

Aços inoxidáveis para equipamentos e instalações farmacêuticas - 2ª Parte

Rodolfo Cosentino - Eduardo Bernasconi



Rodolfo Oscar Cosentino
e-mail: rodolfo.cosentino@terra.com.br
Eduardo Rafael Bernasconi
Site: www.labotest.com.br

ASME BPEa-2000 recomenda o uso de aços TP 316, TP 316L, ou melhores tais como o AL6XN e o 2205. Os únicos tubos e acessórios aprovados pelas normas ASTM para usos farmacêuticos respondem a ASTM A 270.

CLASSIFICAÇÃO EM FUNÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS E COMPOSIÇÃO QUÍMICA

Dando continuação a classificação dos distintos tipos de aço inoxidável, apresentamos a seguir as tabelas comparativas das propriedades

mecânicas e composição química.

Tabela 1 - Relação entre estrutura, composição química, temperabilidade e magnetismo dos aços inoxidáveis [1].

Tipo de aço	Faixa de composição			Temperável	Magnético
	% C	% Cr	% Ni		
Ferrítico	<0,08	12-14	-	Não	Sim
	<0,10	16-19	-		
	<0,25	24-28	-		
Martensítico	>0,09	12-14	-	Sim	Sim
	0,17	16-18	1,25-2,5		
Ferrítico-austenítico (Duplex)	<0,10	24-27	4,5-7	Não	Sim
Austenítico	<0,10	16-26	7-26	Não	Não

Tabela 2 - Classificação conforme composição química e propriedades mecânicas [1].

Tipo de aço	SS	% C	% Cr	% Ni	% Mo	Outros	R _{p0.2} N/mm ²	R _m N/mm ²	A ₅ %	HB
13Cr	2301	max 0,08	12,0-14,0	Max 0,5	-	-	Min 250	440-640	Min 20	Max 210
	2303	0,18-0,25	12,0-14,0	Max 1,0	-	-	Min 490	690-880	Min 16	210-270
17Cr	2320	Max 0,10	16,0-18,0	Max 0,5	-	-	Min 250	440-640	Min 18	Max 200
18Cr-2Mo	2326	Max 0,025	17,0-19,0	Max 0,5	2,0-2,5	Ti	Min 340	440-640	Min 25	Max 210
25-5-1,5Mo	2324	Max 0,10	24,0-27,0	4,5-6,0	1,3-1,8	-	Min 440	590-780	Min 20	Max 260
18-9	2332	Max 0,07	17,0-19,0	8,0-11,0	-	-	Min 210	490-690	Min 45	Max 200
	2333	Max 0,05	17,0-19,0	8,0-11,0	-	-	Min 210	490-690	Min 45	Max 200
	2337	Max 0,08	17,0-19,0	9,0-12,0	-	Ti	Min 210	490-690	Min 40	Max 210
	2338	Max 0,08	17,0-19,0	9,0-12,0	-	-	Min 210	490-690	Min 40	Max 210
	2352	Max 0,030	17,0-19,0	9,0-12,0	-	-	Min 190	460-640	Min 45	Max 190
	2371	Max 0,030	17,0-19,0	7,0-10,0	-	-	N ¹⁾	Min 290	590-780	Min 40
17-12-2,5Mo	2347	Max 0,05	16,0-18,5	10,6-14,0	2,0-2,5	-	Min 220	490-690	Min 45	Max 200
	2348	Max 0,030	16,0-18,5	11,0-14,0	2,0-2,5	-	Min 210	490-690	Min 45	Max 200
	2350	Max 0,08	16,0-18,5	10,5-14,0	2,0-2,5	Ti	Min 220	490-690	Min 45	Max 210
	2343	Max 0,05	16,0-18,5	10,5-14,0	2,5-3,0	-	Min 220	490-690	Min 45	Max 200
	2353	Max 0,030	16,0-18,5	11,5-14,5	2,5-3,0	-	Min 210	490-690	Min 45	Max 200
	2375	Max 0,030	16,0-18,5	9,0-12,5	2,5-3,0	-	N ¹⁾	Min 310	590-780	Min 40
18-14-3,5Mo	2366	Max 0,05	17,5-19,5	13,0-16,0	3,0-4,0	-	Min 230	490-690	Min 40	Max 200
	2367	Max 0,030	17,5-19,5	14,0-17,0	3,0-4,0	-	Min 220	490-690	Min 40	Max 200
17-15-4,5Mo	-	Max 0,05	16,0-18,0	13,5-16,5	4,0-5,0	-	Min 220	Min 550	Min 40	Max 200
20-25-4,5Mo-1,5Cu	2562	Max 0,030	20,0-21,0	24,5-26,0	4,0-5,0	Cu ²⁾	Min 210	Min 590	Min 50	Max 200

¹⁾ 0,15-0,22 % N ²⁾ 1,0-2,0 % Cu

Seguem abaixo as características que alguns elementos da liga conferem ao Aço Inoxidável.
C Funciona como estabilizador da estrutura.

Em determinadas condições, combina-se com o Cr, criando Carbonetos de Cromo e tornando o aço frágil e destruindo a camada de óxido

de cromo superficial, o que provoca corrosão generalizada.
Cr É o único elemento indispensável nos Aços Inoxidáveis, pois é ele que forma a camada superficial de

óxido de cromo impermeável que o protege contra o ataque de agentes agressivos, tornando o aço realmente “inoxidável”.

Nenhum outro elemento por si só confere propriedades de “inoxidável”.

Ni Favorece a formação e estabilização da estrutura austenítica.

Em combinação com Cr cria um alto grau de resistência ao ataque de elementos químicos redutores que prejudicam a camada de óxido de cromo.

Mo Melhora as condições de resistência a temperatura assim

como estabiliza a condição de passivação em presença de cloretos e aumenta a resistência à corrosão localizada (“pitting”).

Mn Favorece a formação de austenita.

Em quantidades moderadas em combinação com Ni, apresenta muitas das propriedades atribuídas ao próprio Ni.

Também interage com o S formando Sulfetos de Manganês que tem características muito importantes na proteção de formação de corrosão localizada.

Na tabela 3 podemos observar que existe uma sutil diferença entre a norma AISI e norma DIN para os aços do tipo TP 316L, sendo que esta classificação AISI é aberta em duas especificações DIN que são as 1.4404 e 1.4435.

De acordo com as normas Alemãs BN, a recomendação é utilizar aços inoxidáveis DIN 1.4435 que são os que propiciam uma soldagem com menor formação de ferrita delta.

Tabela 3 - Equivalências de aços inoxidáveis [1].

Tipo de aço	SS	AISI	DIN	Avesta	Sandvik
13Cr	2301	405	1.4002	393 M	1C27
17Cr	2320	430	1.4016	249	2C34
18Cr-2Mo	2326	444	1.4521	-	-
25-5-1,5Mo	2324	329	1.4460	453 S	10RE51
18-9	2332	304	1.4301	832 M	-
	2333	304	1.4301	832 MV	5R10
	2370	304 N	-	832 MVN	-
	2352	304 L	1.4306	832 MVR	3R12
	2371	304 LN	1.4311	832 MVRN	3R19
	2338	347	1.4550	832 MVNb	6R40
	2337	321	1.4541	832 MVT	8R30
17-12-2,5Mo	2347	316	1.4401	832 SF	7R60
	2348	316 L	1.4404	832 SFR	-
	2350	316 Ti	1.4571	832 SFT	8R70
	2343	316	1.4436	832 SK	5R60
	2353	316 L	1.4435	832 SKR	3R60
18-14-3,5Mo	2375	316 LN	1.4429	832 SKRN	3R69
	2366	317	-	832 SN	-
17-15-4,5Mo	2367	317 L	1.4438	832 SNR	3R64
	-	-	1.4439	832 SLR-4	-
20-25-4,5Mo-1,5Cu	2562	-	1.4539	254 SLX	2RK65

AÇOS INOXIDÁVEIS CONFORME ASTM [2]

A norma ASTM através da "Section 1 - Iron and Steel Products - Volume 01.01 - Steel-Piping, Tubing, Fittings" define claramente qual é o material que deve ser utilizado em instalações farmacêuticas. Mesmo existindo várias especificações de tubos e acessórios que atendem aos requisitos de serem aços inoxidáveis austeníticos, somente poderão ser utilizadas as tubulações fabricadas sob a ASTM A 270.

A própria definição da ASTM diz:

ASTM A 249/A 249M: Esta especificação abrange tubos soldados de espessura nominal feitos de aços austeníticos planejados para serem utilizados em caldeiras, super aquecedores, trocadores de calor ou tubos de condensadores.

ASTM A 269: Esta especificação abrange graus de tubos soldados ou sem costura de espessura nominal feitos de aços austeníticos planejados para serem utilizados em serviços gerais, serviços que requerem resistência a corrosão ou altas ou baixas temperaturas.

ASTM A 270: Esta especificação abrange graus de tubos

soldados ou sem costura feitos de aços austeníticos planejados para serem utilizados em indústrias de alimentação. **A qualidade farmacêutica pode ser solicitada como requerimentos suplementares.**

AÇOS INOXIDÁVEIS CONFORME ASME BPEa-2000 [3]

O código ASME BPE é uma norma que define os requisitos aplicáveis ao projeto de equipamentos de bioprocessamento. Entre os aspectos incluídos nesta norma encontramos os materiais a serem utilizados e os procedimentos de união

(material joining). Como já foi citado anteriormente, no tocante a aço inoxidável o ASME BPE recomenda o uso de aços TP 316, TP 316L, ou melhores. E pelo que já foi visto de classificação de aços inoxidáveis é fácil deduzir que se trata de aços inoxidáveis austeníticos.

A preferência por aços TP 316 se deve a sua elevada resistência à corrosão dos mais diversos tipos, destacando-se porém sua resistência a pittings e corrosão sob tensão. Particularmente a escolha do TP 316 L é recomendada para garantir ausência de

sensitização durante a soldagem devido ao baixo teor de carbono. Este aspecto será abordado detalhadamente mais adiante quando serão explicados os mecanismos de corrosão.

Outros aços são citados nesta norma como aceitáveis e de qualidade superior aos TP 316 / TP 316L. São eles o AL6XN e o 2205. Este último já citado como exemplo de aço duplex. Esta norma se preocupa inclusive com a qualidade das conexões (fittings) de aço inoxidável austenítico de baixo carbono (TP 316L) é restringe o teor dos elementos formadores

de inclusões não metálicas (ver tabela 4).

A restrição destes elementos visa reduzir as inclusões não metálicas e limitam entre outras propriedades a capacidade de deformação plástica do aço necessária para a conformação das conexões (curvas, reduções e extremidades flangeadas); o resultado desta limitação é o aparecimento de pequenas descontinuidades ou rupturas microscópicas que comprometeriam o acabamento superficial das peças e seu desempenho para utilização em instalações farmacêuticas.

Tabela 4 - Composição química - Restrição no teor dos elementos

Elemento	Tabela ASME BPE DT-3	TP 316L	Restrição
Carbono	0,035 max	0,035 max	
Cromo	16,00 – 18,00	16,00 – 18,00	
Manganês	2,00 max	2,00 max	
Molibdênio	2,00 – 3,00	2,00 – 3,00	
Níquel	10,00 – 15,00	10,00 – 15,00	
Fósforo	0,040 max	0,040 max	
Silício	0,75 max	1,00 max	Limite restringido
Enxofre	0,005 – 0,017	0,030 max	Faixa restringida

JUNTAS SOLDADAS DE AÇO INOXIDÁVEL CONFORME ASME BPEa-2000 [3]

As juntas soldadas conforme esta norma deverão atender os requisitos da Parte MJ do código ASME BPEa-2000.

Introdução

As tubulações sanitárias, especialmente as que conduzirão produtos puros, serão de Aço Inoxidável austenítico AISI 316L ou como mínimo AISI 304L

Neste capítulo somente será abordada a soldagem destes aços, uma vez que os outros tipos de aço inoxidável raramente são usados em equipamentos farmacêuticos. A união de chapas e tubos para a fabricação de equipamentos e instalações farmacêuticas deve ser feita por solda de fusão dos mesmos materiais a serem soldados ou pela adição de metais com a mesma

resistência à corrosão e propriedades mecânicas com arco protegido por atmosfera inerte controlada de gás argônio ou hélio (com pureza mínima de 99,95%).

O acabamento superficial das soldas deve ser suave e uniforme a ponto de não permitir a retenção de sólidos e proliferação de colônias de bactérias.

Para conseguir estas condições, o processo de solda mais adequado é o processo conhecido como TIG (Tungsten Inert Gas) ou conforme denominação da American Welding Society (AWS), GTAW (Gas Tungsten Arc-Welding).

Este processo consiste em um arco elétrico aberto entre um eletrodo não consumível de Tungstênio protegido com gás inerte e a peça a ser soldada. O arco elétrico é produzido por uma fonte de potência que pode gerar corrente alternada ou contínua, sendo que para soldar

aço inoxidável é recomendado utilizar corrente contínua (direta ou pulsante) com o eletrodo na polaridade negativa. A abertura do arco se produz utilizando um sistema de alta frequência que geralmente está incorporado a fonte de potência. O gás inerte protege a área fundida de oxidação provocada por causa do oxigênio atmosférico, estabiliza o arco elétrico e resfria o eletrodo durante a solda.

Os gases utilizados são o Argônio, Hélio ou mistura de ambos.

Geralmente é utilizado o Argônio pois se compararmos com o Hélio, além de ser comercialmente mais fácil de se encontrar, facilita a abertura do arco elétrico, não eleva tanto a temperatura (quando utilizada a mesma corrente que com Hélio) o que favorece as soldas dos tubos sanitários que geralmente são de paredes finas.

O tipo de solda para emendas circunferências entre tubos pode ser manual ou automático, sendo a utilização de máquinas automáticas, conhecidas como orbitais, muito difundidas atualmente. Apenas e somente em casos de absoluta impossibilidade de instalar o cabeçote de soldagem, as soldas deverão ser executadas manualmente.

Em ambos os casos, tanto o procedimento de solda quanto o soldador deverão estar qualificados por alguma entidade habilitada para tal finalidade.

Como em geral não estaremos adicionando material estranho nem oxidando o material base, pois a solda será feita em atmosfera inerte, não existe modificação na composição química do Aço, mudando apenas algumas propriedades físicas em função do aquecimento.

Se fosse utilizado o processo Oxi-Acetilénico, o Oxigênio formará Óxido de Cromo provocando um cordão de solda poroso, e o Acetileno formará carbonetos vários na camada superficial, deixando o aço mais propenso a corrosão.

Ao ser utilizada uma máquina automática previamente programada, se obtém uma uniformidade na parede do tubo inclusive na região onde se provocou a fusão, evitando assim a formação de depressões e saliências que acontecem com maior frequência quando a solda é feita manualmente.

Na Máquina Orbital a fusão acontece dentro do cabeçote de soldagem o que garante a não contaminação do ambiente externo e desta maneira, permite executar soldas em áreas de processo durante a operação normal da fábrica, sem parar a produção.

É importante ressaltar que é indispensável numerar cada solda e fazer boroscopia (ou endoscopia) em algumas delas não apenas para verificar a qualidade, senão também para garantir uma eventual

rastreabilidade de contaminação microbiológica que pode-se desenvolver em alguma fresta, trinca ou poro remanescente após a soldagem. Este tipo de Máquina de Solda permite armazenar vários programas para cada tipo de solda a ser executada com espessuras e diâmetros diferentes, garantindo assim a uniformidade de cada uma de elas. O cabeçote portátil permite executar soldas não apenas no “pipe shop” como também permite realizar soldas no campo. Emite relatórios individuais para cada solda com todos os dados necessários para a qualificação e validação da instalação.

Caso as soldas tenham que ser feitas manualmente, deverão ser todas inspecionadas interna e externamente em forma visual ou fotografadas por endoscopia.

Equipamentos necessários para execução de Solda Orbital bem sucedida

O conjunto de equipamentos utilizados para preparação e execução de Solda Orbital Automática é composto basicamente de três máquinas e uma fonte de gás inerte com todos os acessórios necessários para controlar pressão e vazão.

- 1- Máquina elétrica ou pneumática cortadora de tubos que garante o corte rápido e preciso dos tubos de até 4½” de diâmetro externo, obtendo uma face perpendicular ao eixo do tubo e sem ressalto.
- 2- Máquina pneumática faceadora de tubos que garante a obtenção de faces lisas, sem rebarbas, proporcionando o ajuste preciso das juntas a serem soldadas.
- 3- Máquina de Solda Orbital Automática que garante uma solda uniforme, sem adição de material, paralela a face do tubo tanto interna como externamente.

A Solda Orbital Automática é um processo de solda por fusão que mantém a composição

química do tubo e acessórios, proporcionando uma repetibilidade na qualidade da solda.

Consiste basicamente em um arco elétrico com corrente contínua direta ou pulsante gerado por uma fonte computadorizada previamente programada, que pode armazenar até 100 programas diferentes, utiliza um eletrodo não consumível de Tungstênio que gira 360° em redor dos tubos (que ficam presos ao cabeçote de solda por meio de abraçadeiras).

Durante a solda, as velocidades de rotação podem variar ou não, os pulsos e a amperagem podem ser modificados, e todos estes parâmetros são armazenados em “Níveis” de solda consecutivos, até a operação estar concluída.

O gás de proteção é dosado em forma automática tanto na cavidade da pinça quanto no interior do tubo.

Todos os parâmetros de solda estão armazenados nos programas previamente qualificados, que serão utilizados pelo operador com uma simples digitação do número selecionado.

O acionamento pode ser feito diretamente do corpo principal do computador ou a distancia através do controle remoto que permite reproduzir todas as funções assim como mudar os parâmetros quando desejado.

Registra automaticamente a quantidade de horas em que foi utilizado o eletrodo de Tungstênio com o arco aberto e a quantidade de soldas executadas por programa.

O cabeçote de soldagem é um acessório que garante o alinhamento automático da face a ser soldada com o eletrodo sem a necessidade de ser verificado visualmente.

Um dos elementos a ser soldado, é fixado no cabeçote por meio de uma abraçadeira de maneira de atingir um “stop” que garante o posicionamento correto da face a ser soldada.

O segundo elemento a ser soldado será preso ao sistema por uma segunda abraçadeira após encostar no primeiro.

O operador deverá certificar-se na hora da solda, que o cabeçote de soldagem tenha fixação independente para não apoiá-lo nas peças a serem soldadas utilizando preguiças ou suportes próprios para fixação e sustentação das peças a serem soldadas.

Esta simples precaução poderá garantir uma boa qualidade da solda principalmente no que se refere a desvios de alinhamento além da tolerância admitida.

Ainda, para garantir o ajuste e alinhamento perfeito, poderão ser feitos no máximo três pontos de solda manuais com pouca penetração (Light).

Equipamentos necessários para execução de Solda Manual bem sucedida

O corte e ajuste dos tubos e conexões devem ser efetuados através das máquinas indicadas nos itens 1 e 2 anteriores.

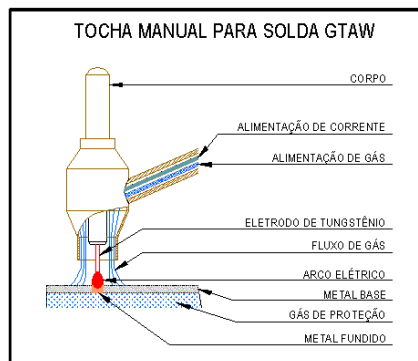
Não é recomendável preparar as faces a serem soldadas em forma manual.

Quando este procedimento for o único possível de ser executado, deverão ser redobrados os cuidados com o acabamento.

Fica terminantemente proibida a utilização de ferramentas de aço carbono para ajustes.

O fornecimento de gás inerte com reguladores de pressão, controladores de vazão, mangueiras e acessórios deverá estar disponível para este serviço.

As fontes elétricas geradoras do arco são geralmente retificadores de corrente, com todos os acessórios necessários para ligar as tochas com eletrodo não consumível de Tungstênio.



Manuseio dos materiais

É importante a adoção de procedimentos para manuseio dos materiais a serem soldados que garantam a qualidade das soldas e da instalação como um todo.

Inicialmente deve ser garantido que não haja mistura de materiais adotando alguma identificação para cada liga (ex. código de cores).

Adicionalmente é interessante deixar separados os lotes de cada material por corrida para facilitar a segregação caso for detectada alguma não conformidade.

A segunda preocupação deve ser evitar a contaminação dos materiais durante seu armazenamento. Esta contaminação pode ocorrer se as superfícies entrarem em contato com poeira, limalhas ou fagulhas provenientes de outros aços, especialmente aço carbono (se recomenda armazenar e manusear o aço carbono em locais diferentes), óleo e substâncias contendo cloretos.

Durante a preparação dos materiais (chapas, tubos e conexões) não devem ser usadas ferramentas de aço carbono, elas devem ser de aço inoxidável austenítico e preferencialmente da mesma liga que se está manuseando (TP 304, TP 316, etc.).

Procedimento de soldagem

Todas as variáveis de soldagem assim como o desempenho do soldador e/ou operador da máquina automática devem ser considerados para garantir uma

qualidade satisfatória e uniforme das soldas.

A forma de conseguir isto de acordo com os distintos códigos de projeto, incluindo o ASME BPEa-2000, é atendendo os requisitos da seção IX do código ASME onde está previsto a elaboração de uma especificação de procedimento de soldagem (WPS) para cada tipo ou conjunto de soldas. Esta WPS deve ser amparada por um registro de qualificação (PQR) que consiste na execução da soldagem de um corpo de prova (coupon) para ensaios mecânicos e metalográficos.

Estes procedimentos deverão indicar como mínimo e claramente a marca e modelo da máquina utilizada, o tipo de solda qualificado (manual, automático, GTAW), nome do soldador qualificado que executou a solda, norma atendida pela qualificação, detalhe do corpo de prova soldado com espessura, tolerâncias, perfil do chanfro, especificação do material soldado, alcance da qualificação com respeito a diâmetros e espessuras, posição de soldagem (quando aplicável), tipo de cordão, preparação prévia dos corpos de prova, pré aquecimento, tipo de corrente aplicada (alternada ou contínua), amperagem, voltagem e polaridade, tipo de arco elétrico, diâmetro e composição do eletrodo, gás utilizado na proteção da solda com as vazões externa e interna, e deverão estar assinados por profissional credenciado como Inspetor de Soldagem.

Da mesma forma os soldadores e operadores deverão ter seu desempenho avaliado mediante a soldagem e posterior ensaio de corpos de prova cujos dados e resultados serão registrados num documento denominado qualificação de soldador (WPQ). Do ponto de vista da tecnologia de soldagem os principais cuidados que devem ser tomados são:

- Preparação da junta quanto a acabamento, alinhamento e esquadrejamento.
- Limpeza antes de soldar para não introduzir carbono e gases no metal fundido.
- Purga com argônio ou mistura de gases inertes do lado da raiz para evitar a oxidação do metal fundido.
- Energia de soldagem (combinação de voltagem, amperagem e velocidade) adequada para produzir uma solda satisfatória.

Critérios de aceitação de soldas

O objetivo primordial é ter um sistema sanitário que não tenha pontos mortos.

Isto significa que as soldas deverão ter uma boa penetração e deverão manter uma uniformidade na espessura das paredes, de maneira tal que não formem pontos de acúmulo de produto entre duas extremidades soldadas, além de manter uma rugosidade baixa para não permitir a formação de nichos de proliferação de bactérias.

A soldagem de aços inoxidáveis para indústria farmacêutica deve ser acompanhada por um programa rigoroso de controle da qualidade que contemple cada uma das etapas acima descritas.

Este programa deve ser preventivo e proativo com poder de individualizar potenciais não conformidades.

Do ponto de vista formal as normas definem critérios de aceitação das juntas soldadas. A seguir transcreve-se o item MJ-6 da ASME BPEa-2000.

MJ-6.1 Geral:

Soldagem para ambientes estéreis requerem que as soldas não apresentem uma superfície que contribuirá com o crescimento de microrganismos e a contaminação de produtos. As soldas não deverão ter nenhuma descontinuidade como trincas, vazios,

porosidade ou desalinhamento que promova contaminação do produto. Todos os procedimentos de solda deverão ser qualificados.

MJ-6.2 Vasos de pressão e tanques:

O critério de aceitação das soldas nestes equipamentos deverá estar de acordo com ASME BPVC, Section VIII, Division 1.

MJ-6.3 Piping (Tubulações definidas pelo seu diâmetro e espessura):

O critério de aceitação das soldas nestas tubulações deverá estar de acordo com ASME B 31.3 e parágrafos específicos.

MJ-6.4 Tubing (Tubulações definidas pelo seu diâmetro externo):

O critério de aceitação visual de soldas (incluindo o critério de aceitação de boroscopia) para Tubulações higiênicas e conexões que serão inspecionados interna e externamente deverão estar de acordo com o critério de aceitação da figura MJ-1 - Part MJ-6. Esta norma não requer radiografia salvo especificação do proprietário/usuário ou outro código aplicável.

MJ-6.4.1 Acoplamento:

Os tubos deverão estar alinhados o suficiente para prevenir áreas de retenção que poderiam contribuir para a contaminação do produto. O desalinhamento máximo é 15% da parede nominal do tubo [ver figura MJ-1(b)]. Nos casos de espessuras de paredes diferentes, o desalinhamento máximo será governado pela parede mais fina.

MJ-6.4.2 Concavidade:

(a) A concavidade máxima do diâmetro externo (OD) será limitada a 10% da espessura de parede nominal considerando a circunferência completa, com 15% da espessura de parede permitida em no máximo 25%

da circunferência. [Ver figura MJ-1 (c)].

(b) A concavidade máxima do diâmetro interno (ID) será limitada a 10% da espessura de parede nominal [ver figura MJ-1 (d)].

Em qualquer caso, concavidade no diâmetro externo e no diâmetro interno deverão ser tais que a espessura da parede não seja reduzida abaixo da espessura mínima de projeto. No caso de espessuras de parede diferentes, a concavidade máxima será governada pela parede mais fina.

MJ-6.4.3 Convexidade:

A convexidade no diâmetro interno é limitada a 10% da espessura de parede nominal. A convexidade no diâmetro externo é limitada a 0.015 in [ver figura MJ-1(f)].

No caso de espessuras de parede diferentes, a convexidade máxima no diâmetro externo ou no interno será governada pela parede mais fina.

MJ-6.4.4 Penetração da solda:

Todas as juntas de topo deverão ter penetração até o diâmetro interno [ver figuras MJ-1(a) e MJ-1(e)]. Os pontos de solda deverão ser totalmente consumidos pelo processo. No caso de espessuras de parede diferentes, a solda deverá penetrar até o diâmetro interno da parede mais grossa.

MJ-6.4.5 Descoloração:

A descoloração deverá ser minimizada em todas as superfícies que estarão em contacto com o processo. A camada de solda deverá estar isenta de descoloração no diâmetro interno. Entretanto uma ligeira descoloração (palha claro, azul claro, ou escurecimento) pode ser permitido nas zonas termicamente afetadas (ZTA). Este critério de descoloração deverá ser determinado pelo proprietário/usuário e empreiteiro. Qualquer

descoloração que seja aceitável deverá ser superficial e deverá ser impossível de ser removida durante a operação normal. Dependendo do acabamento superficial, pode não ser possível a eliminação total da descoloração.

MJ-6.4.6 Inclusões de Tungstênio:

As inclusões de Tungstênio deverão estar de acordo com os requisitos do ASME B31.3.

MJ-6.4.7 Aberturas de arco:

Aberturas de arco não são permitidas. Elas deverão ser removidas por polimento mecânico desde que a espessura de parede mínima de projeto não seja comprometida.

MJ-6.4.8 Largura do cordão de solda no diâmetro externo:

Este parágrafo se aplica a soldas sem acesso para inspeção interna. A camada externa da solda deverá ser reta e uniforme ao redor de toda a circunferência soldada [ver figura MJ-1(g)]. A largura mínima do cordão de solda deverá ser menor que 50% da largura máxima do mesmo [ver figura MJ-1(h)]. O máximo desvio do cordão de solda deverá ser 25% da largura do mesmo, medida como desvio da linha de centro da solda [ver figura MJ-1(i)].

MJ-6.4.9 Defeitos de solda:

- a) Resoldagem pode ser permitido para os seguintes defeitos:
 - 1) penetração incompleta (somente uma vez); e
 - 2) falta de fusão.
- b) Os seguintes defeitos deverão ser ou cortados ou

- reparados a critério do proprietário/usuário:
 - 1) falta de fusão depois da resoldagem;
 - 2) trincas;
 - 3) mordeduras;
 - 4) trincas de cratera (trincas no final da soldagem);
 - 5) perfurações;
 - 6) deposição excessiva;
 - 7) porosidade;
 - 8) aberturas de arco como definidas acima;
 - 9) descoloração como definida acima;
 - 10) convexidade externa como definida acima;
 - 11) concavidade externa como definida acima;
 - 12) convexidade interna como definida acima;
 - 13) concavidade interna como definida acima;

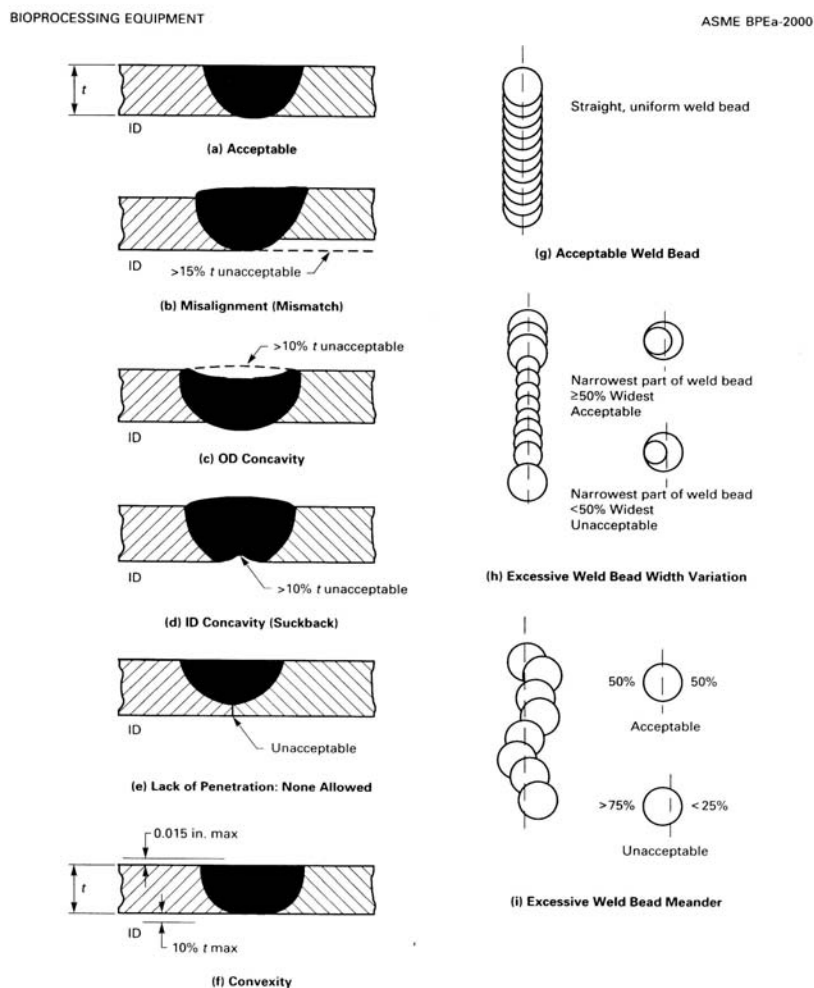


FIG. MJ-1 ACCEPTABLE AND UNACCEPTABLE WELD PROFILES FOR TUBE WELDS

Exigências para qualificação das soldas

Além das soldas terem sido aprovadas pelos critérios de aceitação acima descritos, deverão cumprir uma série de requisitos formais e documentais para poderem formar parte do Data Book de Qualificação da Instalação.

Listamos a seguir os itens mais relevantes que deverão ser incluídos no Data Book:

- 1- Numerar no isograma, ou nos isométricos da linha a ser soldada, todas as soldas com números correlativos.
- 2- Registrar no Relatório de Controle de Soldas o número da solda, nome do soldador, tipo de solda (orbital ou manual), programa utilizado (quando orbital), amperagem utilizada (quando manual), data, etc.
No início de cada jornada de trabalho, deve-se efetuar um corpo de prova com cada

programa a ser utilizado durante esse dia, para aferição da máquina orbital, e será emitido o Relatório de Aferição da Máquina Orbital. O corpo de prova, deverá ser aprovado pela fiscalização do Cliente e pode sofrer um teste destrutivo para verificação da fusão do material ou quaisquer outra característica da solda. Deve-se imprimir o relatório da máquina orbital por solda, ou por seqüência de soldas iguais (mesmo número de programa). Os relatórios impressos devem ser anexados ao Relatório de Controle de Soldas.

- 3- Efetuar controle endoscópico de todas as soldas manuais, com fotografias, assim como de uma percentagem predeterminada de soldas automáticas cujas posições deverão ser definidas com antecedência entre as

fiscalizações do Cliente e da Montadora, anexando-as ao Relatório de Controle de Soldas.

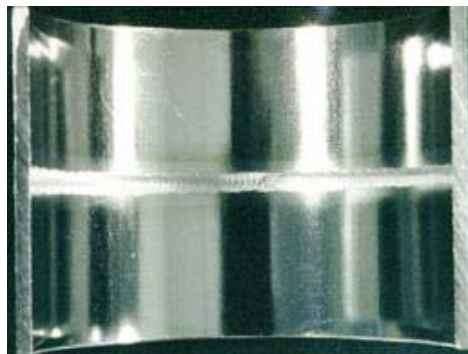
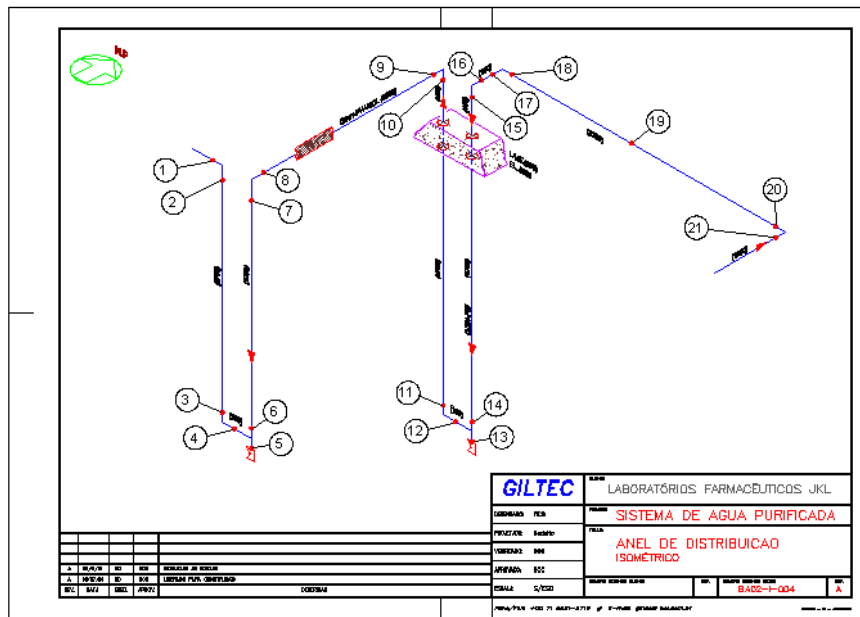
- 4- Elaborar o Caderno de Soldagem com os seguintes documentos:

- * Procedimentos de Soldagem Qualificados.
- * Qualificação dos Soldadores.
- * Isométricos ou isograma com as soldas numeradas.
- * Relatório de Controle de Soldas.
- * Endoscopias.
- * Parâmetros do Corpo de Provas diário aprovado.
- * Relatório de Aferição de Máquina Orbital.

Todos os documentos deverão ser rubricados pela fiscalização do Cliente e pelo supervisor da Montadora (ver exemplos).

GILTEC		RELATÓRIO DE CONTROLE DE SOLDAS							
Cliente: LABORATÓRIOS FARMACÊUTICOS JKL					Sistema: Anel de água para injeção		Nº de Relatório: 624 - 97 Folha: 01 de 01		
Nº Des./ Nº Folha	Nº Solda	Automática (Programa)	Manual (Amperes)	Soldador Qualificado	Diâmetro Externo	Data	Endoscopia Feita por	Visto do Fiscal	Data
Iso-04/1	01	002	==	Souza	51,2 mm	20/02/97	==	==	==
Iso-04/1	02	002	==	Souza	51,2 mm	20/02/97	==	==	==
Iso-04/1	03	==	25	Wagner	51,2 mm	22/02/97	Carlos		23/02/97
Iso-04/1	04	002	==	Souza	51,2 mm	20/02/97	Carlos		21/02/97
Iso-04/1	05	002	==	Souza	51,2 mm	20/02/97	==	==	==
Iso-04/1	22	002	==	Souza	51,2 mm	20/02/97	==	==	==
Iso-04/1	23	002	==	Souza	51,2 mm	22/02/97	==	==	==
Iso-04/1	24	002	==	Souza	51,2 mm	20/02/97	Carlos		21/02/97
OBSERVAÇÕES:									
APROVAÇÃO		EXECUTANTE		RESPONSÁVEL			REPRESENTANTE CLIENTE		
NOME:									
DATA:									
VISTO:									

GILTEC		RELATÓRIO DE AFERIÇÃO DE MÁQUINA ORBITAL							
Cliente: LABORATÓRIOS FARMACÊUTICOS JKL				Máquina aferida: AM-207 Corpo de prova Nº: 14		Nº de Relatório: 345-01 Data: 20/10/01			
PROGRAMA Nº 002		DIAMETRO 51,2 mm		ESPESSURA 1,5 mm		TIPO TUBO/CONEXÃO		MATERIAL INOXIDÁVEL	
PURGA DE GÁZ		ARCO ELÉTRICO		SENTIDO DE ROTAÇÃO		COMEÇO DE ROTAÇÃO			
PRÉVIA	FINAL	ABERTURA	DESLIGA	HORARIO			1,3 seg		
12 seg	15 seg	0 seg	5 seg						
NÍVEL	PULSANTE	TEMPO	ROTAÇÃO	AMPERAGEM		PULSO		RESFRIAM	REVISÃO SOFTWARE
				MÁX.	MIN.	ALTO	BAIXO		
1	ON	51 seg	CONTINUA	50 A	14 A	0,45 seg	0,45 seg	0 seg	2
2	ON	45 seg	CONTINUA	47 A	14 A	0,36 seg	0,27 seg	0 seg	3
3	OFF	60 seg	CONTINUA	45 A	###	###	###	8 seg	2
4									
5									
6									
7									
OBSERVAÇÕES:									
EXECUTANTE			RESPONSÁVEL			REPRESENTANTE CLIENTE			
NOME:									
DATA:									
VISTO:									



Corpo de prova 14

FORMAÇÃO DE FERRITA DELTA NAS JUNTAS SOLDADAS DE AÇO INOXIDÁVEL

Os aços inoxidáveis austeníticos são facilmente soldáveis e normalmente não requerem preaquecimento ou tratamento térmico posterior.

Especialmente nos aços de teores mais elevados de elementos de liga. Com tudo, há certo risco de fissuramento a quente quando soldado com ele mesmo; estes aços deverão ser soldados com um mínimo de calor. Nas soldas de passes múltiplos deverá haver um resfriamento entre passes. Daí a importância das soldas tubo-tubo em instalações farmacêuticas, sem metal de adição, serem feitas com máquina de solda orbital que permite ajustar todos os parâmetros de soldagem de tal forma a conseguir uma transferência de calor mínimo com uma qualidade homogênea que manualmente seria impossível de ser atingida. A suscetibilidade a trincas a quente diminui se a solda contém pequena quantidade de

ferrita delta (~ 5% em volume). Por esta razão um metal de solda com alguma ferrita delta é comumente usada nas soldas de aço inoxidável austenítico. A ferrita delta pode resultar numa ligeira redução da resistência a corrosão, porém aceitável na grande maioria dos casos.

No caso específico das soldas para instalações farmacêuticas onde não são usados eletrodos, sendo a solda o resultado da fusão dos metais de base, o conteúdo de ferrita delta dependerá da composição química do material que quando resfriado desde o estado líquido poderá formar quantidades previsíveis de ferrita delta mediante a utilização do diagrama de Schaeffler já visto no capítulo sobre classificação dos aços inoxidáveis.

O diagrama de Schaeffler mostra em um de seus eixos coordenados o valor de Níquel equivalente como sendo:

$$[Ni_{eq} = \%Ni + 30 (\%C) + 0,5 (\%Mn)]$$

e no outro o de Cromo equivalente como sendo:

$$[Cr_{eq} = \%Cr + \%Mo + 1,5 (\%Si) + 0,5 (\%Cb)]$$

Conhecendo a composição química dos aços a serem soldados se substituem os teores dos elementos considerados nas fórmulas para se obter os valores de Ni_{eq} e Cr_{eq} cujas projeções nos levarão a um ponto no diagrama que indica a quantidade aproximada de ferrita delta resultante da fusão.

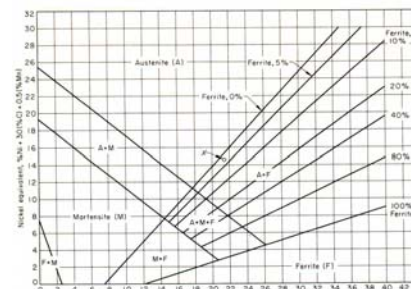


Diagrama de Schaeffler

Usualmente não se recomenda que as soldas contenham mais que 3 a 5 % de ferrita delta, valor este que deverá ser minimizado após a passivação. Ver Figura 1 (aumentada 100x e 400x) mostrando linha de fusão de solda automática com ~ 5% de ferrita delta.

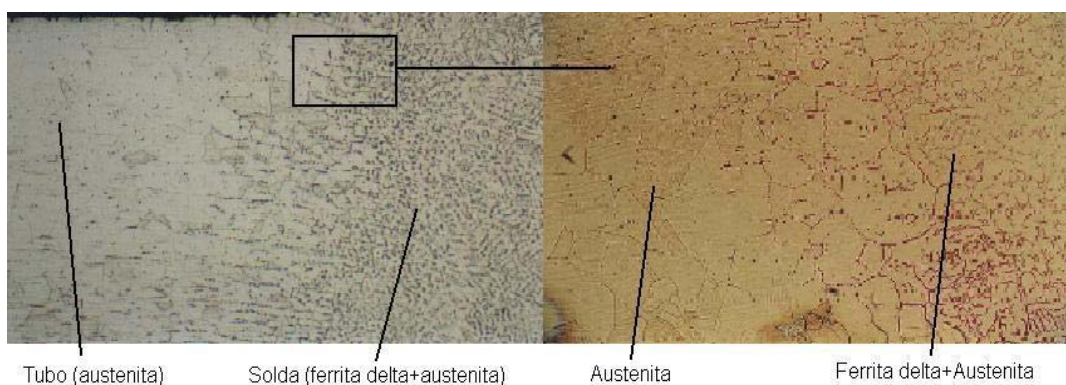


Figura 1

SENSITIZAÇÃO DAS JUNTAS SOLDADAS DE AÇO INOXIDÁVEL

Em todas as soldas uma zona do metal base é aquecida dentro da faixa de precipitação de

carbonetos de cromo (550 – 850 °C).

Este fenômeno chamado sensitização (ver figura 2) provoca uma redução da resistência a corrosão localizada do aço pelo empobrecimento de cromo nas vizinhanças dos

contornos de grão, onde precipitam os carbonetos de cromo. Por esta razão, em instalações farmacêuticas, se prefere a utilização de aços de baixo teor de carbono (ex. TP 304L, TP 316L, etc.) com 0,03% máximo de este elemento o que

garante no pior dos casos uma sensitização incompleta (precipitação de carbonetos de cromo não continua ao longo dos contornos de grão).

Outra forma de minimizar este fenômeno é utilizar aços estabilizados com Titânio (TP 321) ou Nióbio (TP 347) que são elementos mais ávidos pela

combinação com o carbono que o cromo.

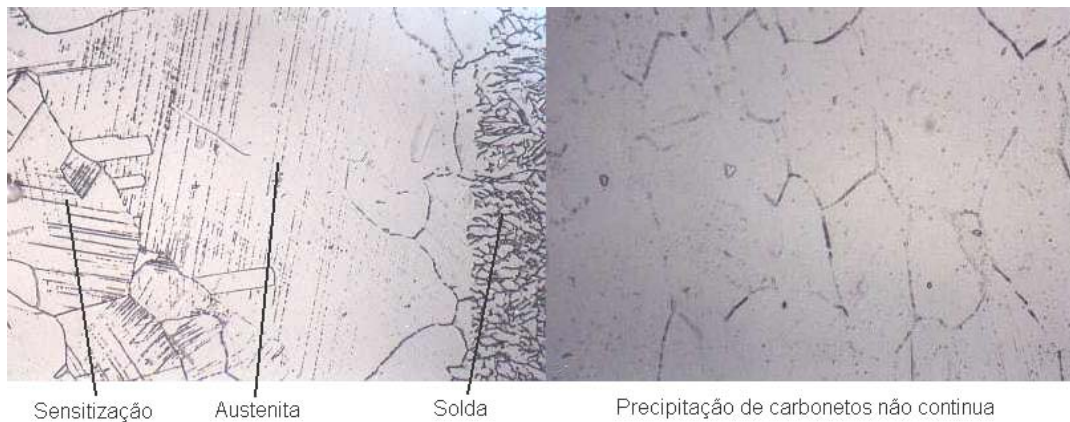
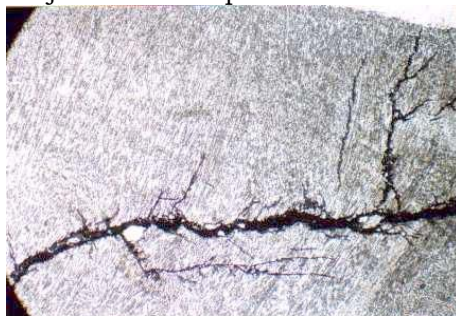


Figura 2

TRINCAS NAS JUNTAS SOLDADAS DE AÇO INOXIDÁVEL

O problema de corrosão mais difícil de contornar relativo à soldagem dos aços inoxidáveis austeníticos é o aumento do risco de trincas de corrosão sob tensão devido às tensões residuais da soldagem. Desde que é praticamente impossível fazer alívio de tensões nas soldas das instalações farmacêuticas é necessário concentrar cuidados na soldagem e projetar adequadamente evitando mudanças de seção exageradas ou juntas muito próximas.



Trinca de corrosão sob tensão em solda

Figura 3

A falta de limpeza das superfícies a serem soldadas

assim como o contato com outros metais, notadamente cobre e zinco podem causar sérios danos aos materiais durante a soldagem devido a que o aquecimento pode provocar a fusão de tais substâncias estranhas que sendo absorvidas pelo aço inoxidável o tornam frágil e quebradiço (ver figura 4). Este fenômeno é chamado "Liquid embrittlement" e será abordado em detalhe no capítulo sobre mecanismos de corrosão.



Trinca provocada pela penetração intergranular de cobre que ocorreu durante uma solda distante 50mm deste local

Figura 4

Glossário:

Inclusões não metálicas: partículas sólidas, não metálicas presentes nos aços como resíduos do processo de fabricação e que reduzem as propriedades mecânicas.

Boroscopia- Endoscopia: técnica de inspeção visual para internos tais como interior de tubos de pequeno diâmetro. No caso de tubulações para instalações farmacêuticas todas as soldas são inspecionadas por boroscopia para definir sua continuidade e acabamento superficial.

Ferrita delta: ferrita formada a partir do resfriamento desde o estado líquido entre 1535 °C e 1395 °C. Não deve ser confundida com ferrita alfa cuja formação ocorre somente a partir de 912 °C e por tanto em estado sólido. Os aços inoxidáveis austeníticos não contêm ferrita alfa.

Referências bibliográficas

- [1] Corrosion tables for stainless steel and titanium – Publicação da Jernkontoret 1979
- [2] ASTM - Section 1 - Iron and Steel Products - Volume 01.01 - Steel-Piping, Tubing, Fittings
- [3] ASME BPEa-2000 - Bioprocessing Equipment