

Requisitos para PIT- Plano de Inspeção e Testes de Equipamentos Críticos de Caldeiraria

1. Introdução

Na área de refino de petróleo, devido às complexidades dos processos químicos e catalíticos, para a obtenção de produtos limpos e livres de contaminantes tóxicos e nocivos ao meio ambiente e aos seres vivos, os equipamentos e sistemas de tubulações associados operam em condições de elevadas pressões (em alguns casos acima de 150 kgf/cm²) e/ou temperaturas (acima de 400°C).

Além disso, contêm fluidos combustíveis, inflamáveis ao contato com Oxigênio ou ar atmosférico; ou fluidos considerados de alta toxicidade; ou são sujeitos a mecanismos de corrosão por H₂S; ou deterioração metalúrgica causada pelo Hidrogênio, ou combinação dessas situações.

Estes equipamentos de caldeiraria, vasos de pressão, reatores e permutadores de calor, denominados de críticos, pois operam em pressões, a partir de 80 kg/cm², e/ou em temperaturas acima de 400°C, são projetados e construídos conforme as regras do código ASME Sec VIII Div 2; com materiais de altíssima resistência mecânica; características específicas de tenacidade e dureza; processos de soldagem complexos e controle rigoroso da qualidade da fabricação.

O projeto básico desses equipamentos é fornecido apenas pelas empresas Licenciadoras desses processos especiais (Hidrocrackeamento, Hidrotratamento, Hidrodessulfurização, etc.), mas os projetos mecânico e de detalhamento devem ser realizados pelo próprio Fabricante.

Porém, são poucas as empresas Fabricantes com tecnologia, máquinas operatrizes, recursos e experiência para a construção desses equipamentos, que, preferencialmente, devem ser entregues inteiros na fábrica e chegam a pesar de 800 a 1000 toneladas.

Os Equipamentos Críticos de Caldeiraria mais comuns são:

- Reatores de Hidrogenação-HCC;
- Reatores de Hidrodessulfurização-HDS e HDT;
- Tambores de coqueamento retardado;
- Esferas de gás;
- Vasos de vapor d'água de alta pressão;
- Tubulão *steam drum* de Caldeira de vapor;
- Permutadores especiais de alta pressão.

Os materiais construtivos desses equipamentos críticos são especiais, normalmente aços liga Cr-Mo, de alta resistência mecânica, com metalurgia particular (revenidos, temperados-revenidos, cladeados), que requerem procedimentos de soldagem específicos, tratamentos térmicos durante e após a fabricação e maiores cuidados nas rotinas de inspeção e testes. Geralmente, são os de maior peso e de custo elevado.

É comum estes equipamentos apresentarem proteção contra corrosão tipo chapas cladeadas ou com depósito de solda *weld overlay* com aços inoxidáveis e são submetidos ao TTAT- Tratamento Térmico de Alívio de Tensões residuais oriundas da fabricação.

Os materiais Cr-Mo e Cr-Mo-V utilizados para a fabricação de equipamentos críticos, a depender do valor da alta pressão, são:

- 2 ¼ Cr-1 Mo convencional
- 2 ¼ Cr 1 Mo melhorado *enhanced*
- 2 ¼ Cr-1Mo-V
- 3 Cr-1 Mo
- 3 Cr-1Mo-¼V-Ti-B
- 3 Cr-1Mo-¼V-Cb-Ca

Nos graus listados na Tabela 1 a seguir, extraída do texto do código ASME Sec VIII Div 2..

Tabela 1 - Materiais Cr-Mo-V

ASME Sec VIII Div 2 Table 3.1 Material Specifications			
Nominal Composition	Type/Grade	Specification	Product Form
2 $\frac{1}{4}$ Cr-1Mo	Grade 22, Cl. 3	SA-508	Forgings
	Grade 22, Cl. 3	SA-541	Forgings
	Type B, Cl. 4	SA-542	Plates
2 $\frac{1}{4}$ Cr-1Mo- $\frac{1}{4}$ V	Grade F22V	SA-182	Forgings
	Grade F22V	SA-336	Forgings
	Grade 22V	SA-541	Forgings
	Type D, Cl. 4a	SA-542	Plates
	Grade 22V	SA-832	Plates
3Cr-1Mo- $\frac{1}{4}$ V-Ti-B	Grade F3V	SA-182	Forgings
	Grade F3V	SA-336	Forgings
	Grade 3V	SA-508	Forgings
	Grade 3V	SA-541	Forgings
	Type C, Cl. 4a	SA-542	Plates
	Grade 21 V	SA-832	Plates

Os materiais mais correntemente utilizados são os da Tabela 2 a seguir.

Tabela 2 - Especificação para Materiais de chapas, forjados, tubos e conexões

Material básico	Chapas	Forjados	Tubos	Tubing	Conexões
1,25Cr-0,5Mo	SA387 Gr 11 Cl 1 SA387 Gr 11 Cl 2	SA182 Gr F11 Cl 2 ou Cl 3 SA336 Gr F11 Cl 2 OU Cl 3	SA335 Gr P11 SA369 Gr FP11	SA213 Gr T11	SA234 Gr WP11 Cl 2
2,25Cr-1Mo	SA387 Gr22 Cl2	SA182 Gr F22 Cl 3 SA336 Gr F22 Cl 3	SA335 Gr P22 SA369 Gr FP22	SA213 Gr T22	SA234 Gr WP22 Cl 3
2,25Cr-1Mo- $\frac{1}{4}$ V	SA542 Tp D Cl 4a SA832 Gr 22 V	SA336 Gr F22V SA541 Gr 22V	-	-	-
3Cr-1Mo- $\frac{1}{4}$ V-Ti-B	SA542 Tp C Cl 4a SA832 Gr 21 V	SA336 Gr F3V SA541 Gr 3V	-	-	-

Nota: Todos os acessórios externos, tais como alças, cliques etc. soldados diretamente à parede de pressão devem ser do mesmo material que o da parede de pressão.

Tabela 3 - Comparação entre os materiais aços de baixa liga Cr-Mo

Tipo de aço liga	2 ¼Cr-1Mo Convencional	2 ¼Cr-1Mo enhanced	2 ¼Cr-1Mo-¼V	3Cr-1Mo	3Cr-1Mo-¼V-B	3Cr-1Mo-¼V-Cb-Ca
Especificação ASME Sec II	SA336-F22 (F) SA-387-Gr22 Cl 2 (P)	SA508-Gr22 Cl 3 (F) SA542-TpB Cl 4 (P)	SA336 F22V (F) SA542 D Cl 4a (P)	SA336-F21 (F) SA387 Gr21 Cl 2 (P)	SA336 F3V (F) SA542 C Cl 4a (P)	SA336 F3VCb (F) SA542 E Cl 4a (P)
Temperatura máxima permitida conforme ASME Sec VIII Div 2	482°C	454°C	482°C	454°C	454°C	454°C
Tensão de ruptura à temperatura ambiente	517 – 689 MPa	586 – 758 MPa	586 – 758 MPa	517 – 689 MPa	586 – 758 MPa	586 – 758 MPa
Tensão de escoamento à temperatura ambiente	310 MPa	379 MPa	414 MPa	310 MPa	414 MPa	414 MPa
Tensão de projeto (stress intensity) conforme ASME Sec VIII Div 2	150 Mpa @ 454°C 117 Mpa @ 482°C	164 Mpa @ 454°C	169 Mpa @ 454°C 163 Mpa @ 482°C	131 Mpa @ 454°C	164 Mpa @ 454°C	164 Mpa @ 454°C
Limite temperatura para Serviço com H2 conforme API Std 941 (Curva de Nelson)	454°C	454°C	482°C	482°C	482°C	482°C
Espessura do corpo conforme ASME Sec VIII Div 2 Pressão= 2000 Mpa DI=4,570 m Altura=22,880 m	338 mm @ 454°C 442 mm @ 482°C	307 mm @ 454°C	298 mm @ 454°C 310 mm @ 482°C	392 mm @ 454°C	307 mm @ 454°C	307 mm @ 454°C
Peso para transporte	1038 t	914 t	918 t	1203 t	944 t	944 t

(F) Forjado

(P) Chapa

2. Referências

- ASME PCC-1 Guidelines for Pressure Boundary Bolted Flange Joint Assembly
- ASME Boiler & Pressure Vessel Code Section II
Part A Ferrous Material Specifications
Part B Nonferrous Material Specifications
Part C Specifications for Welding Rods, Electrodes, and Filler Metals
Part D Properties
- ASME Boiler & Pressure Vessel Code Section VIII
Division 1 RULES FOR CONSTRUCTION OF PRESSURE VESSELS
Division 2 RULES FOR CONSTRUCTION OF PRESSURE VESSELS Alternative Rules
- ASME Boiler & Pressure Vessel Code Section V: Nondestructive Examination;
- ASME Boiler & Pressure Vessel Code Section IX-Welding, Brazing, and Fusing Qualifications
- ASTM-G-146-01 Standard Practice for Evaluation of Disbonding of Bimetallic Stainless Alloy/Steel Plate for Use in High-Pressure, High-Temperature Refinery Hydrogen Service
- API STANDARD 579-1/ASME FFS-1 Fitness-For-Service
- API RECOMMENDED PRACTICE 577 Welding Processes, Inspection, and Metallurgy
- API RECOMMENDED PRACTICE 582 Welding Guidelines for the Chemical, Oil, and Gas Industries
- API RECOMMENDED PRACTICE 934-A Materials and Fabrication of 2 1/4Cr-1Mo, 2 1/4Cr-1Mo-1/4V, 3Cr-1Mo, and 3Cr-1Mo-4V Steel Heavy Wall Pressure Vessels for High-temperature, High-pressure Hydrogen Service
- API RECOMMENDED PRACTICE 934-C Materials and Fabrication of 1 1/4Cr-1/2Mo Steel Heavy Wall Pressure Vessels for High-pressure Hydrogen Service Operating at or below 825 °F (441 °C)
- API RECOMMENDED PRACTICE 934-E Recommended Practice for Materials and Fabrication of 1 1/4Cr-1/2Mo Steel Pressure Vessels for Service above 825 °F (440 °C)
- API STANDARD 2510 Design and Construction of LPG Installations
- API PUBLICATION 2510A Fire-Protection Considerations for the Design and Operation of Liquefied Petroleum Gas (LPG) Storage Facilities
- TEMA - The Tubular Exchanger Manufacturers Association, Inc. Shell and Tubes Heat Exchangers
- ISO 9712 Non-destructive testing -- Qualification and certification of NDT personnel
- EUROPEAN STANDARD EN-473 Non-destructive testing — Qualification and certification of NDT personnel — General principles (substituída pela ISO 9712)
- EUROPEAN STANDARD EN 45013 General Criteria for Certification Bodies Operating Certification of Personnel
- ASNT Recommended Practice No. SNT-TC-1A, *Personnel Qualification and Certification in Nondestructive Testing* (employer based certification program)
- ASNT Central Certification Program (ACCP) Document ACCP-CP-1, Recommended practice for the qualification and certification of nondestructive testing personnel (third-party central certification program)
- ABENDI NA-001 Qualificação e Certificação de Pessoal em Exames Não destrutivos
- BS 7910 Guide to methods for assessing the acceptability of flaws in metallic structures
- Petrobras N-268 Fabricação de Vaso de Pressão
- Petrobras N-269 Montagem de Vaso de Pressão

3. Definições

• Plano de Inspeção e Testes (PIT)

É um documento elaborado pelo Fabricante, relacionando as fases de inspeção da fabricação do equipamento e as especificações, normas e critérios de aceitação aplicáveis, visando garantir a compatibilidade do equipamento a ser fornecido com o projeto e a documentação contratual.

O PIT deve conter no mínimo:

- Identificação das etapas do ciclo de fabricação do equipamento, em que são realizadas verificações ou inspeções pelo próprio Fabricante e/ou Cliente, incluindo as realizadas

nos subfornecedores, devendo indicar os tipos de inspeção, exames ou verificações a serem efetuadas;

- Comprovação da qualificação e certificação do pessoal que executa as atividades de inspeção de fabricação;
- Indicação de procedimentos e critérios de aceitação para todos os trabalhos de fabricação próprios e de subfornecedores;
- Identificação e preparação de registros da qualidade;
- Indicação dos dispositivos e equipamentos, empregados para a obtenção da qualidade, na verificação de dimensões críticas, testes de funcionamento e de desempenho.

- **Especificação de Procedimento de Soldagem - EPS (WPS-Welding Procedure Specification)**

É um documento emitido pelo executante dos serviços de soldagem, com base nas especificações do Cliente, de consumíveis e de metais de base, provendo os processos e as variáveis de soldagem necessários para produção de juntas soldadas, com as mesmas propriedades e características da junta ensaiada na qualificação do procedimento de soldagem.

- **Registro de Qualificação do Procedimento de Soldagem - RQPS (WPQR-Welding Procedure Qualification Record)**

É um documento emitido pelo executante dos serviços de soldagem, onde são registrados os processos de soldagem, os valores dos parâmetros das variáveis de soldagem da peça de teste e os resultados de exames de qualificação, devendo ainda conter os certificados exigidos nas especificações técnicas do Cliente.

- **Instrução de Execução e Inspeção de Soldagem (IEIS)**

É um documento emitido pelo Fabricante com base em EPS qualificada, detalhando os parâmetros de soldagem adequados para cada junta soldada, bem como os ENDS aplicáveis.

- **Identificação Positiva de Material (PMI-Positive Material Identification)**

Exame realizado para a confirmação do material utilizado através da análise de sua composição química

- **Mapa dos defeitos reparados**

Registros onde é assinalada a localização exata de todos os locais reparados com solda executados no equipamento.

- **Certificado de qualidade de material**

Documento emitido pela Usina Fabricante de cada material de construção do equipamento, com o registro da composição química e os testes mecânicos e de tenacidade realizados, que demonstrem a conformidade com as especificações normatizadas do material e que permita a rastreabilidade, durante toda a fabricação do equipamento.

- **Testes de soldas de produção**

Durante a execução das juntas soldadas do equipamento, são feitas soldas em corpos-de-prova, de mesmo material e mesma espessura, com a mesma EPS, para servirem à realização de testes de comprovação das propriedades mecânicas, dureza e tenacidade, com os valores aprovados resultantes no RQPS.

As soldas de produção devem ser submetidas aos mesmos testes de qualificação.

As chapas de teste de produção devem ser tratadas juntamente com o equipamento e a localização das chapas é estabelecida conforme critério do Cliente ou Proprietário do equipamento.

- **Chapas cladeadas**

Chapas cladeadas são compósitos bimetálicos de chapas feitos com aço Carbono ou aço de baixa Liga (metal base) e material de proteção (clad), em um ou em ambos os lados do metal base, que oferece resistência à corrosão e à temperatura elevada.

- Cladeamento por colaminação é a técnica de revestimento de uma chapa de material metálico, normalmente de aço Carbono ou aço Liga (metal base), com uma chapa fina de material resistente à corrosão ou inoxidável, durante a laminação a quente *hot rolling* conjunta das chapas, promovendo uma ligação metalúrgica entre elas.
- Cladeamento por explosão é a técnica de revestimento, obtida a partir da adesão por deformação plástica superficial entre uma chapa, normalmente de aço Carbono ou aço Liga (metal base) e uma chapa fina de material resistente à corrosão ou inoxidável, que ocorre após o choque em alta velocidade entre as chapas, devido à detonação de um explosivo.
- Cladeamento com depósito de solda ou *weld overlay* é uma técnica de revestimento de chapa de material metálico, normalmente de aço Carbono ou aço Liga (metal base), com sucessivos depósitos de cordão de solda de material resistente à corrosão ou inoxidável.

4. Controle da qualidade da fabricação

Seguem as recomendações para a preparação de PIT-Plano de Inspeção e Testes, de controle de qualidade da fabricação, de Vasos de Pressão críticos.

O código de projeto e construção determina um sistema de controle da matéria prima e das etapas de fabricação, executado através dos Exames Não Destrutivos – ENDS.

O exame por radiografia não é a única inspeção a ser realizada em um vaso de pressão, para assegurar a qualidade da fabricação, dentre outros motivos porque somente as juntas soldadas de topo são possíveis de radiografar.

Assim, para garantir a qualidade da fabricação e se prevenir de problemas durante a futura operação, o acompanhamento da fabricação é executado a partir de uma rotina de ENDS-Exames Não Destrutivos detalhada para cada componente e fase de fabricação, desde o fornecimento dos materiais construtivos até ao final da fabricação do vaso de pressão, o que inclui as etapas de corte e calandragem, conformação das chapas, prensagem, rebordeamento, furação, mandrilhamento, soldagem, tratamentos térmicos e teste de pressão.

No próprio projeto mecânico de vasos de pressão é especificado um determinado conjunto mínimo de inspeções para o controle da qualidade, definido na folha de dados ou desenho de projeto do equipamento.

Os procedimentos de execução dos ENDS devem ser qualificados e certificados, realizados por técnicos certificados de acordo com o Código ASME Seção V e sujeitos aos critérios de aceitação do Código de projeto e construção ASME Seção VIII Div 2.

Por outro lado, os trabalhos de soldagem devem ser executados com procedimentos de soldagem, soldadores e operadores de solda qualificados e certificados, de acordo com a Seção IX do Código ASME.

Os ENDS a serem executados aplicam-se às seguintes etapas:

- Materiais de fabricação: chapas, tubos, forjados, fundidos, consumíveis de soldagem, parafusos, estojos, arruelas, porcas e juntas de vedação;
- Componentes pré-fabricados adquiridos de terceiros: tampos, flanges, tubos e acessórios de tubulação, válvulas, barras e perfis;
- Operações de fabricação do tipo: corte, calandragem, usinagem, prensagem, dobramento, rebordeamento, soldagem e tratamento térmico;
- Ligações soldadas, aparafusadas, roscadas e mandriladas, executadas durante a fabricação e montagem do equipamento.
- Acresçam-se também os exames próprios, para as etapas de tratamentos térmicos e de alívio das tensões residuais da fabricação e de teste de pressão dos equipamentos.

Para o fornecimento de um vaso de pressão, o Fabricante deve emitir o PIT - Plano de Inspeção e Testes da fabricação, além do mapa de soldas, onde são definidos os ENDS que serão aplicados, durante a fabricação, os parâmetros de controle, os procedimentos de execução e os critérios de aceitação.

Os ENDS normalmente utilizados são os seguintes:

VI: visual e dimensional;

ME: medição de espessura;

RT: radiografia;

PT: líquido penetrante;

MT: partículas magnéticas;

UT: ultrassom;

EC: Correntes Parasitas *Eddy current*;

EA: Emissão Acústica;

Medição de dureza;

Visual e martelamento de revestimentos refratários;

Teste de Estanqueidade de chapas de reforço.

Tabela 4 - ENDS - Exames Não-Destrutivos e Critérios de Aceitação comumente utilizados no controle da qualidade de fabricação de vasos de pressão ASME Sec VIII Div 2

As técnicas de Exame Não Destrutivo (END) utilizadas e os respectivos critérios de aceitação associados estão resumidas na Tabela 7.5 do código ASME Sec VIII Div 2 da Part 7 Inspection and Examination Requirements 7.5 Examination Method and Acceptance Criteria.

Técnicas de Exame Não Destrutivo	ASME Sec VIII Div 2 parágrafo 7.5.1 General
Exame Visual	As técnicas de Exame Não Destrutivo (END) utilizadas nesta Divisão e os respectivos critérios de aceitação associados estão na Tabela 7.5. 7.5.2 Visual Examination (VT)
Exame Radiográfico	7.5.3 Radiographic Examination (RT)
Exame de Ultrassom (1)	7.5.4 Ultrasonic Examination (UT)
Exame de Ultrassom utilizado em lugar de Exame Radiográfico	7.5.5 Ultrasonic Examination Used In Lieu of Radiographic Examination: ToFD e Phased Array
Exame de Partícula Magnética (MT)	7.5.6 Magnetic Particle Examination (MT)
Exames de Líquido Penetrante (PT) (2)	7.5.7 Liquid Penetrant Examination (PT)
Exame de Corrente Parasita "Eddy Current" (ET)	7.5.8 Eddy Current Surface Examination Procedure Requirements (ET)
Emissão Acústica	7.8 Acoustic Emission
Medição de espessura	PF
Medição de dureza	PF
Teste de estanqueidade	PF

Obs.: PF = pelo Fabricante.

(1)- não aplicável para espessuras menores que 13 mm e difícil interpretação para aço inoxidável;

(2)- teor máximo de cloretos 10 ppm na solução.

**ASME Sec VIII Div 2
Table 7.5
NDE Techniques, Method, Characterization, Acceptance Criteria**

NDT Technique	Method	Paragraph Reference For Characterization And Acceptance Criteria
Visual Examination (VT)	...	7.5.2
Radiographic Examination (RT)	Section V Article 2	7.5.3
Ultrasonic Examination (UT)	Section V Article 4	7.5.4
Ultrasonic Examination (when used in lieu of RT) (1)	Section V Article 4 and paragraph 7.5.5	7.5.5

**Table 7.5
NDE Techniques, Method, Characterization, Acceptance Criteria (Cont'd)**

NDT Technique	Method	Paragraph Reference For Characterization And Acceptance Criteria
Magnetic Particle Examination (MT)	Section V Article 7	7.5.6
Liquid Penetrant Examination (PT)	Section V Article 6	7.5.7
Eddy Current Examination (ET)	Paragraph 7.5.8	7.5.8

NOTE:

(1) For SAW welds in 2³/₄ Cr-1Mo-¹/₄V vessels, ultrasonic examination in accordance with 7.5.4.1(e) is required.

A relação dos documentos de fabricação a serem fornecidos pelo Fabricante envolvem, no mínimo, os seguintes itens relacionados e os certificados quando aplicáveis:

- a) PIT-Plano de Inspeção e Testes da fabricação;
- b) Especificações técnicas de compra de materiais construtivos e consumíveis de soldagem;
- c) Procedimento de identificação e transferência de marcação de materiais (rastreadibilidade);
- d) EPS, RQPS, IEIS, planos de soldagem conforme especificações do Cliente;
Incluir os certificados de qualificação dos procedimentos de solda.
- e) Procedimento de testes de recebimento de consumíveis de solda ("screening test");
- f) Plano de execução dos testes de soldas de produção;
- g) Procedimento de revestimento com depósito de solda *weld overlay* das chapas e componentes;
- h) Procedimentos de execução dos ENDS - Exames Não-Destrutivos;
- i) Procedimento de PMI-Positive Metal Identification;
- j) Procedimento de torqueamento;
- k) Procedimento de mandrilagem;
- l) Procedimento de teste de vedação (estanqueidade);
- m) Procedimento de teste pneumático;
- n) Procedimento de exame do teor de ferrita;
- o) Procedimento de exame de dureza;
- p) Procedimento de refratamento;
- q) Procedimento de aplicação de revestimento interno;
- r) Procedimento para execução de outros testes requeridos, incluindo os equipamentos a serem utilizados;
- s) Procedimento de reparos, incluindo a forma de remoção do defeito, o reparo propriamente dito e os tipos de exames a serem feitos após o reparo;
- t) Protocolo para exame dimensional, indicando as tolerâncias;
- u) Procedimento de tratamento térmico;
- v) Procedimento de teste hidrostático;
- x) Procedimento de drenagem, limpeza e secagem do vaso após o teste hidrostático;
- y) Procedimento de aplicação revestimento externo (pintura etc.);
- w) Procedimento para decapagem, passivação e inertização;
- z) Procedimento para transporte e armazenamento.

5. Inspeção de Fabricação e Montagem

Em cada fase ou etapa da fabricação deve ser realizada a inspeção, a saber:

- Inspeção de recebimento dos materiais de fabricação
- Inspeção antes da execução do TTAT-Tratamento Térmico de Alívio de Tensões
- Inspeção após execução do TTAT
- Inspeção após execução do Teste de Pressão Hidrostático
- Inspeção de reparos

Em cada etapa de inspeção devem ser apontados os ENDS a serem executados e para cada END deve ser preparado relatório com os registros, defeitos e não conformidades encontradas e aprovação ou não do exame.

5.1. Inspeção e recebimento dos materiais de fabricação

O material para fabricação deve ser conferido e inspecionado à entrada da fábrica.

Este material compõe-se das chapas, incluído as cladeadas, partes ou componentes fabricados por outros (como tampos reborçados ou prensados), componentes forjados (como flanges e bocais auto-reforçados), tubos, parafusos-estojos, porcas e arruelas e juntas de vedação.

Para todas as partes pressurizadas e materiais fixados a elas deve ser apresentado o certificado de qualidade original da usina.

A inspeção deve prever:

- Exame Visual (100%).
- Exame Dimensional. (100%)
- Verificação de certificados de qualidade dos materiais para a fabricação, incluindo os consumíveis de soldagem.
- Teste PMI – Positive Material Identification de toda a matéria prima da fabricação: chapas de metal base, chapas "clad", tubos, parafuso/estojos, porcas, consumíveis de soldagem.
- Nas chapas cladeadas requerer o "Exame de disbonding", quando aplicável, conforme Padrão do ASTM-G-146-01 Standard Practice for Evaluation of Disbonding of Bimetallic Stainless Alloy/Steel Plate for Use in High-Pressure, High-Temperature Refinery Hydrogen Service

Tabela 5 - Exames e testes aplicáveis à matéria prima de fabricação de vasos de pressão ASME Sec VIII Div 2

Em acréscimo aos exames visual e dimensional, devem ser aplicados os seguintes exames:

Componente ou parte de Vaso de Pressão	Inspeção	ASME Sec VIII Div 2 Part 3 Materials Requirements 3.3 Supplemental Requirements for Ferrous Materials
Chapas	Exame Ultrassom de acordo com os requisitos do ASME Sec II SA-578 Straight-Beam Ultrasonic Examination of Rolled Steel Plates for Special Applications	3.3.3 Ultrasonic Examination of Plates
Chapas cladeadas SA-263 Specification for Corrosion-Resisting Chromium-Steel Clad Plate, Sheet and Strip;	Exame Ultrassom de acordo com os requisitos do ASME Sec II SA-578 Straight-Beam Ultrasonic Examination of Rolled Steel Plates for Special Applications	3.3.3 Ultrasonic Examination of Plates
SA-264 Specification for Corrosion-Resisting Chromium-Nickel Steel Clad Plate, Sheet and Strip; or	Exame de "shear testing" resistência ao cisalhamento da ligação de placas revestidas por cladeamento. Nota: Não é necessário este exame de resistência ao cisalhamento em caso de revestimento metálico por depósito de solda <i>weld overlay</i> .	3.3.6 Integral and Weld Metal Overlay Clad Base Metal Shear Strength of Bond of Integrally Clad Plates. A shear or bond strength test is not required for weld metal overlay cladding.
SA-265 Specification for Nickel and Nickel-Base	<i>Disbonding Test</i> quando as condições de operação (temperatura x pressão)	

Alloy Clad Steel Plate.	estiverem na "Zona de Disbonding" da norma ASTM G-146 Evaluation of Disbonding of Bimetallic Stainless Alloy/Steel Plate for Use in High-Pressure, High-Temperature Refinery Hydrogen Service	
Forjados e flanges	Exame por ultrassom de acordo com ASME Sec II SA-388 Ultrasonic Examination of Heavy Steel Forgings	3.3.4 Ultrasonic Examination of Forgings
	Exame pelo método das partículas magnéticas de acordo com o método de exame ASME Sec II A 275 - Magnetic Particle Examination of Steel Forgings ou pelo método do líquido penetrante de acordo com ASTM E 165 Standard Practice for Liquid Penetrant Examination for General Industry	3.3.5 Magnetic Particle and Liquid Penetrant Examination of Forgings
Tubos e Tubings	Exame por Correntes Parasitas <i>Eddy Current</i>	
Parafusos, estojos e porcas	Exame pelo método das partículas magnéticas ou pelo método do líquido penetrante Exame por ultrassom	3.7.2 Examination of Bolts, Studs, and Nuts
Consumíveis de soldagem	Composição química Propriedades mecânicas Tenacidade	ASME Sec IX

Notas:

- Para toda matéria prima, incluindo os consumíveis para soldagem, devem ser apresentados os certificados de qualidade dos materiais empregados, com os resultados da análise química, propriedades mecânicas e tenacidade (testes de impacto).
- Na fábrica toda matéria prima deve ser submetida ao teste de identificação do material (PMI).
- Verificar espessuras das chapas de metal base.
- Verificar espessura mínima dos tampos rebordeados prensados, na região conformada, do metal base e do "clad".
- Verificar espessura mínima do "clad" das chapas cladeadas.

5.2. Inspeção antes da execução do TTAT

Estes exames devem ser realizados antes do depósito do revestimento metálico nas soldas.

Simbologia:

EV (Visual and Dimensional Examination)

PT (Dye Penetrant Test)

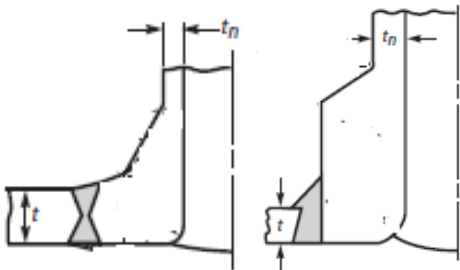
MT (Magnetic particle Test)

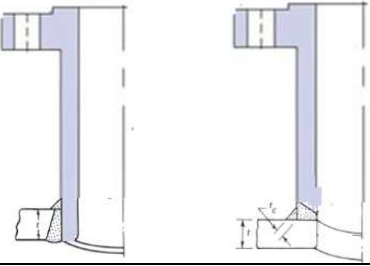
RT (Radiographic Test)

UT (Ultra-Sonic Test)

Eficiência 100% (Radiografia Total)	RT total com acelerador linear em 100% das juntas por solda de topo no corpo, tampos e bocais, e de soldas entre materiais dissimilares.
Chanfros de solda em chapas e componentes, incluindo os trechos removidos do "clad" das chapas cladeadas; chanfros de aberturas para bocais; conexões e chanfros recuperados por solda.	Inspeção visual e dimensional complementada com PT ou MT
Soldas de topo longitudinais e circunferenciais executadas em oficina ou fábrica.	100 % Visual. 100% PT passe raiz, após goivagem, de ambos os lados, interno e externamente. 100% RT e MT soldas acabadas. 100% UT e MT soldas de acesso difícil para radiografia. Nota: O exame por Ultrassom deve ser

	computadorizado e mecanizado e executado com a técnica ToFD <i>Time of Flight Diffraction</i> para as soldas de topo.
Soldas de topo circunferenciais executadas no campo ou local de instalação do vaso.	100 % Visual. 100% PT passe raiz, após goivagem, de ambos os lados, interno e externamente. 100% UT e MT soldas acabadas. Nota: O exame por Ultrassom deve ser computadorizado e mecanizado e executado com a técnica ToFD <i>Time of Flight Diffraction</i> para as soldas de topo.
Cruzamentos de solda e 300 mm de cada lado de solda.	100% RT
Soldas de anéis de reforço e de olhais de içamento no corpo do equipamento.	100% MT ou PT
Soldas de acessórios internos e externos com o corpo	100% MT ou PT.
Soldas de chapas de reforço de locais de suportes de tubulação e de plataformas.	100% MT ou PT
Locais de remoção de soldas provisórias, de remoção dos dispositivos de auxiliares de montagem e de remoção dos termopares de execução do TTAT.	100% UT e MT.
Soldas em ângulo e em "Tê" de acessórios internos e externos.	100% PT.
Superfície externa da região conformada das partes e componentes fabricados por rebordamento e/ou prensagem e solda de fechamento do furo central de tampo rebordado.	100% UT e MT.
Soldas de fixação do suporte do vaso ao corpo: pernas, berços e saia.	100% PT no passe de raiz; 100% MT após passe final; 100% UT soldas acabadas.
Soldas de topo acabadas após o revestimento com depósito de solda <i>weld overlay</i> .	100% MT externamente e PT internamente

Inspeção de bocais e bocas de visita	
<p>Nos vasos de pressão críticos, pressão e/ou temperatura elevados, os bocais e as bocas de visita são do tipo: NPS ≤ 4" Flange LWN (Long Welding Neck); NPS > 4" Bocal auto-reforçado Não são usadas as chapas ou anéis de reforço nas aberturas de bocais e as bocas de visita.</p>	
Ligação soldada de bocais e bocas de visita	
<p>Bocal > 4" Solda bocal auto-reforçado X flange Solda bocal auto-reforçado X corpo do equipamento</p> 	<p>100% UT do corpo na região de instalação do bocal; 100% MT ou PT nos passes de raiz e adjacências; 100% RT cordão de solda acabado; 100% MT ou PT cordão de solda acabado, externa e internamente, após o revestimento "weld overlay", se houver.</p>
<p>Bocal ≤ 4" Solda bocal LWN X corpo do equipamento</p>	<p>100% UT do corpo na região de instalação do bocal;</p>

	<p>100% MT ou PT nos passes de raiz e adjacências; 100% RT cordão de solda acabado; 100% MT ou PT cordão de solda acabado, externa e internamente, após o revestimento "weld overlay", se houver.</p>
---	---

5.3. Inspeção após execução do TTAT- Tratamento Térmico

Para todos os tratamentos térmicos executados durante a fabricação do equipamento, tais como:

- Desidrogenação ("Dehydrogenation Heat Treatment" - DHT),
- Alívio de tensões intermediário ("Intermediate Stress Relief" - ISR),
- Tratamento Térmico de Alívio de Tensões (TTAT) ao final da fabricação;

se deve elaborar cada procedimento específico de tratamento térmico, contendo no mínimo as seguintes informações:

- a) tipo de tratamento térmico executado;
- b) identificação da norma de execução aplicável;
- c) parâmetros requeridos para execução, ou seja:
 - temperaturas de início e término dos controles;
 - velocidades mínima e máxima de aquecimento;
 - temperaturas mínima e máxima de tratamento;
 - tempos mínimo e máximo de tratamento;
 - velocidades mínima e máxima de resfriamento;
 - diferença máxima admitida de temperatura entre termopares;
- d) detalhes de suportação e dispositivos de controle de deformação do equipamento;
- e) indicação do método de execução, ou seja:
 - tratamento em forno;
 - tratamento localizado;
- f) indicação do meio de aquecimento utilizado: a gás ou elétrico;
- g) croqui do forno (quando aplicável), indicando a localização do equipamento em seu interior, dos bicos queimadores ou das resistências elétricas e a região de sobreposição quando o equipamento não estiver totalmente dentro do forno;
- h) quando for efetuado tratamento térmico localizado: croqui da junta soldada, indicando a localização e distribução das resistências elétricas, a largura da "banda" de encharque ("Soak Band" - SB), largura da banda aquecida ("Heated Band" - HB), largura da banda de controle do gradiente de temperatura, incluindo SB, HB e isolamento ("Gradient Control Band" - GCB), distribução dos termopares e detalhes de fixação do isolamento;
- i) croqui do equipamento, indicando a localização e a distância relativa entre os termopares;
- j) croqui do cupom da solda de teste de produção, indicando a localização dos termopares;
- k) tipo, quantidade e identificação (número e cor no gráfico) dos termopares utilizados;
- l) método de fixação dos termopares ao equipamento;
- m) antes de se iniciar o TTAT, avaliar a necessidade de suportação adicional do equipamento.

Após o TTAT executar a seguinte inspeção das soldas.

Em todas as soldas.	100% visual
Juntas soldadas de topo; Cruzamento de soldas circunferenciais e longitudinais; Solda de conexão dos bocais e bocas de visita com o corpo; Solda de fixação de suportes de acessórios; Soldas em transições e descontinuidades geométricas; Locais de soldas de fixação de termopares e de suportes de isolamento térmico após remoção.	100% PT interna e externamente

5.4. Medição de dureza após TTAT

Após o TTAT, a medição de dureza nas juntas soldadas deve ser feita sobre o cordão de solda acabado, na zona termicamente afetada e no metal base e também em locais de soldas provisórias, após a remoção e esmerilhamento.

Pelo menos duas leituras de dureza devem ser realizadas para cada junta circunferencial e longitudinal

As soldas de pressão devem ser esmerilhadas para retirar o reforço (1,5 mm máximo).

As leituras de dureza não devem exceder os seguintes valores:

- aço liga cromo-molibdênio 2.25Cr-1Mo: 235 HV5 ou HV10;
- aço liga cromo-molibdênio-vanádio 2.25Cr-1Mo-V: 248 HV5 ou HV10 .

Definição dos pontos de exame da dureza:

- A cada 5 metros de extensão da junta soldada, com o mínimo de duas medições por cordão de solda longitudinal e por cordão de solda circunferencial;
- Em cruzamentos de soldas;
- Em regiões onde ocorrer defasagem superior a 30°C durante o período de patamar no TTAT;
- No mínimo uma medição de dureza deve ser realizada na ligação do flange com o pescoço e uma na ligação do bocal com o vaso;
- Uma medição na região de remoção das soldas provisórias;
- Em locais com TTAT localizado.

Nº medições em cada ponto:

- (1x) Metal adição ou zona fundida (ZF);
- (1x) Zonas Termicamente Afetada (ZTA);
- (1x) Metal de base de cada lado do cordão da solda (MB).



5.5. Inspeção após o depósito do revestimento nas soldas

- 100% visual e PT em todas as soldas.

5.6. Inspeção após execução do Teste de Pressão Hidrostático

Todos os vasos que forem entregues inteiros devem ser submetidos a teste hidrostático na oficina do Fabricante, antes do embarque.

Deve ser elaborado procedimento específico de teste hidrostático incluindo, no mínimo, as seguintes informações:

- a) escopo do procedimento;
- b) documentos aplicáveis;
- c) requisitos de preparação do equipamento para o teste;
- d) qualidade e temperatura da água;
- e) teor máximo de cloretos 10 ppm;
- f) detalhes das ligações para enchimento e esvaziamento;
- g) locação dos manômetros e/ou instrumentos de controle de pressão;
- h) juntas e estojos para o teste;
- i) dispositivos de segurança;
- j) parâmetros requeridos para execução:
 - taxa de pressurização e despressurização;
 - pressão de teste;
 - tempo de permanência na pressão de teste;
- k) gráfico pressão x tempo, incluindo os patamares de pressão e os pontos de inspeção;

- l) drenagem, secagem e limpeza após o teste;
- m) critérios de aceitação;
- n) requisitos de segurança;
- o) modelo de certificado do teste.

Pressão de Teste Hidrostático	Indicada no desenho de fabricação ou folha de dados do equipamento
Procedimento do Teste	Conforme Norma Petrobras N-268.

Após o Teste de pressão hidrostático executar a seguinte inspeção das soldas.

Em todas as soldas.	100% visual
Juntas soldadas de topo; Cruzamento de soldas circunferenciais e longitudinais; Solda de conexão dos bocais e bocas de visita com o corpo; Soldas em transições e descontinuidades geométricas.	100% PT externamente

5.7. Inspeção de reparos

Em todos os locais de reparos, executar os mesmos ENDS originais.

6. Requisitos exigidos para a contratação inspeção de fabricação

6.1. Geral

- O pessoal envolvido nas atividades de Garantia e Controle da Qualidade deve estar cadastrado e habilitado pelo Sistema de Qualidade do fornecedor / Controle da Qualidade, mediante um procedimento que defina treinamento específico com registros de periodicidade de avaliação e critérios de manutenção da habilitação. Estes registros devem ser apresentados ao Cliente.
- Comprovar a existência de certificados de qualificação de soldadores e/ou operadores de soldagem, devidamente aprovados por inspetor de soldagem nível II da FBTS-Fundação Brasileira de Tecnologia de Soldagem ou entidade equivalente, e metodologia para controle da manutenção da qualificação dos soldadores.
- Comprovar a disponibilidade de inspetores de solda qualificados e certificados pela FBTS ou entidade independente equivalente, nos níveis adequados às necessidades de fabricação.
 - O inspetor de solda nível I da FBTS ou equivalente deve estar na fábrica supervisionando as operações de soldagem.
 - O inspetor de solda nível II da FBTS ou equivalente pode estar disponível somente quando necessário para o desenvolvimento das atribuições previstas para seu nível, como a verificação e aprovação dos procedimentos de RQPS e EPS e preparação de procedimentos de reparo e de aceitação.
 - É permitida a utilização de profissionais contratados, desde que comprovada a adequação da sua qualificação e a sua imediata disponibilidade, sempre que necessário nas atribuições previstas para seu nível.
- Comprovar a adequação e validade da qualificação de inspetores para exames não destrutivos: líquido penetrante, partículas magnéticas, radiografia, ultrassom e correntes parasitas, nos níveis adequados às necessidades de fabricação.
- Todos os procedimentos de execução de ENDS utilizados em fornecedores e/ou subfornecedores nacionais ou do exterior devem ser aprovados por examinador nível III.
- Quanto à pintura, o fornecedor deve apresentar um plano de inspeção de pintura, contendo instrução para aplicação da tinta, procedimento de execução e controle da espessura aplicada. Adicionalmente, deve ser apresentada uma sistemática de verificação da habilitação do pessoal envolvido nos processos de execução e de inspeção, que defina treinamento específico, registro dos mesmos, periodicidade de avaliação e critérios de manutenção da habilitação.

6.2. Requisitos para qualificação de inspetores de soldagem

- Equipamentos fabricados no Brasil

No âmbito nacional, os Inspetores de Soldagem Nível I e Nível II devem ser certificados pelo Sistema Nacional de Qualificação e Certificação de Inspetores de Soldagem (SNQC), coordenado pela FBTS-Fundação Brasileira de Tecnologia de Soldagem, com a missão de verificação de procedimentos de soldagem e registros de qualificação dos Inspetores de Soldagem – FBTS.

- Equipamentos fabricados no exterior

Quando o Fabricante situar-se fora do Brasil, a entidade independente de qualificação deve ser reconhecida no país onde o equipamento é fabricado, devendo estar em conformidade com a norma ISO 9712 ou EN 473 e os requisitos na norma EN 45013.

Nota: A auto-certificação como a metodologia ASNT SNT-TC-1A não é aceita, mas a prática de certificação por 3ª parte do ASNT ACCP-CP-1 é aceita.

6.3. Requisitos para qualificação de pessoal de inspetores ou examinadores de END

No âmbito nacional, a qualificação e a certificação de inspetores ou examinadores de END devem ser pelo Sistema Brasileiro de Qualificação e Certificação de Pessoal em END, conforme normas do Sistema Nacional de Qualificação de Pessoal SNQC-END da Associação Brasileira de Exames Não Destrutivos ABENDE NA – 001 e DC-001.

No exterior, o pessoal que executa e avalia as atividades de Exames Não Destrutivos deve ser qualificado e certificado por entidades reconhecidas do país onde se realizam as atividades, devendo estar em conformidade com a norma ISO 9712 ou EN 473 e os requisitos na norma EN 45013.

ANEXOS

Anexo 1

Não conformidades e defeitos de fabricação

Durante a fabricação do equipamento há sempre o risco de surgirem descontinuidades nas etapas de fundição, laminação, forjamento, usinagem e particularmente na soldagem.

São vários os problemas decorrentes da soldagem mal executada.

Por ex.: manipulação incorreta do eletrodo; sujeira presente na junta; corrente de soldagem muito baixa; excesso de respingos; máquina de solda com a corrente elétrica muito alta; mordeduras, velocidade de soldagem muito alta; bitola de eletrodo inapropriada, distorção da estrutura, dentre outros.

As descontinuidades em juntas soldadas podem ser classificadas em dois tipos:

- Descontinuidades dimensionais

São descontinuidades provenientes de alterações nas dimensões ou na forma dos cordões de solda. Dentre as descontinuidades dimensionais se podem destacar o perfil incorreto da solda e o desalinhamento das juntas.

- Descontinuidades estruturais

São descontinuidades relacionadas à ausência de material ou à presença de material estranho na região soldada. Sua gravidade depende da extensão e da geometria da solda.

Porosidades e falta de penetração são alguns exemplos de descontinuidades estruturais.

Em função dessas não conformidades de soldagem os principais defeitos resultantes são:

- Porosidade,
- Bolhas de gás;
- Dupla laminação;
- Micro-trincas em forjados;
- Falta de fusão;
- Falta de penetração;
- Inclusão de escória;
- Cavidades: poros esféricos;

- Cavidades alongadas (vermiforme);
- Retrações (rechupes) externas e internas;
- Falta de solubilização ou falta de fusão;
- Inclusões;
- Mordeduras;
- Trincas;
- Rupturas.

As discontinuidades são detectadas por exames não destrutivos após a soldagem.

A inspeção antes, durante e após a fabricação do equipamento visa exatamente detectar esses defeitos.

As discontinuidades podem ser classificadas quanto à origem e à forma.

Com relação à origem, as discontinuidades podem ser geométricas e metalúrgicas.

Com relação à forma, as discontinuidades podem ser planas e volumétricas.

As discontinuidades geométricas geralmente são planas, enquanto as discontinuidades metalúrgicas podem ser planas ou volumétricas.

A escolha dos exames não destrutivos está relacionada às características das discontinuidades.

Assim, uma discontinuidade volumétrica pode ser mais bem detectada por um exame radiográfico, enquanto que para uma discontinuidade plana prefere-se o exame por ultrassom.

Descontinuidades que atingem um tamanho crítico, determinado pela norma de inspeção são consideradas defeitos e devem ser reparadas.

Porém, indicações como trincas, falta de fusão ou falta de penetração levam à rejeição da junta soldada

A Radiografia e o Ultrassom são métodos que podem detectar com alta sensibilidade discontinuidades e defeitos internos com poucos milímetros de extensão.

Também são usados na qualificação de soldadores e operadores de soldagem e proporcionam registros importantes para a documentação da qualidade.

Os exames não destrutivos mais empregados para detectar diferentes discontinuidades podem ser vistos no quadro a seguir.

Descontinuidades	Método de inspeção					
	RT Exame radiográfico	UT Exame por ultrassom	PT Exame por líquido penetrante	MT Exame por partícula magnética	EV Exame visual	CP Exame por correntes parasitas
Porosidade	A	D	A (1)	A (2)	A (1)	D
Inclusão de escória	A	A	NA	A (2)	NA	D
Falta de fusão	D	A	NA	NA	NA	D
Falta de penetração	A	A	NA	NA	NA	D
Mordedura	A	D	D	D	A	D
Trincas	D	A	A (1)	A (2)	A (1)	A

Conforme <http://www.infosolda.com.br/>

A- aplicável

D – deficiente

NA – não aplicável

(1) Superficial

(2) Superficial e sub-superficial

EV (Visual and Dimensional Exam)

PT (dye Penetrant Test)

MT (Magnetic particle Test)

RT (Radiographic Test)

UT (Ultra-Sonic Test)

ET (Eddy Current)

- Os chanfros devem ser examinados dimensional e visualmente, quanto à limpeza e à ausência dos seguintes defeitos, empregando exames não-destrutivos adequados:
 - Desfolhamentos;
 - Poros;
 - Irregularidades de corte;
 - Amassamentos;
 - Trincas;
 - Descontinuidades transversais à superfície;
 - Descontinuidades paralelas à superfície.
- Nas juntas soldadas, as descontinuidades típicas mais comuns observadas no exame por RT- Radiografia são:
 - Trincas;
 - Inclusão gasosa ou porosidade de forma esférica ou cilíndrica, ou forma alongada ou com a aparência de um galho ramificado, chamada de porosidade vermiforme;
 - Inclusão de escória, principalmente, em soldas de passes múltiplos, quando a limpeza não é bem efetuada entre um passe e outro;
 - Falta de penetração ou penetração incompleta de material depositado na raiz da solda, devido ao fato de o material não ter chegado até a raiz;
 - Falta de fusão paralela ao eixo da solda, em um ou em ambos os lados.
 - Vazios;
 - Porosidade.
- Nas juntas soldadas, as descontinuidades típicas mais comuns observadas no exame por UT- Ultrassom são:
 - Inclusão de escória;
 - Pites ou alvéolos;
 - Falta de fusão;
 - Falta de penetração;
 - Trincas;
 - Vazios;
 - Porosidade;
 - Laminação;
 - Delaminação.

Também aplicável para delimitação da extensão da descontinuidade e medições de espessuras.

- Nas juntas soldadas, as descontinuidades típicas mais comuns observadas no exame por Correntes Parasitas *Eddy current* são:
 - Trincas;
 - Sobreposições;
 - Linhas de junção;
 - Vazios;
 - Variações na composição após o tratamento térmico.
- Nas juntas soldadas, as descontinuidades típicas mais comuns observadas no exame por PT- Líquido Penetrante são:
 - Carepa;
 - Pites ou alvéolos;
 - Trincas superficiais;
 - Sobreposições de cordões de solda;
 - Riscos;
 - Linhas de junção de cordões de solda;
 - Porosidade;

- Bordas afiadas;
 - Esmagamento local;
 - Fissuração;
 - Descontinuidades transversais às superfícies interna e externa;
 - Descontinuidades paralelas às superfícies interna e externa.
- O exame por MT- Partículas Magnéticas é usado para detectar descontinuidades superficiais e subsuperficiais em materiais ferromagnéticos.
Nas juntas soldadas, as descontinuidades típicas mais comuns observadas no exame por MT- Partículas Magnéticas são:
 - Pites ou alvéolos;
 - Trincas superficiais e subsuperficiais;
 - Sobreposições de cordões de solda;
 - Vazios;
 - Junta fria;
 - Inclusões não-metálicas;
 - Dupla laminação;
 - Falta de penetração;
 - Dobramentos;
 - Segregações.

Anexo 2

Tipos mais comuns de descontinuidades presentes nos vários processos de soldagem.

Processo de soldagem	Tipo de descontinuidade					
	Geométrica			Metalúrgica		
	Falta de fusão	Falta de penetração	Mordedura	Porosidade	Inclusão de escória	Trincas
TIG	X	X	-	X	-	X
MIG/MAG	X	X	X	X	X	X
Plasma	X	X	-	X	-	X
Eletrodo revestido	X	X	X	X	X	X
Eletrodo tubular	X	X	X	X	X	X
Arco submerso	X	X	X	X	X	X
Por resistência: ponto; costura; projeção; centelhamento; forjamento; percussão.	X	-	-	-	-	X
Oxigás; oxiacetilênica; etc.	X	X	-	X	-	X
Difusão	X	-	-	-	-	X
Explosão	X	-	-	-	-	-
Forjamento	X	-	-	-	-	X
Atrito	X	-	-	-	-	-
Ultrassom	X	-	-	-	-	-
Feixe de elétrons	X	X	-	X	-	X
Laser	X	X	-	X	-	X
Eletroescória	X	X	X	X	X	X
Aluminotermia	X	-	-	X	X	X

Conforme <http://www.infosolda.com.br/>

Anexo 3

Informações sobre o exame por ultrassom em grandes espessuras

O ultrassom é o método de exame não destrutivo mais utilizado mundialmente para verificação de descontinuidades internas nos materiais, de soldas a partir da espessura mínima de 13 mm.

Na maioria dos casos, o exame por ultrassom é aplicável aos aços Carbono e aços de baixa Liga e em menor porcentagem em aços Inoxidáveis.

Geralmente, as dimensões reais de uma descontinuidade interna podem ser estimadas com uma razoável precisão através da altura dos ecos refletidos, fornecendo meios para que a peça possa ser aceita ou rejeitada, com base nos critérios de aceitação da norma aplicável.

Outra aplicação recente do ultrassom é a caracterização de tensões residuais em soldas. A medição de tensões residuais por ultrassom baseia-se no efeito acustoelástico, relacionando as velocidades de propagação das ondas ultrassônicas com as propriedades elásticas do material.

O Método Ultrassom Pulso-Eco ou manual ou convencional utiliza apenas um transdutor que emite e recebe as ondas ultrassônicas, que se propagam pelo material, permitindo a localização e a profundidade da não conformidade, na peça, através dos ecos de reflexão provenientes das mesmas.

Por outro lado, há a técnica de exame por ultrassom computadorizado e mecanizado, a ser aplicada às soldas do corpo e de componentes de um vaso de pressão, com base no documento ASME CODE CASE 2235 - Use of Ultrasonic Examination in Lieu of Radiography, que passou a permitir este exame em lugar da Radiografia.

Enquanto o exame com Ultrassom manual não dimensiona o defeito, o exame com Ultrassom computadorizado e mecanizado, que utiliza dois cabeçotes angulares, um funcionando como receptor e o outro como transmissor, com largura de feixe suficiente para que o máximo de área seja inspecionado, além de identificar a posição também permite o dimensionamento de descontinuidades, garantindo o registro e a localização em toda a extensão do volume de solda.

Na literatura a respeito o exame por ultrassom manual convencional “pulse echo” é chamado de UT e o exame por ultrassom computadorizado e mecanizado é chamado de AUT.

Como AUT entendem-se as seguintes técnicas de exame de soldas.

- ToFD *Time of Flight Diffraction* - para as soldas de topo;
- PHASED ARRAY - para soldas de bocais, bocas de visita, “bocas de lobo” e soldas de filete de suportes soldados em parede pressurizada.

O Ultrassom ToFD é utilizado para detectar e dimensionar descontinuidades internas no material, especialmente de alta espessura. A inspeção é computadorizada e permite aquisição e registro de 100% dos dados inspecionados, as imagens geradas são apresentadas em tons de cinza e o volume da solda é inspecionado em uma única varredura.

O ToFD substitui com vantagem o ultrassom convencional uma vez que dimensiona com precisão a altura, comprimento e profundidade de descontinuidades e registra 100% da inspeção, permitindo melhor acompanhamento do histórico das inspeções. Também pode ser utilizado em substituição à radiografia, não requerendo isolamento da área, evitando assim paralisações, atrasos e aumento do custo da obra.

O ToFD é aplicado em espessuras que variam de aproximadamente 12,5 mm a 300 mm em uma única varredura.

Anexo 4

Informações sobre o exame por radiografia em grandes espessuras

A radiografia é um tipo de exame não destrutivo que se baseia na absorção diferenciada da radiação penetrante na peça inspecionada.

Essa absorção diferenciada da radiação pode ser detectada por meio de um filme.

A variação de quantidade de radiação absorvida indica a existência de uma falha interna ou descontinuidade no material.

A radiografia industrial é usada para detectar variação de uma região de um determinado material que apresenta uma diferença em espessura ou densidade comparada com uma região vizinha;

em outras palavras, a radiografia é um método capaz de detectar com boa sensibilidade defeitos volumétricos.

A capacidade do processo de detectar defeitos com pequenas espessuras, em planos perpendiculares ao feixe, como trinca, não são bem detectados com a radiografia.

Já descontinuidades como vazios e inclusões que apresentam uma espessura variável em todas as direções são facilmente detectadas, desde que não sejam muito pequenas em relação à espessura da peça.

A radiografia industrial é amplamente utilizada na inspeção de soldas, materiais fundidos e forjados, pois, permite o registro permanente do exame realizado, uma vez que no filme permanecem todas as evidências da inspeção de maneira objetiva e incontestável, em relação a outros exames que são avaliados de modo subjetivo pelo inspetor.

Todo trabalhador do exame radiográfico deve ter uma qualificação fornecida por organismos oficiais, e requer também acompanhamento médico constante, para medir a quantidade de radiação absorvida.

As radiações ionizantes que sensibilizam o filme, provenientes tanto dos Raios X quanto dos Raios GAMA, são altamente prejudiciais ao ser humano. O exame requer cuidados especiais de proteção aos trabalhadores, que são os membros da equipe radiográfica, e aos indivíduos que se encontram nas vizinhanças do local onde é feito o exame; além disso, cuidados especiais em relação ao meio-ambiente devem ser previstos.

A energia das radiações emitidas tem importância fundamental no exame radiográfico, pois a capacidade de penetração nos materiais está associada a esta propriedade.

As fontes usadas em gamagrafia (radiografia com raios GAMA) requerem cuidados especiais de segurança, pois, uma vez ativadas, emitem radiação, constantemente. Deste modo, é necessário um equipamento que forneça uma blindagem, contra as radiações emitidas da fonte, quando a mesma não está sendo usada, e essa blindagem deve ter um sistema que permita retirar a fonte de seu interior, para que a radiografia seja feita.

O acelerador linear é um aparelho similar ao aparelho de Raios X convencional, com a diferença de que os elétrons são acelerados por meio de uma onda eletromagnética de alta frequência, adquirindo altas velocidades ao longo de um tubo retilíneo. Ao se chocarem com o alvo, os elétrons transformam a energia cinética adquirida em calor e Raios X com altas energias, cujo valor dependerá da aplicação. Para uso industrial em geral são usados aparelhos capazes de gerar Raios X com energia máxima de 4 MeV (mega elétron-volt).

Os aceleradores lineares são aparelhos destinados à inspeção de componentes de aço com espessuras acima de 150 mm

Anexo 5

Seleção de ENDs conforme extraído do código ASME Sec VIII Div 2

Table I-1

Method	Properties Sensed or Measured	Typical Discontinuities Detected	Representative Applications	Advantages	Limitations
X- and gamma-ray radiography	Changes in density from voids, inclusions, material variations, and placement of internal parts	Voids, porosity, inclusions, incomplete penetration, and cracks	Castings, forgings, weldments, and assemblies	Detects internal discontinuities; useful on a wide variety of materials; portable; permanent record	Cost; relative insensitivity to thin or laminar flaws such as fatigue cracks or delaminations that are perpendicular to the radiation beam; health hazard
Liquid penetrant examination	Surface openings	Cracks, porosity, laps, and seams	Castings, forgings, weldments, metallic and nonmetallic components	Inexpensive; easy to apply; portable	Discontinuity must be open to an accessible surface; false indication often occurs
Eddy current examination	Changes in electrical and magnetic properties caused by surface and near-surface discontinuities	Cracks, laps, seams, voids, and variations in alloy composition and heat treatment	Bars, rods, wire, tubing, local regions of sheet metal, alloy sorting, and thickness gaging	Moderate cost; readily automated; portable; permanent record, if needed	Conductive materials only; shallow penetration; geometry sensitive; reference standards necessary
Microwave examination	Anomalies in complex dielectric coefficient; surface anomalies in conductive materials	In dielectrics; disbonds, voids, and cracks; in metal surfaces; surface cracks	Glass-fiber-resin structures; plastics; ceramics; moisture content; thickness measurement	Noncontacting; readily automated; rapid inspection	No penetration of metals; comparatively poor definition of flaws
Magnetic particle examination	Leakage in magnetic flux field caused by surface or near-surface discontinuities	Surface or near-surface cracks, laps, voids, and nonmetallic inclusions	Ferromagnetic products such as weldments, castings, forgings, and extrusions, and other basic steel products	Stable; inexpensive	Ferromagnetic materials only; surface preparation may be required; false indications often occur
Magnetic flux leakage examination	Leakage in magnetic flux caused by surface or near-surface discontinuities	Surface or near-surface cracks, laps, voids, and nonmetallic inclusions	Ferromagnetic products such as weldments, castings, forgings, and extrusions, and other basic steel products	Sensitivity to typical discontinuities; readily automated; moderate depth penetration; permanent record, if needed	Ferromagnetic materials only; proper magnetization of part sometimes difficult when parts do not have uniform cross sections
Ultrasonic examination	Changes in acoustic impedance	Cracks, voids, porosity, lamination, delaminations and inclusions	Weldments, plates, tubes, castings, forgings, extrusions; thickness gaging	Excellent penetration; readily automated; good sensitivity and good resolution; requires access to only one side, permanent record, if needed	Requires acoustic coupling to surface; reference standard required; highly dependent upon operator skill; relative insensitivity to laminar flaws which are parallel to the sound beam

Table I-1 (Cont'd)

Method	Properties Sensed or Measured	Typical Discontinuities Detected	Representative Applications	Advantages	Limitations
Sonic examination	Changes in acoustic impedance	Disbands, delaminations, cracks, or voids	Laminated structures; honeycomb; small parts	Simple to implement; readily automated; portable	Geometry sensitive; poor definition
Ultrasonic holography	Same as ultrasonic examination	Used primarily for evaluation of discontinuities detected by other methods	Examination of a limited region of the structure in each image	Produces a viewable image of discontinuities	Cost; limited to small regions of the structure; poor definition compared to radiography
Infrared testing	Surface temperature; anomalies in thermal conductivity or surface emissivity, or both	Voids or disbands in non-metallics; location of hot or cold spots in thermally active assemblies	Laminated structures; honeycomb; electric and electronic circuits; insulated structures; refractory-lined structures and machinery	Produces a viewable thermal map	Cost; difficult to control surface emissivity; poor definition
Strain gages	Mechanical strains	Not used for detection of discontinuities	Stress-strain analysis of most materials	Low cost; reliable	Insensitive to preexisting strains; small area coverage; requires bonding to surface
Brittle coatings	Mechanical strains	Not commonly used for detection of discontinuities	Stress-strain analysis of most materials	Low cost; produces large area map of strain field	Insensitive to preexisting strains
Optical holography	Mechanical strains	Disbands; delaminations; plastic deformation	Honeycomb; composite structure; ties; precision parts such as bearing elements	Extremely sensitive, produces a map of strain field; permanent record, if needed	Cost; complexity; requires considerable skill
Acoustic emission	Stress wave energy generated by growing flaws, areas of high stress, leaks	Cracks, structural anomalies, leaks, also delamination, fiber fracture, and matrix failure in composite materials	Crack detection and location during proof testing crack propagation, composite, structures, metal structures, rotating equipment	100% volumetric examination in real time, complicated geometries, very high sensitivity, permanent record, accurate flaw location	Structure must be loaded, to a higher level than previous service loadings, sensors must be in contact with structure

ASME PCC-2-2008

Part 5 — Article 5.2, Mandatory Appendix I