

Melhoramento do projeto e fabricação de tampo duplamente revestido utilizado em vaso de pressão

IMPROVEMENT IN THE DESIGN OF MANUFACTURE OF BI-CLADDING PRESSURE VESSEL

Antonio Carlos Tonini
Universidade de Taubaté
Departamento de Engenharia Mecânica
Ricardo Silva
Marcelo Antonio dos Santos
José Elias Tomazini
Flávio A. S. A. Souza
Universidade do Estado de São Paulo
Faculdade de Engenharia, Campus Guaratinguetá
Departamento de Mecânica

RESUMO

Processos de tratamento de refino de Petróleo têm invariavelmente enfrentado problemas tecnológicos quando relacionados à processos de corrosão de seus revestimentos internos protetivos de seus equipamentos. Especificações adequadas devem ser previstas de modo a eliminar o risco de deterioração dos equipamentos, pelo produto do meio do processo. Observou-se na geração continua destes projetos, que dois equipamentos dimensionalmente idênticos e obedecendo aos mesmos requisitos de projeto, são fabricados individualmente, para atender variações de resistência à corrosão de meios diferentes. Então, a possibilidade da fabricação de um único componente, que possa operar simultaneamente com dois meios de processos distintos, é um atrativo técnico-econômico poderoso que não pode ser desprezado. Através de uma barreira, tecnologicamente adequada, separando estes meios em uma mesma coluna, obtêm-se a segurança da garantia de corrosão para cada um dos revestimentos requeridos nos meios específicos de trabalho. Acreditamos que esta filosofia baseada nesta tecnologia deva ditar uma nova tendência de projeto, quando os critérios de projeto se equivalerem. Portanto, o objetivo deste trabalho, é descrever os aspectos tecnológicos da fabricação de uma câmara de separação (tampo semi-elíptico) dentro de uma coluna de destilação de petróleo, capaz de atender simultaneamente os requisitos de corrosão do Grau 316-L e 317-L dos meios de processo envolvidos. Neste método, uma chapa de aço C-Mn (ASME-SA-516-60) com finalidade estrutural, é adquirida com um dos revestimen-

tos pronto, resultante da colaminação direta do revestimento austenítico 316-L, com o aço-carbono. A superfície oposta requerendo o recobrimento com o grau 317-L obtêm-se pela deposição manual com arame tubular (FCAW) na composição requerida. Desde que se trata de um revestimento, a composição final em 317-L, somente é ajustada através da deposição prévia de uma camada (3mm) por FCAW de E-309-MoL. O processo deve ser acompanhado por um dispositivo especial, capaz de fixar e minimizar o empenamento da chapa, durante o revestimento por arco-elétrico. O resultado final é uma chapa em aço estrutural revestida em ambas as faces, por dois graus diferentes de aços inoxidáveis austeníticos.

PALAVRAS-CHAVE

Revestimento. Tampo. Vaso de pressão. Corrosão. Soldagem.

ABSTRACT

Treatment processes of a refinery petroleum plant have invariably been facing technological problems when related to processes of corrosion of their protective internal coverings of their appropriate equipments. Specifications should be foreseen from way to eliminate the risk of deterioration of the equipments, due to the product of the process Media individually. It was observed in the continues generation of these projects, that two identical dimensionally equipments and obeying the same project requirements, are individually manufactured, to assist resistance variations to the corrosion for

different media. Then, the possibility of the production of a single component that could operate simultaneously with two of different processes medias should be a powerful technician-economical attraction that cannot be denied. By the use of a technologically appropriate barrier, separating these medias in a same column, we are obtained the safety of the corrosion warranty for each one of the coverings requested in the specific ways of the equipment operation. We believe that this philosophy supported by this kind of technology, shall dictate a new project tendency, when the project criteria are equal themselves. Therefore, the objective of this work, is to describe the technological aspects of the manufacturing and design of a separation chamber (a semi-elliptic head) inside of a distillation petroleum column, capable to assist the requirements of corrosion of the grades 316-L and 317-L of the process medias actuating simultaneously. In this method, a C-Mn steel plate (ASME-SA-516-60) with structural purpose, is acquired with one of the protective surface covered already (Cladding), as a result of the direct co lamination of the austenitic 316L (3mm thick) covering grade with the carbon-steel. The opposite surface requesting the other corrosion resistive covering, are obtained by the manual deposition with FCAW of that requested composition grade ER317-L. Since the results is a cladding, the final composition in 317-L, is only adjusted through the previous deposition of one layer (3mm) of ER-309-MoL. The process is accompanied by a special device (Jig) , capable to hold tight/fasten the plate against it , in other to minimize the warping of the plate, during the covering process by electric-arch. The final result is a sandwich, (bi-cladding) of a structural steel, by two different grades of stainless-steel.

KEYWORDS

Bi-cladding Head Pressure Vessel Corrosion, Welding Deposition.

INTRODUÇÃO

A indústria petroquímica tem incessantemente apresentado inovações e avanços tecnológicos na área de refino e beneficiamento do petróleo e seus derivados, objetivando a melhoria do rendimento térmico do processo, redução das dimensões dos equipamentos, redução de espaço físico e naturalmente, o custo do projeto como um todo.

Aços-inoxidáveis da série 300 (portanto austeníticos) são largamente utilizados na construção de torres para

refino, dutos para transporte do petróleo, rotor de bombas, etc. Eles apresentam excelente

comportamento contra corrosão, na maioria dos meios de processo encontrados nas plantas de refinaria.

O processamento do petróleo cru e a obtenção de seus sub-produtos nas destilarias, geram diferentes derivados, óleo, querosene, gasolina, gases, etc, os quais produzem em processamento, armazenamento e transporte, diferentes comportamentos sob o aspecto de corrosão nos materiais metálicos. Não é o objetivo deste trabalho, discutir a natureza e os mecanismos de ataque e decomposição destes materiais.

Ao longo de décadas de estudo em laboratório de corrosão e da experiência de campo, tem-se observado que os aços Inoxidáveis Austeníticos da série 300, atendem a maioria das necessidades destes compostos orgânicos. Entretanto variações de composição dentro da série 300 são requeridas (347, 321, 310, 316, 317,309), para condições específicas do processo.

Os equipamentos podem ser construídos na sua totalidade, de aços nesta série 300. Nas últimas duas décadas; o emprego de chapas com qualidade estrutural (aços ao carbono) com revestimento contra corrosão em uma das suas superfícies conhecidas como chapas revestidas por colaminação ou explosão, minimiza os custos de fabricação. Usualmente, não mais do que 3 mm são requeridos para garantir a vida útil do componente. Em muitos casos, o critério de espessura mínima de projeto do componente, é garantido com chapas de menor espessura em aço carbono. Deve-se observar que a espessura do revestimento protetivo das chapas não é incluída no cálculo estrutural. Fabricantes de chapas revestidas não fornecem até este momento, ambas as faces do aço carbono estrutural, com revestimento.

Portanto, o objetivo deste trabalho, foi o de desenvolver uma tecnologia, capaz de promover o revestimento, de ambas as faces do material estrutural, gerando um material bi-revestido.

Existe no Brasil uma torre retificadora de destilado de petróleo, Figura 1, para operação em conjunto com o mesmo critério de projeto (pressão, temperatura, etc) , ou seja, num mesmo equipamento há três pequenas torres separadas apenas por tampos elípticos operando com destilado leve na parte superior da torre (T-1 inox 316L), destilado médio na parte intermediária da torre (T-2 inox 316L) e destilado pesado na parte inferior da torre (T-3 inox 317L).

O corpo do equipamento (torre) foi fabricado com chapas revestidas por colaminação, ou seja, aço-carbono do lado externo (6,3mm de espessura) revestidas de aço-inox do lado interno (3mm de espessura). Os trechos 1, 2 e 3 do equipamento são separados por tampos revestidos em ambos os lados.

O trecho 1 e 2 são separados pelo tampo TP-1, constituído em aços; SA240-316L+SA516-60+SA240-316L.

O trecho 2 e 3 são separados pelo tampo TP-2, constituído em aços; SA240-316L+SA516-60+SA240-317L.

O processo de fabricação dos tampos (TP-1, TP-2) será apresentado neste trabalho.

PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

PROCEDIMENTO - BREVE DESCRIÇÃO DO PROCESSO

Fabricação em aço Carbono estrutural de Tampos esféricos, semi-elípticos, toroidais, etc, requerendo revestimento contra, através da deposição de inoxidáveis da série 300, utilizando montagem de dispositivos e a execução de revestimento austenítico pelo processo Arame Tubular (FCAW), conforme normas de soldagem na face oposta de chapa em aço SA-516-60/70 revestida previamente por colaminação em 316L ou 317L. O processo descreve também as etapas de fixação das chapas e seus fixadores provisórios, controle de deformação durante a soldagem, remoção e pós-calibração do disco revestido, acabamento final do revestimento por usinagem, e a conformação final do componente.

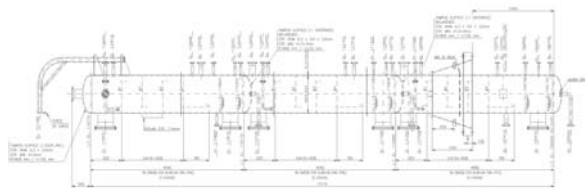


Figura 1 - Torre retificadora de destilado de petróleo

PROCESSOS DE RECOBRIMENTO

Plasma-cortar as chapas conforme plano de aproveitamento de material, considerando-se um excesso de 50mm no diâmetro final requerido para a conformação do componente.

Traçar a face original revestida por colaminação (316L/317L) em linhas de grade, com espaçamento quadrado de 100mm de passo, conforme "Tabela 1". Nos pontos das intersecções, soldar os pinos de ancoragem conforme indicado na "Tabela. 1".

As sapatas dos pinos de ancoragem devem ser do mesmo material do revestimento colaminado, conforme "Tabela 1". A união da sapata com o pino roscado, propriamente dito, deve ser em 309-L,

Tabela 1 - Pinos de fixação para soldagem de chapas revestidas por colaminação

Metal base	PINO DE ANCORAGEM		SOLDAGEM		
	Chapas de Ancoragem (30x30mm)	Estoijos	CONSUMÍVEIS LADO REVESTIMENTO COLAMINAÇÃO/ ANCORAGEM		Pinos de Ancoragem nas chapas de Ancoragem
316-L	316-L	M12x150 mm Aço-Carbono Classe 5.6	COLAMINADO	FCAW	FCAW E-309LMoT1-4 Ø1,2mm
			316-L	E-316LT1-4 Ø1,25mm	
317-L	317-L		317-L	E-317LT1-4 Ø1,25mm	

Todas as soldagens sobre o revestimento devem ser com procedimentos de soldagem qualificados,

A soldagem dos pinos de ancoragem/revestimento deve ser com a mesma composição química do revestimento através de FCAW (316L ou 317L). Se após a soldagem dos conjuntos pinos/chapas de ancoragem houver empenamentos da chapa pré-revestida, é permitida a sua pré-calibração.

É permitida a calibração a frio dos pinos de ancoragem, de modo a garantir a sua perfeita verticalidade.

Uma vez todos os pinos de ancoragem terem sido soldados, o conjunto é montado e aparafusado sobre o dispositivo indicado na Figura 2. O torque inicial de aperto de fixação da chapa deve ser suficiente somente para a eliminação das folgas de assentamento. O movimento lateral de todo o conjunto melhora o assentamento, e facilita a passagem de todos os prisioneiros através dos furos dos alojamentos na grade de soldagem.

Os cordões de solda devem ser sempre iniciados no centro das chapas e obedecer a um círculo concêntrico. Estender até que toda a superfície esteja coberta. A operação deve ser repetida para várias camadas, a fim de se obter a espessura mínima de qualificação do revestimento, neste trabalho, 5mm e sobre-metal para posterior usinagem.

É comum que durante a deposição do revestimento, a superfície do lado de ancoragem, fique submetida às altas temperaturas dos ciclos térmicos de soldagem. Ensaio mecânicos e tecnológicos nos revestimentos acabados revelaram que as propriedades mecânicas do aço estrutural e dos revestimentos, não foram afetadas pelas condições de soldabilidade.

Por precaução, as temperaturas máximas de interpassos estiveram limitadas a 100°C durante o re

vestimento. É de se mencionar, que o projeto de nosso dispositivo, colaborou naturalmente com a troca térmica no controle de temperatura.

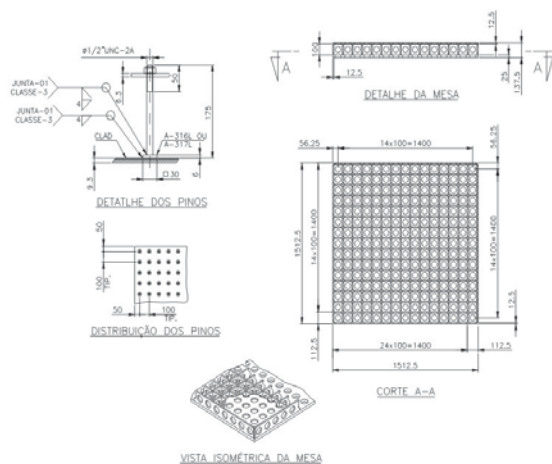


Figura 2 – Detalhe da mesa de fixação e soldagem do revestimento

Devido ao aporte térmico durante as etapas de revestimento, tanto a chapa revestida quanto o dispositivo de fixação, são levados a um empenamento (afundamento) ligeiramente acentuado na sua posição central.

A remoção da chapa após revestimento é relativamente tediosa, desde que existe um excessivo aumento do torque de aperto para o desaparafusamento, conseqüente de tensões térmicas e contração de todo o conjunto.

As quantidades de passes de revestimento a ser adotado estão especificadas na “Tabela. 2”.

Para permitir a usinagem final da face revestida da chapa a ser conformada posteriormente, o dispositivo necessita passar por desempenamento hidráulico, seguido de usinagem de sua superfície para garantia de planicidade. A chapa revestida com os pinos de ancoragem precisa voltar ao dispositivo para esta operação.

Completado as etapas finais de acabamento, as chapas provisórias de fixação, serão removidas através do esmerilhamento dos filetes de solda. Para as etapas de esmerilhamento, somente discos abrasivos à base de alumina são permitidos, não são permitidos discos à base de carbetto de silício e óxido de ferro. O esmerilhamento deve ser cuidadoso o suficiente para evitar formação de sulcos/entalhes no revestimento

por colaminação, uma técnica válida consiste na remoção completa de um dos filetes de solda entre as chapas de ancoragem e o colaminado. O cordão oposto pode ser parcialmente esmerilhado, seguido de martelamento de todo o conjunto para o seu destacamento. Uma vez todos os acessórios provisórios de fixação removidos, as superfícies resultantes, serão esmerilhadas para nível de acabamento brilhante. Regiões com mordeduras, entalhes de esmerilhamento serão reparadas, utilizando-se para cada revestimento, os consumíveis especificados na Tabela 1.

Tabela 2 - Número de passes de solda, conforme processo de revestimento adotado.

		REVESTIMENTO REQUERIDO	
PROCESSO		316-L	317-L
FCAW (TUBULAR)	E-309LMoT1-4 Ø1,25mm (UM PASSE)	E-309LMoT1-4 Ø1,25mm (UM PASSE)	E-309LMoT1-4 Ø1,25mm (UM PASSE)
	E-316LT1-4 Ø1,25mm (TRÊS PASSES) ou Ø1,60mm (DOIS PASSES)	E-317LT1-4 Ø1,25mm (TRÊS PASSES) ou Ø1,60mm (DOIS PASSES)	E-317LT1-4 Ø1,25mm (TRÊS PASSES) ou Ø1,60mm (DOIS PASSES)

CONTROLES DO PROCESSO E ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS DO REVESTIMENTO

Executar líquido penetrante, conforme normas de ensaios não-destrutivos, entre os interpasses dos cordões e no acabamento final, temperatura máxima de exame de 52°C, indicações relevantes serão reparadas.

Através da face que foi revestida por soldagem já com acabamento usinado, executar 100% de ultrassom com cabeçote normal, conforme normas de ensaios não-destrutivos e critérios de aceitação. Estender também o exame à interface por colaminação.

Nenhum descolamento do revestimento foi registrado por ultra som, devido ao uso dos pinos de fixação. Se não for possível inspecionar pelo lado depositado, executar o exame volumétrico após a remoção dos pinos de ancoragem.

Critérios de registro e aceitação para ensaios não destrutivo

Líquido penetrante. Todo revestimento (100%) Cromo-Níquel austenítico será examinado para a verificação de trincas.

Quaisquer indicações lineares tais como: mordeduras, falta de penetração, trincas; serão totalmente reparadas e eliminadas.

Ultra som. Examinar volumetricamente 100% do revestimento. Registrar e reparar toda indicação com perda total do eco de fundo contida em um diâmetro

± 25mm.

Condição final de acabamento

A espessura total a ser depositada será de 10mm para o FCAW; obedecendo-se os critérios de números de passes da Tabela 2.

As placas já revestidas deverão ser usinadas para obtenção de planicidade e acabamento final melhor que 6,5 Ra(mm), obedecendo-se a seguinte dimensão final de espessura do cladding FCAW: 6,0mm

Usinar a face revestida com ao auxílio do dispositivo de soldagem.

Esta espessura corresponde àquela requerida para rebordeamento / conformação final dos tampos.

Conformação final dos tampos (seqüência de figuras 9 a 18)

Os discos a serem conformados serão oxicutados no diâmetro de 1230 mm.

Os tampos deverão ser conformados a frio. Deverá haver garantia de ausência de descolamentos de interface dos revestimentos (colaminado e deposição), trincas superficiais por excesso de encruamento oriundo do processo de conformação, etc; além de naturalmente, a garantia do atendimento do dimensional final do componente. As Figuras 3 a 12 mostram as principais etapas de fabricação e montagem dos tampos.



Figura 3 – Início do revestimento por soldagem



Figura 4 – Chapa em revestimento

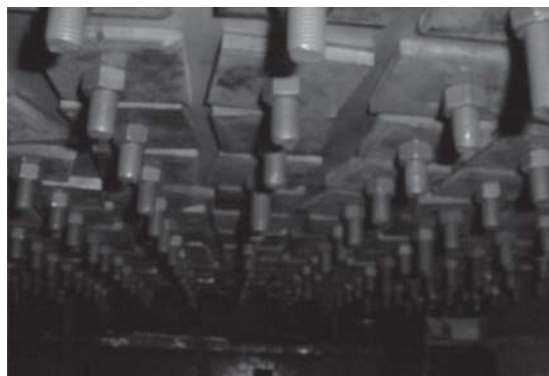


Figura 5 – Pinos de ancoragem



Figura 6 – Disco em conformação



Figura – 7 Disco em rebordeamento



Figura 8 - Tampo rebordeado



Figura 9 - Tampo em líquido penetrante



Figura 10 - Resultado do LP



Figura 11 - Tampo montado no equipamento



Figura 12 - Montagem concluída

APRESENTAÇÃO DE RESULTADOS E DISCUSSÕES

Amostra do corpo de prova (CP01 - TR), após teste de tração simulado, com espessura total; incluindo-se SA-516-Gr60 + SA-240-316L + Revestimento com FCAW 309, "Figura 13" para avaliação de plasticidade da união soldada.

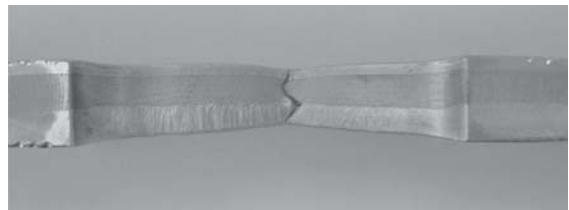


Figura 13 - Corpo de prova com espessura total para avaliação de plasticidade

Amostras do corpo de prova de tração (CP02 - TR), no qual os revestimentos por soldagem foram removidos por usinagem, "Figuras 14 e 15", revelando que as propriedades mecânicas do aço estrutural SA-516-60, foram mantidas conforme norma.

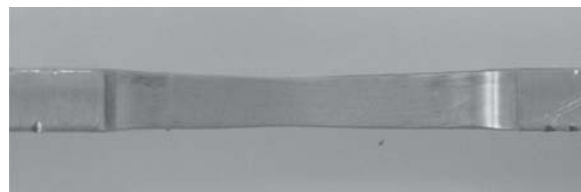


Figura 14 - Corpo de prova sem revestimento

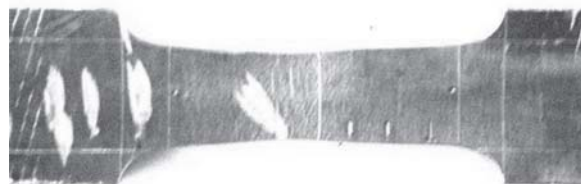


Figura 15 - Corpo de prova sem revestimento

Amostras do corpo de prova (CP03 – TR), após teste de tração, no qual todos os revestimentos (soldagem e colaminação) foram removidos por usinagem “Figura 16” para avaliação do metal base.

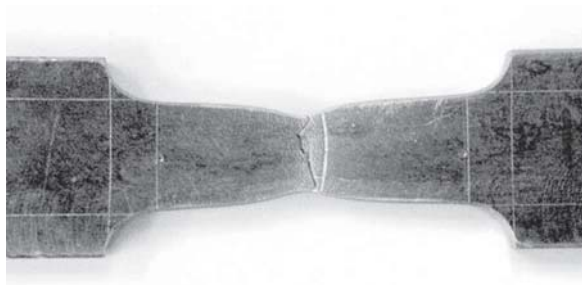


Figura 16 – Corpo de prova com revestimento totalmente removido

Amostra do corpo de prova (CP04 – DBS), após teste de dobramento, composto com SA-516-Gr60 + SA-240-316L + revestimento com FCAW 309. A amostra foi dobrada com cutelo de 50 mm de diâmetro, com o revestimento por soldagem do lado tracionado.

Mediu-se o alongamento das fibras externas até a indicação visual do início de fissuras, “Figura 17”.



Figura 17 – Corpo de prova para medida de ductilidade. Alongamento sem indicação de trincas, maior que 40%.

Amostra do corpo de prova (CP05 – DBS), após teste de dobramento, composto com SA-516-Gr60 + SA-240-316L + revestimento com FCAW 309. A amostra foi dobrada com um cutelo de 50mm de diâmetro. Nesta amostra, as interfaces de adesão dos revestimentos junto ao aço-carbono foram tracionadas em conjunto. O alongamento das fibras externas foi medido para indicação do início de fratura, “Figuras 18 e 19”

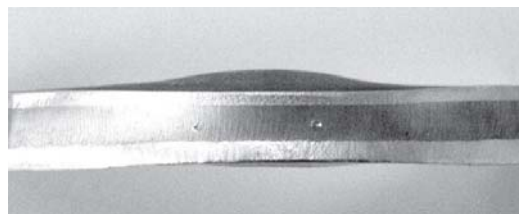


Figura 18 - Dobramento com revestimento integral.

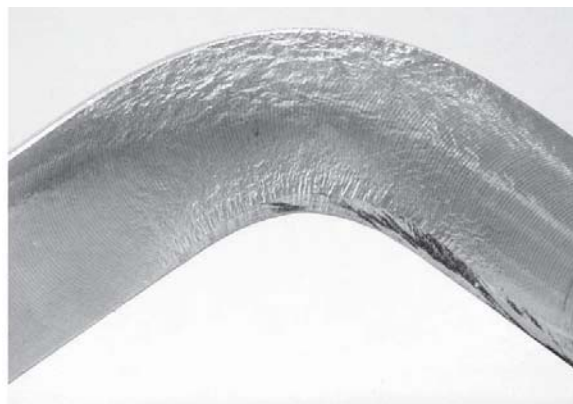


Figura 19 - Mostrando a face lateral revestida. Alongamento sem indicação de trincas, acima de 35%.

Amostra do corpo de prova para análise química, para medir os efeitos de diluição multipasses na composição química do revestimento por soldagem FCAW 309, “Figura 20”.



Figura 20 – amostra para análise química-qualificação de espessura do revestimento

Os resultados dos corpos de prova das “Figuras 13 a 19” estão representados na “Tabela 3”.

A seção transversal da “Figura 20” foi obtida do revestimento antes da extração das outras amostras para propriedades mecânicas, para observação das condições de interface. Esta placa soldada foi submetida a ensaio por ultra-som em ambos os lados da junta. Os resultados indicaram total fusão dos revestimentos. A análise química está apresentada na “Tabela 4” para o depósito em 309.

Os resultados da “Tabela 3” indicam claramente que as propriedades mecânicas para qualquer condição de ensaio, atendem plenamente as condições de projeto exigidas pelo ASME. Isto ficou bem claro no corpo de prova “Figura 16”, no qual somente o aço-carbono foi ensaiado, e as propriedades da chapa base SA-516-Gr.60 foram plenamente atendidas.

Mesmo para os corpos de prova, em que os revestimentos foram ensaiados em conjunto com o aço-carbono, os resultados foram ainda melhores, magnificados pela presença dos inoxidáveis

austeníticos. É provável que o efeito de encruamento que estes experimentam durante a deformação plástica, possam ter elevado os resultados.

Após o ensaio do depósito por soldagem simulado para o revestimento em E309-T1-4, os resultados indicam claramente que somente uma camada depositada desta camada de transição, é suficiente para preparar e servir de base para garantir a composição do grau 316L/317L requerido para os revestimentos, nas espessuras mínimas a serem qualificadas.

Tabela 3 – Propriedades Mecânicas e Tecnológicas

N.º AMOSTRA A	DIMENSÕES (mm)	PROP. MECÂNICAS / TECNOLÓGICAS			
		Limite de Resistência (MPa)	Tensão de escoamento (MPa)	Along. Frat. (%)	Along./Início de trincas (%)
		415 - 550 (Adm)	220 Mín. (Adm)	25 Mín (Adm)	NÃO (Adm)
CP01-TR	25,30x21,90	533	366	50,0	NÃO
CP02-TR	13,90x25,30	565	390	32,6	NÃO
CP03-TR	25,50x9,55	535	298	35,0	NÃO
CP04-DBS	17x70	-	-	-	40,0(Não)
CP05-DBL	70x30	-	-	-	35,0(início)

Tabela 4 – Análise Química da Soldagem

N.º Amostra: CP07 - AQ		
Cr (%)	C (%)	Ni (%)
23,0 - 25,0 (Adm)	0,12 Máx. (Adm)	12,0 - 14,0 (Adm)
22,41	0,0493	12,94
Si (%)	Mn (%)	P (%)
0,3 - 0,65 (Adm)	1,0 - 2,5 (Adm)	0,03 Máx. (Adm)
0,566	1,517	0,0169

CONCLUSÃO

Em função dos resultados obtidos neste trabalho podemos concluir:

Os tampos elípticos fabricados atenderam os requisitos de projeto, incluindo padrões dimensionais, requisitos de propriedades mecânicas, comportamento quanto às propriedades de corrosão e acabamento e critérios de ensaios não-destrutivos,

O processo de revestimento (duplo) por deposição de solda é pioneiro entre os projetos de instalações petroquímicas, sendo concluído com êxito e servindo como alvo de posteriores estudos para peças de maiores dimensões.

A obtenção de revestimento (duplo) por soldagem, vem a suprir a necessidade tecnológica de adquirir componentes com requisitos diferentes de resistência à corrosão, em lados diferentes do componente. Do

mesmo, vem descartar a necessidade de se encontrar no mercado internacional, chapas com duplo revestimento, ainda não disponível para aplicações práticas comerciais.

Após a instalação dos tampos na torre da figura 1, os mesmos foram submetidos a testes de vazamento por pressurização e comportamento mecânico (teste hidrostático), tendo sido aprovados e liberados para trabalho em campo.

Como inovação, a utilização do processo de revestimento por soldagem, pode ser largamente utilizado em projetos de vasos de pressão, estando este limitado somente aos aspectos físicos operacionais do processo, tais como tamanho da placa a ser revestida, dispositivos, etc.

REFERÊNCIAS

_____.ASME VIII: Rules for Construction of Pressure Vessel. [S.I]:2001.

_____.ASME IX: Rules for Construction of Pressure Vessel. [S.I]: 2001.

_____.ASME II: Rules for Construction of Pressure Vessel. [S.I]: 2001. Part A

_____.ASME V: Rules for Construction of Pressure Vessel. [S.I]: 2001.

_____.N-268D: fabricação de vasos de pressão. [S.I]: 1997.

.

_____.N-253H: projeto de vasos de pressão. [S.I]: 1999.

_____.N-1707A: projeto e fabricação de vaso de pressão e revestimento com aço inoxidável. [S.I]: 1999.

Petrobrás, N-133]: soldagem. [S.I]: 1995.

_____.N-1596D: ensaio não-destrutivo – líquido permanente. [S.I]: 1996.

_____.N-1859D: consumível de soldagem com propriedade assegurada. [S.I]: 1996.

_____.A578: standard specification for straight-beam ultrasonic examination of plain and clad steel plates for special applications. [S.I]: 2002.

ASTM A240, 2000. American Society for Testing Materials, Standard Specification for Heat-Resisting Chromium and Chromium-Nickel Stainless Steel Plate, Sheet, and Strip for Pressure Vessels.