temperaturas. Os aços tipos AISI 316 são uma liga com 20% de cromo, 12% de níquel e 2% de molibdênio. Este último elemento dá uma grande resistência a corrosão pelo ácido sulfúrico, gases sulfurosos e ácidos orgânicos.

O eletrodo AWS E 309 é usado freqüentemente para soldar aços “Clad” (Chapeados) 18/8 pois a fusão do eletrodo é feita com o aço carbono e não dilui a liga chapeada.

Os eletrodos AWS E 309 Mo é usado para soldar aços “Clad” tipo 316.

Os aços tipo AISI 310, 25/20 são os mais usados para suportar altas temperaturas por sua boa resistência à oxidação, alto alongamento e resistência à tração a essas temperaturas.

Há uma liga inoxidável desenvolvida especialmente como eletrodo que tem a grande vantagem de soldar aços de diferentes composições químicas ou aços de difícil soldabilidade.

Esta liga tem uma estrutura austenítica-ferrítica com 29% de cromo e 9% de níquel (29/9), e são classificados como E312.

2.1.1 Soldabilidade dos Aços Inox Austeníticos

Os aços inoxidáveis AISI as série 3XX são considerados facilmente soldáveis, não recebem tratamento térmico, e a soldagem não afeta sua resistência mecânica e dutibilidade na zona de união.

Mas um efeito negativo se produz neste tipo de aço ao ser aquecido entre 480°C e 780°C. Nesta temperatura se produz uma mudança estrutural que reduz enormemente sua resistência à corrosão. Este fenômeno se conhece como “precipitação de carbonetos”.

Os carbonetos de cromo são precipitados nos limites dos grãos de austenita.

Isto produz uma perda de cromo chamada “descromização” ao redor do carboneto.

O carboneto tem aproximadamente 90% de cromo e 5% de carbono (Cr₄C).

A seguir, o aço inoxidável em contato com um agente corrosivo, sofre corrosão nos limites do grão onde a descromização deixou um teor de cromo menor que 12% (valor mínimo para a resistência à corrosão).

Isto é chamado “corrosão intergranular ou intercristalina”.

Como no metal base inoxidável, durante o processo de soldagem a zona termicamente afetada sempre estará exposta às temperaturas críticas se produzirá a precipitação de carbonetos.

Depois, em contato com, um agente químico, se produzirá a corrosão intergranular.

Como evitar a precipitação de carbonetos de cromo?

1. Utilizar eletrodos com baixo teor de carbono.
2. Soldar com eletrodos estabilizados.
3. Tratar termicamente (hipertêmpera)
4. Não expor a peça entre 480°C e 760°C por longos períodos.

2.2 Aços Inoxidáveis de baixo teor de carbono:

Tendo baixo carbono, são poucos os carbonetos que se podem formar. Para isto foram desenvolvidos os aços inoxidáveis (como metal base) das seguintes qualidades:

- a) Qualidade L – Low carbon; $C_{\text{máx}} = 0,05\%$
- b) Qualidade ELC – Extra Low Carbon; $C_{\text{máx}} = 0,03\%$

Os eletrodos para soldar estes tipos de aço também devem ser baixo carbono. Por exemplo: Para soldar um aço AISI 316L, devemos usar um eletrodo AWS E316L-16 (de qualidade Low Carbon ou Extra Low Carbon).

2.3 Aços Inoxidáveis estabilizados:

Uma outra forma de se evitar a formação de carbonetos de cromo é adicionar aos aços inoxidáveis, elementos que tenham uma maior afinidade com o carbono que o cromo. Estes elementos são: Nióbio, titânio e tântalo e a eles dá-se o nome de estabilizantes. Desta maneira não

se formam carbonetos de cromo, mas sim carbonetos de nióbio, titânio ou tântalo e evita-se a descromização do aço.

Um aço estabilizado ao nióbio deve ter o seguinte teor:

% Nióbio = 10 x % C mínimo.

Os carbonetos formados com qualquer dos elementos estabilizadores não sofrem ataques corrosivos nos limites de grão.

Os tipos de aço estabilizados mais comuns são:

AISI 309Cb (Cr = 25%; Ni = 12%; Cb = 0,8%)

310Cb (Cr = 25%; Ni = 20%; Cb = 0,8%)

318 (Cr = 18%; Ni = 12%; Mo = 2,5%; Cb = 0,8%)

321 (Cr = 18%; Ni = 8%; Ti = 0,4%)

347 (Cr = 18%; Ni = 8%; Cb = Ta = 0,8%)

Os tipos de eletrodos usados para soldar estes aços inoxidáveis devem ser da mesma classificação ou compatíveis.

2.4 Tratar termicamente (Hipertêmpera):

Aquecendo a peça a uma temperatura de 1050°C – 1100°C (austenitização) se consegue dissolver os carbonetos de cromo e o resfriamento rápido evita a reprecipitação.

A união soldada agora está insensível à corrosão intergranular.

Em geral, a amperagem que deve usar-se para soldar deve ser menor, pois os aços inoxidáveis tem uma condutividade térmica 50% menor que a do aço carbono.

É recomendável reduzir a amperagem em 10% com relação às soldagens em aços comuns.

Para soldar os aços inoxidáveis austeníticos não se precisa pré-aquecimento, pois ele não muda para um estrutura dura, e se pré-aquecidos os favorecerão à precipitação dos carbonetos.

2.5 Aços Inoxidáveis Martensíticos:

a) Tratáveis ao calor

_ Série 400.

_ Ao cromo, temperáveis, magnéticos.

_ Tipos: AISI 403, 410, 414, 416, 420.

b) Tratáveis ao calor.

_ Série 500.

_ Tipos: 501 e 502.

Estes aços são resistentes à corrosão e altas temperaturas e utiliza-se para peças como: eixos de bombas, paletas de turbinas, torres de cracking (craqueamento catalítico fluido de petróleo), válvulas tipo agulha, etc.

Os tipos AISI 410 e AISI 416 são temperáveis ao ar e tem uma dureza de 400HB.

O grau de dificuldade para se soldar este tipo de aço torna imprescindível um pré-aquecimento mínimo de 200°C.

O pós-aquecimento deve ser de 700°C a 800°C, mantido por 4 horas.

Quando não houver o eletrodo do mesmo tipo do metal base, então é possível usar um eletrodo do tipo AWS E 310-16.

2.6 Aços Inoxidáveis Ferríticos:

_ Não tratáveis ao calor.

_ Série 400.

_ Ao cromo, não temperáveis, magnéticos

_ Tipos: AISI 405, 430, 442 e 446.

Estes aços tem a melhor resistência à corrosão e temperatura. Usam-se principalmente em matrizes a quente, partes de fornos, moldes para vidros, etc.

A soldabilidade destes aços é limitada não por sua dureza, mas sim por sua tendência ao crescimento de grão, o que deixa a zona soldada quebradiça, com perda de tenacidade.

Depois de soldar, devemos aquecer a peça em torno de 870°C e resfriar rapidamente, em especial na faixa em que se produz o crescimento de grão (370°C até 760°C) “Fragilidade à 475°C”

Se não houver o eletrodo adequado pode-se usar um eletrodo tipo AWS E 310-16 ou AWS E 309-16.

3 FERRO FUNDIDO:

O ferro fundido é uma liga ferro-carbono-silício com 1,7% até 4,5% de carbono.

Na obtenção do ferro fundido existem muitas variáveis como: composição das cargas no forno, temperatura de corrida, velocidade de resfriamento no molde, influência do silício e de outros elementos.

Classificaremos os ferro fundidos em :

1. Ferro fundido cinza
2. Ferro fundido branco
3. Ferro fundido maleável
4. Ferro fundido nodular
5. Ferros fundidos especiais

3.1 Ferro fundido cinza:

O carbono está livre em forma de lâminas de grafite, exceto uma pequena quantidade de 0,50% que está combinada com o ferro em estado perlítico.

A resistência à tração de um ferro fundido cinza é pequena ($12 - 20 \text{ kg/mm}^2$), mas sua resistência à compressão é boa ($60 - 90 \text{ kg/mm}^2$) e sua elasticidade é praticamente zero.

O silício tem papel importante na elaboração do ferro fundido cinza; a porcentagem é superior a 1,8%. Se diminuir o teor de silício pode-se obter ferro fundido branco.

O silício evita a formação de cementsita, aumenta a fluidez e diminui a dureza, mas acima de 2,0% o ferro fundido perde uma grande parte de sua resistência.

Um bom ferro fundido tem a seguinte composição:

C	:	3,0	-	3,4%
Mn	:	0,5	-	0,7%
Si	:	1,9	-	2,2%
S	:	0,07%		
P	:	0,05%		

O tipo de um ferro fundido também depende do grau de resfriamento.

Se o resfriamento for lento (molde de areia), o carbono em solução no ferro fundido líquido precipita-se durante a solidificação em forma de grafite (grafita)

Se a solidificação é muito rápida, o carbono permanece diluído e se obtém ferro fundido branco.

3.2 Ferro fundido branco:

De acordo com o que foi mencionado anteriormente, no ferro fundido branco, todo o carbono está combinado com o ferro em estado de carboneto de ferro ou cementita (Fe_3C).

Daí que este material se torna muito duro, não usinável e praticamente insoldável.

O teor de manganês é importante pois favorece a solubilidade do carbono no ferro para formar a cementita.

Veamos uma composição típica do ferro fundido branco:

C	:	2,9	-	3,2%
Mn	:	0,6	-	0,8%
Si	:	1,0	-	1,5%
S	:	0,07%		
P	:	0,20%		

3.3 Ferro fundido maleável:

Este tipo de ferro fundido é produto de um tratamento térmico e não de uma fundição.

A partir do ferro fundido branco, pode-se obter o ferro fundido maleável:

De coração branco (coloração branca) - Fundição maleável francesa

De coração preto (coloração preta) - Fundição maleável americana

A primeira se obtém de uma reação química que elimina todo o carbono da superfície à alta temperatura (1000°C) pelo contato com o óxido de ferro.

O ferro fundido obtido fica com uma resistência à tração de $40 - 50 \text{ kg/mm}^2$ e o alongamento chega a 15%.

O segundo tipo se obtém por precipitação do carbono, em forma de nódulos, a uma temperatura de 930°C, em um meio neutro. O ferro fundido fica então com uma resistência à tração de 35 – 40 kg/mm² e um alongamento de 12 a 20%.

3.4 Ferro fundido nodular:

É um tipo de ferro fundido de características extraordinárias e pode substituir o aço fundido e ao ferro fundido maleável.

A composição do ferro fundido nodular é similar ao ferro fundido cinza.

Quando o ferro está líquido no forno e é feita a corrida, o cadinho que recebe o metal líquido tem no fundo uma pequena quantidade de magnésio. Aí se produz uma forte reação durante 25 segundos aproximadamente e o metal é depositado nos moldes de areia e resfriado lentamente.

Então o grafite fica precipitado em pequenas esferas ou nódulos, o que dá ótimas propriedades mecânicas.

Podem-se obter também ferro fundido nodular ligado, resistente à temperatura, corrosão, abrasão , etc.

3.5 Soldabilidade do ferro fundido:

Podemos fazer uma análise sobre os três aspectos:

- a) Metalúrgico.
- b) Físico.
- c) Escolha do procedimento de soldagem.

3.5.1 Aspecto metalúrgico:

O ferro fundido é uma liga rica em carbono, o que dificulta a soldabilidade, pois na zona termicamente afetada pelo calor da solda, a formação de martensita deixará uma zona dura, frágil e com fortes tensões internas, com tendência às microfissuras entre as lâminas de grafite. Além disso, na zona de fusão, parte do carbono livre ficará combinado em forma de carboneto de ferro. Isto ocorre principalmente quando se usa um eletrodo de baixo carbono.

A solução é soldar com eletrodos de alto teor de níquel. O níquel tem a propriedade de ajudar na grafitização e ao mesmo tempo afina e uniformiza o grão.

Então se obtém soldagens de boa resistência e usináveis. O eletro do níquel puro evita a formação de carbonetos de ferro.

Para evitar o problema de formação de martensita na zona termicamente afetado recomenda-se soldar com o procedimento “A FRIO”

Isto é, em cordões curtos alternados e martelados.

Ai a temperatura da peça não deve se elevar e fazemos a comprovação tecando a peça com a mão, se estiver muito quente, então deixamos resfriar; só agora podemos reiniciar a soldagem.

Ao contrario, pode se soldar ferro fundido com um pré-aquecimento a 320°C. E manter essa temperatura durante a soldagem mais tem o inconveniente de produzir deformações na peça pela dilatação e contração.

3.5.2 Aspecto físico:

O ferro fundido cinza e uma liga com uma elasticidade quase zero.

Os tipos mais especiais melhoram esta propriedade.

Por isto é que o ferro fundido tem tendência às trincas, pois não acompanha a dilatação e contração na variação de temperatura.

Isto apresenta-se pela grafita em seu estado livre que divide os grãos entre si.

Durante a soldagem a temperatura deverá se manter o mais constante possível, soldando a frio ou com pré-aquecimento. O martelamento dos cordões evita contração e alivia tensões internas. O resfriamento da peça deve ser o mais uniforme e lento possível. Não devemos esquecer que, em geral, as peças de ferro fundido são de formas complicadas.

Então as partes de menor espessura se resfriarão mais rapidamente que as partes mais grossas, o que pode provocar tensões internas. A limpeza da peça é fundamental na soldagem. As mesmas condições de serviço variam a soldabilidade do ferro fundido. O contato com lubrificantes, gases, água, calor, etc. São os fatores determinantes deste problemas. A limpeza é importantíssima, o que evita porosidades e trincas na soldagem.

3.6 Escolha do procedimento de soldagem:

Os procedimentos a serem usados com arco elétrico ou oxi-acetilênico dependerão do tamanho da peça, das condições de serviço, se é uma trinca ou um desgaste, da qualidade do depósito, da dureza do depósito, das instalações da oficina e do “estado” em que se encontra a peça. A exceção do ferro fundido branco e coquilhado todos os tipos de ferro fundido podem ser soldados a menos que as condições de serviço variem sua soldabilidade.

Em geral, os eletrodos classificados pela norma AWS tipo Ni Si (Ni=95%) recomenda-se em espessuras menores e seus depósitos são perfeitamente usináveis para todos os tipos de ferro fundido.

Os eletrodos tipo AWS E Ni Fe CI, recomenda-se para espessuras maiores, tem maior tendência às trincas por ter um coeficiente de dilatação menor, é o mais adequado para soldar ferros fundidos com mais de 2% de fósforo.

Tem um pouco mais de dureza que o tipo AWS AWS E Ni Fe CI, mas é perfeitamente usinável. Nos casos de soldar ferro fundido nodular e maleável e tipo AWS E Ni Fe CI é o mais recomendável, podem-se soldar a frio ou com um leve aquecimento.

Nunca ultrapasse os 700°C, pois é uma temperatura crítica para suas estruturas, motivo pelo qual utiliza-se eletrodos de bronze onde o ponto de fusão evitando-se a mudança de estrutura do ferro fundido e tornando-se dúctil, de fácil usinagem.

Para estes casos, emprega-se eletrodos AWS E Cu Al – A1 ou DIN 8555: E 31-200 Cn. Daí que, para estes tipos de ferro fundido a soldagem oxi-acetilênica não é recomendável. No caso dos ferros fundidos austenítico podem se soldar com eletrodos do tipo AWS E Ni Fe CI e do tipo E Ni Cr Fe-2, com um pré-aquecimento até 150°C para evitar a tendência às trincas.

Os eletrodos do tipo AWS E usam-se especialmente para solda combinada com eletrodos de Níquel ou ainda na soldagem de ferro fundido quimicamente alterado sem que os eletrodos E Ni ou E Ni Fe não apresentam boa aderência com o metal base.

4 REVESTIMENTO DE PROTEÇÃO CONTRA DESGASTE:

Classificação dos desgastes:

Solicitações mecânicas: abrasão, impacto, fricção, cavitação.

Solicitações térmicas: Temperatura.

Solicitações químicas: corrosão

4.1 Abrasão:

Os desgastes por abrasão ocorrem em temperaturas normais como resultado de um contato dinâmico entre peças metálicas e partículas ou fragmentos abrasivos (pó, minério, argila, areia, carvão, etc.).

4.1.1 Classificação dos desgastes abrasivos:

a) Abrasão por deslizamento:

As partículas atuam por deslizamento com diferentes velocidades e ângulos sobre o metal base desprendendo partículas destes.

Exemplo: Dentes de pá, chapas de desgaste, boca de saída de moinhos de bolas, discos de arado, etc.

b) Abrasão por esmerilhamento:

As partículas abrasivas estão entre duas superfícies metálicas. A força de compressão quase pontual que produzem as partículas entre duas superfícies chegam até 210 kg/mm^2 . Isto produz uma “deformação plástica” e microfaturas no metal base, o que facilita o desprendimento de partículas deste.

Exemplo: Roda motriz, esteira de trator, britador de sino, moinho de martelo, moinho de bolas, moinho de cana, etc.

c) Abrasão erosão:

As partículas abrasivas em suspensão num meio líquido ou gasoso produzem um desgaste por deslizamento. As partículas abrasivas deslizam e se chocam contra o metal base, desprendendo partículas deste.

Exemplo: Rotor e carcaça de bomba de lama, ventiladores industriais.

Em geral, pode-se dizer que um metal base ou uma liga de solda, para suportar a abrasão deve ser mais dura que as partículas abrasivas para não ser penetrado por elas.

4.2 Impacto:

O desgaste por impacto, ocorre como resultado de contínuos golpes e choques que vão fadigando o metal base, chegando a produzir uma deformação plástica, esmagamento, trincas e até desprendimento de pedaços da peça.

No desgaste por impacto, o que nos interessa é que as propriedades do metal base sejam iguais tanto na superfície tanto como no núcleo.

O metal base ao receber o impacto, deve sofrer a deformação no momento e voltar novamente às suas dimensões originais, absorvendo todo o impacto. Isto é o que se chama TENACIDADE.

Exemplo: Martetele de forja, martetele de estampador, martelos de britador, etc.

Em geral, uma peça não está submetida a um tipo de desgaste “único”. Ocorre que nas condições de serviço das mesmas, temos uma combinação de abrasão e impacto.

O grau de impacto e abrasão é normalmente determinado de acordo com a análise e experiência para estabelecer a relação Dureza-Tenacidade.

4.3 Fricção:

O desgaste por fricção ocorre no contato entre duas superfícies metálicas e explica-se como a formação e destruição de uniões metálicas. Um eixo pode estar muito bem retificado, mas observando sua superfície com um microscópio, a mesma se apresenta irregular.

A área real de contato entre duas superfícies metálicas é aproximadamente 10%, de acordo com sua rugosidade. Como as superfícies em contato são muito pequenas, a força por unidade de área é muito elevada, produzindo deformações plásticas e micro-soldagem entre as superfícies metálicas que vão se destruindo continuamente.

Um fator que diminui o desgaste por fricção é a menor solubilidade entre dois metais, isto quer dizer, por exemplo: Que o eixo de cobre é muito solúvel em uma bucha de bronze fosforoso (cobre-fósforo) o que facilita a micro-soldagem e cisalhamento com deformação plástica do material.

Então, para diminuir o desgaste por fricção, além de uma boa lubrificação é importante um par metálico com menos afinidade, melhor qualidade superficial (tamanho do grão), dureza relativa

de um metal ao outro, etc. Não deve usar-se bronze com um aço macio ou um aço macio sobre aço pelas razões já expostas.

No caso do preenchimento de um eixo de aço desgastado, o melhor é usar uma liga de aço cromo-níquel, de estrutura austenítica, já que esta tem grão fino, sua qualidade superficial depois de usinada é boa e adquire dureza no trabalho.

4.4 Cavitação:

A teoria do desgaste por cavitação é a mais discutida, pois normalmente está associada com corrosão e erosão.

De maneira simplificada, podemos dizer que a cavitação se produz só em meios líquidos com rotores de bombas, turbinas hidroelétricas, tubulações, etc.

Exemplo: Em uma bomba, o rotor, ao girar, produz uma diferença piezométrica entre dois pontos próximos que provocam microborbulhas que ao implodir despreendem partículas do metal base.

Para evitar estas diferenças de pressão em uma turbina hidroelétrica existe um tudo de aeração que sai à atmosfera para estabilizar a pressão das aletas da turbina e minimizar os efeitos da cavitação.

Além disso, o metal base deve ter uma dureza adequada para resistir à erosão e qualidade para resistir à corrosão.

No caso das turbinas hidroelétricas o metal mais usado é o aço inoxidável martensítico AISI 410. Os eletrodos serão seu correspondente, ou seja; E 410 ou ainda E 309.

4.5 Temperatura:

A temperatura como fator de desgaste atua sobre os metais afetando suas propriedades mecânicas. Um metal base submetido à alta temperatura diminui sua dureza, sua resistência à tração e seu limite de fluência, aumenta o alongamento e diminui a fragilidade.

As variações contínuas e bruscas de temperatura provocam fadiga no metal base.

Além disso, quando o metal base está a uma temperatura elevada, aumenta sua afinidade com o oxigênio, produzindo sua oxidação.

As perdas no metal devido à oxidação são maiores sob flutuações cíclicas.

Quando uma peça trabalha em altas temperaturas, e / ou em ciclos térmicos, é necessário selecionar uma liga mais adequada de acordo com a temperatura de serviço, dureza à quente, resistência ao impacto, à abrasão e corrosão por ambientes químicos.

Nos casos de materiais que devem estar a temperaturas altas e a oxidação é violenta, as ligas de cromo-níquel 25/20 tem boa resistência, mas as ligas de níquel-cromo-ferro 80/16/4 tem uma excelente resistência à oxidação.

5 SOLDABILIDADE DO AÇO MANGANÊS AUSTENÍTICO:

Para fazer soldagens de união no aço manganês austenítico, devem-se seguir as seguintes orientações:

- Somente utilizar solda elétrica
- Usar somente eletrodos de manganês ou de aço inoxidável austenítico ou austenítico-ferrítico.
- Usar mínima corrente (amperagem) para não superaquecer a peça.
- A condutibilidade calorífica do aço-manganês é cerca de $\frac{1}{4}$ em comparação com um aço carbono, o que aumenta a concentração de calor na “zona termicamente afetada”.
- Manter o arco curto, com cordões alternados e curtos.
- A temperatura da peça não deve ultrapassar 300°C, durante a soldagem.
- Resfriar a peça com água, panos úmidos ou deixar resfriar antes de prosseguir soldando.
- Chanfrar bem e perfurar os extremos da trinca.
- Nunca usar eletrodos para soldar aço carbono ou de baixa liga.
- Para soldar aço manganês austenítico com aços carbono ou baixa liga, usar somente eletrodos de estrutura austenítica ou austenítico-ferrítica.
- Quando é feito um revestimento anti-desgaste em um peça de aço manganês austenítico, as recomendações são as mesmas para não superaquecer a peça, soldar com baixa amperagem e com cordões curtos e alternados.
- Os eletrodos de revestimento duro são inteiramente compatíveis com este tipo de aço.

6 COBRE E SUAS LIGAS:

O cobre puro tem um grande uso por sua alta condutibilidade térmica e elétrica, mas em geral só para produtos laminados ou trefilados. Em peças fundidas, não preenche bem os moldes.

Podemos estabelecer dois grupos de qualidade de cobre:

Cobre com oxigênio (em forma de óxido cuproso Cu_2O)

$\text{Cu} = 99,0\%$ $\text{O}_2 = 0,05\%$

Condutibilidade elétrica $\approx 100\%$

Ao ser soldado com maçarico à 670°C , o teor de oxigênio no cobre combina-se com o hidrogênio e o monóxido de carbono da chama, formando dióxido de carbono e vapor d'água. Estes misturam-se nos grãos e produzem uma fragilidade na zona de transição de solda.

Elimina-se este problema usando-se ligas de prata de baixo ponto de fusão, por exemplo:

AWS BAg-2

AWS BAg-3

Também usam-se ligas que tenham fósforo, que serve como desoxidante:

AWS: R Cu Sn - A

B Cu P - 2

B Cu P - 3

B Cu P - 4

Cobre desoxidado:

$\text{P} = 0,025\%$

$\text{Si} = 0,10\%$

$\text{Cu} = \text{restante}$

Condutibilidade elétrica $\pm 80\%$

Neste tipo de cobre não há problema de soldabilidade. Seu uso é para chapas, tubulações, lâminas e peças fundidas de alta condutibilidade térmica.

6.1 Soldabilidade do cobre puro:

O pré-aquecimento é fundamental para soldar cobre puro, por sua alta condutibilidade térmica. De acordo com a espessura este deve ser entre 200°C e 400°C para soldar com maçarico ou TIG.

Se a peça estiver muito fria não será possível depositar o material.

A limpeza é importante e o uso do fundente ajuda neste sentido.

Quando há necessidade de soldar uma peça de cobre fundido de grandes dimensões o procedimento adequado se elabora com eletrodo ao arco do tipo AWS E Cu, mas em alguns casos se pode usar eletrodos de bronze.

O pré-aquecimento deve ser muito forte – de 500°C a 600°C – pois a dissipação de calor é violenta. Há necessidade de soldar com corrente (amperagem) alta e martelar cada cordão.

7 BRONZE:

O bronze é uma liga de cobre e outros elementos como estanho, zinco, fósforo, silício, manganês, chumbo, alumínio, etc.

Alguns deles podem ser tratados termicamente, o que melhora suas propriedades mecânicas.

Vejamos os tipos mais comuns.

Bronze anti-fricção:

Cobre – Estanho, ex.: 80/15.

Cobre – Estanho – Zinco, ex.: 87/11/0,6.

Estes tipos podem ser soldados ao arco elétrico ou ao maçarico com os eletrodos tipos AWS E Cu Sn A, E Cu Sn C ou varetas AWS R Cu Sn A respectivamente.

O bronze antifricção com mais de 8% de chumbo pode ser soldado com os tipos de eletrodos ou varetas mencionadas (de preferência com maçarico), só que haverá uma precipitação de chumbo pelo calor da solda que dificulta sua soldabilidade.

Exemplo: Bronze do tipo para buchas de locomotivas e vagões.

Cu = 79,7%, Sn = 10%, Pb = 10%, P = 0,3%.

Bronze para peças fundidas, como válvulas, rotores de bombas, etc.

O tipo mais comum para peças fundidas é a liga 85/5/5/5 (cobre, estanho, zinco e chumbo, respectivamente), de excelente usinabilidade.

7.1 Bronze alumínio:

Basicamente, o bronze alumínio é uma liga de cobre e alumínio de excelentes características mecânicas, termicamente tratável e de boa soldabilidade. O seu largo emprego na indústria deve-se essencialmente ao seu baixo coeficiente de fricção, sua leveza, sua resistência à água do mar, à soda cáustica, etc.

Uma composição típica do bronze alumínio:

Cu = 79,7%

Al = 10,1%

Fe = 5,2%

Ni = 5,0%

Os eletrodos a serem usados devem ser do tipo AWS E Cu Al – A1, E Cu Al – A2, E Cu Al – B.

As varetas devem ser do tipo AWS R Cu Al – A2 e R Cu Al – B, somente para soldar com o sistema TIG. É difícil soldar com maçarico os bronze alumínio.

Em geral, as varetas para soldar com maçarico oxi-acetilênico servem também para soldar com TIG.

A soldabilidade dos bronze é boa (à exceção dos bronze com chumbo), a temperatura de pré-aquecimento deve ser entre 200°C a 300°C dependendo do tamanho da peça, espessura a unir, etc.

8 LATÃO:

É uma liga cobre-zinco (até 40% de zinco), que tem a propriedade de ser forjado, laminado, trefilado, etc., propriedade que não existe na maioria dos bronzes.

São múltiplas suas aplicações dentro da indústria como, por exemplo: parafusos, porcas, tubulações arames, lâminas, válvulas e peças fundidas.

Em geral, sua soldabilidade está limitada a ser feita com maçarico, pois com o arco elétrico, o zinco vaporiza-se a 900°C aproximadamente na zona de fusão.

Somente se houver necessidade de fazer solda com eletrodo, então pode-se usar um eletrodo do tipo AWS E Cu Al – A2.

Aí o alumínio que se adiciona formará uma capa de óxido de alumínio que evitará a vaporização do zinco.

Os tipos de vareta que podem-se utilizar para soldar as ligas de latão estão classificados por AWS R Cu Zn – A

O pré-aquecimento pode ser de 200°C a 300°C, não deve-se superaquecer a peça pelo problema do zinco. O fundente é importante para a limpeza da solda.

9 ALUMÍNIO E SUAS LIGAS:

O alumínio tem diferentes usos na indústria como produtos laminados, forjados, fundidos a pressão ou em moldes para condutores elétricos, pistões de motores, chapas de carroçaria, recipientes de leite, blocos de motor, Carter, etc.

O alumínio pode estar ligado com silício, magnésio, cobre, manganês e zinco.

Dependendo das espessuras à unir, solda-se com maçarico (até 5mm) ou com eletrodo (acima de 5mm). O sistema TIG é muito bom, em especial para chapas finas.

9.1 Soldabilidade do alumínio:

Este metal base tem os seguintes problemas, cuja solução facilita a soldagem.

O alumínio tem uma alta condutibilidade térmica que dificulta a soldagem. Quando se começa a soldar, o calor é dissipado muito rapidamente.

Para se evitar isso é preciso fazer um pré-aquecimento de 300°C para soldar com maçarico e de 150°C para soldar ao arco.

Só assim é possível fazer um cordão de solda com boa fusão.

O alumínio tem uma afinidade muito grande com o oxigênio, assim sendo, todas as peças estarão sujeitas à oxidação superficial.

Por exemplo, se limarmos a superfície, ela ficará saem este óxido (Alumina _ Al_2O_3), mas depois de 15 segundos, teremos novamente uma superfície oxidada.

O alumínio tem um ponto de fusão de 658°C

A alumina tem um ponto de fusão de 2100°C.

Para solucionar estes problemas é usado um fundente muito ativo e enérgico com base em fluoretos, o que elimina o óxido na zona de fusão.

Depois de soldar, a peça deve ser lavada com água quente para remover todos os resíduos de fundente, pois do contrário, corroem a união.

No caso de se soldar com maçarico, é difícil saber a temperatura a que se deve aplicar o material de adição, pois o alumínio não muda de cor.

O fundente tem a propriedade de indicar a temperatura de 100°C antes do ponto de fusão da solda.