

DESENVOLVIMENTO DO AÇO INOXIDÁVEL AISI 347/347H NA APERAM SOUTH AMERICA¹

Joner Oliveira Alves²
José Antônio Nunes de Carvalho³
Tarcísio Reis de Oliveira⁴
Ricardo Augusto Faria⁵

Resumo

As condições de trabalho das novas fontes de petróleo descobertas na costa brasileira demandam equipamentos e tubulações produzidos com aços especiais. Com o intuito de atender ao aumento desta demanda, evitando importação, a Aperam South America decidiu fabricar as ligas AISI 310, 317, 347 e Duplex. Este trabalho apresenta o processo de desenvolvimento do aço inoxidável ACE P347A, uma liga que atende as normas internacionais AISI 347 e 347H. A estabilização com nióbio garante a resistência à corrosão em temperaturas elevadas desta liga. Entretanto, esta condição leva a uma baixa mobilidade atômica, acarretando em grãos ultrafinos. Experimentos realizados no Centro de Pesquisa guiaram medidas industriais, como a adequação da composição química e alteração do tratamento térmico. Atualmente, a produção do P347A na Aperam está consolidada. A usina de Timóteo pode fornecer este aço na forma de chapas ou bobinas. Os principais clientes são os fabricantes de tubulações para a Petrobras.

Palavras-chave: Aço inoxidável; AISI 347; Nióbio; Corrosão intergranular.

DEVELOPMENT OF THE STAINLESS STEEL AISI 347/347H IN THE APERAM SOUTH AMERICA

Abstract

The environmental conditions of the new oil sources discovered in the Brazilian coast require equipments and pipes produced with special steels. In order to reach the customers' necessities, avoiding importation, Aperam South America decided to produce the alloys AISI 310, 317, 347 and Duplex. This work presents the development process of the ACE P347A stainless steel, which is according to AISI 347 and 347H international standards. The stabilization with niobium ensures the corrosion resistance in high temperatures of this alloy. However, this condition leads to a low atomic mobility, causing ultrafine grains. Experiments conducted at Research Center guided the industrial developments, as the chemical composition adequation and alterations in the heat treatment. Currently, the production of P347A at Aperam is consolidated. Timóteo mill can provide this steel in the form of plates or coils, which the main customers are the pipes manufacturers for Petrobras.

Key words: Stainless steel; AISI 347; Niobium; Intergranular corrosion.

¹ Contribuição técnica ao 67º Congresso ABM - Internacional, 31 de julho a 3 de agosto de 2012, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

² Dr. Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Pesquisador, Centro de Pesquisa, Aperam South America, Brasil.

³ Mestre em Engenharia Metalúrgica, Consultor Técnico, Select Consultant.

⁴ Dr. Ciência e Engenharia de Materiais, Coordenador de Pesquisas em Inox, Centro de Pesquisa, Aperam South America, Brasil.

⁵ Doutor em Engenharia de Materiais, Engenheiro Metalúrgico, Depto. de Metalurgia do Inox, Aperam South America, Brasil.

1 INTRODUÇÃO

A Petrobras, recentemente, anunciou a maior descoberta de petróleo na costa brasileira, em uma camada pré-sal localizada entre os estados de Santa Catarina e Espírito Santo, onde os maiores volumes de petróleo foram encontrados. O termo “pré-sal” provém da origem desta camada, uma camada rochosa localizada sob uma extensa camada de sal que, em certas áreas da costa, pode atingir cerca de 2.000 m de espessura. A profundidade total da camada rochosa, ou seja, a distância entre a superfície do mar e os reservatórios de petróleo sob a camada de sal, pode chegar a 7.000 m.^(1,2) O eminente crescimento do setor petrolífero brasileiro em função dos investimentos na extração do pré-sal aumenta o potencial de mercado de equipamentos e tubulações em aço.

As novas condições de ambiente do pré-sal demandam equipamentos e tubulações produzidos com aços especiais, que suportem condições de trabalho com corrosão, temperaturas e pressões elevadas. Com o intuito de atender ao aumento da demanda por ligas com tais características, evitando importação, a Aperam South America decidiu fabricar os aços AISI 310, 317, 347 e Duplex (UNS S32205 e S32304). Visando a produção destes aços na usina de Timóteo, projetos de pesquisa foram estabelecidos para cada liga. Este trabalho tem como objetivo expor o processo de desenvolvimento e consolidação do aço inoxidável ACE P347A, uma liga que atende as normas internacionais para AISI 347 e 347H.

Os aços inoxidáveis possuem amplo mercado consumidor devido à sinergia entre suas diferentes propriedades e aplicações. Entre as principais qualidades deste material estão a excelente resistência à ação de meios oxidantes, propriedades mecânicas que permitem seu uso em um grande número de projetos e uma aparência superficial que o faz adequado em aplicações onde a estética é importante.^(3,4) A liga inoxidável P347A foi desenvolvida visando atender principalmente a área de refino, como tubulações de transporte do petróleo. Sendo assim, as principais aplicações concentram nos clientes produtores de tubos para este segmento.

O ACE P347A é um aço inoxidável austenítico estabilizado ao nióbio que possui como principal característica a resistência à corrosão em temperaturas elevadas. Quando submetidos a temperaturas na faixa de 450°C-900°C, alguns aços tendem a formar precipitado de carboneto de cromo na região do contorno de grão deixando o material susceptível à corrosão intergranular. A estabilização com nióbio inibe a formação do carboneto de cromo, e conseqüentemente aumenta a resistência contra este tipo de corrosão.^(5,6) O aço inox 347 possui excelente soldabilidade, característica comum aos aços austeníticos, além de elevada resistência mecânica, sendo recomendado para processos de conformação a frio. A aplicação do aço P347A está voltada principalmente para ambientes que envolvam meios corrosivos e temperaturas elevadas. Atualmente, tem sido utilizado para a fabricação de anel coletor de aeronaves, componente de motores para foguetes, coletor do sistema de exaustão de gases em automóveis, juntas de expansão e equipamentos para processamento químico em altas temperaturas.⁽⁷⁾

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Visando estabelecer a produção do aço inoxidável P347A na usina Aperam Timóteo, foi estabelecido o projeto de pesquisa “Desenvolvimento do aço inoxidável ACE P347A”. O projeto teve início em fevereiro de 2009 com ações como revisão

bibliográfica, análise de produtos similares e avaliações de amostras de concorrentes. Neste artigo estão apresentadas as principais medidas adotadas para a adequação da composição química e do processo de produção do aço inoxidável P347A.

O projeto de desenvolvimento do aço inoxidável P347A na Aperam South America foi baseado na composição química ditada pelas referências internacionais ASTM A240 e ASME SA-240.⁽⁸⁾ A Tabela 1 exibe a faixa de composição estabelecida por estas normas.

Tabela 1. Faixa de composição química do aço inoxidável 347 de acordo com as especificações ASTM A240 e ASME SA-240⁽⁸⁾

C	Mn	P	S	N ₂	Si	Cr	Ni	Nb
≤ 0,08	≤ 2,00	≤ 0,045	≤ 0,02	≤ 0,03	≤ 0,75	17,00- 19,00	9,00- 13,00	10.C min 1,0 max

As características mecânicas do P347A objetivaram os valores típicos estabelecidos pela norma ASTM E8M (apresentados na tabela 2).⁽⁹⁾ Os valores referem-se a uma amostra longitudinal ao sentido de laminação de um material recozido (corpo de prova com Lo = 50 mm).

Tabela 2. Valores típicos de propriedades mecânicas do aço inoxidável 347 de acordo com as especificações ASTM E8M⁽⁹⁾

Limite de Escoamento 0.2%	Limite de Resistência	Alongamento	Dureza
345 MPa	645 MPa	51%	87 HRB

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta seção são discutidos os pontos trabalhados durante o desenvolvimento do aço inoxidável ACE P347A na Aperam South América.⁽¹⁰⁾ As informações estão dispostas por cada área da empresa onde foi necessário um plano de ação.

3.1 Aciaria

As normas internacionais ASTM A240 e ASME SA-240 determinam para a liga AISI 347 um valor mínimo de nióbio igual a dez vezes do que o teor de carbono (%Nb ≥ %10.C), enquanto que para o AISI 347H basta um valor de oito vezes (%Nb ≥ %8.C).⁽⁸⁾ Devido ao alto custo do nióbio, a Aciaria trabalha com uma margem de erro muito estreita para este elemento, o que causa um risco de uma produção objetivada para suprir a norma AISI 347 somente atinja o padrão AISI 347H. Mesmo atingindo o valor de Nb suficiente para a inclusão como 347H, este desvio deve ser evitado, pois os principais clientes deste aço exigem o enquadramento na condição AISI 347. Sendo assim, um acompanhamento periódico para a preparação desta liga na Aciaria foi implantado.

3.2 Laminação

Testes industriais foram realizados visando à produção de chapas grossas do P347A na Aperam Timóteo. Em uma campanha realizada em maio de 2009 foram produzidas aproximadamente 140 t de chapas grossas. A partir destes testes foram produzidas duas corridas solteiras com espessuras de 9,53 mm, sendo as larguras

de 1.240 mm (originada da placa exposta na Figura 1a) e 1.540 mm (originada da placa exposta na Figura 1b).

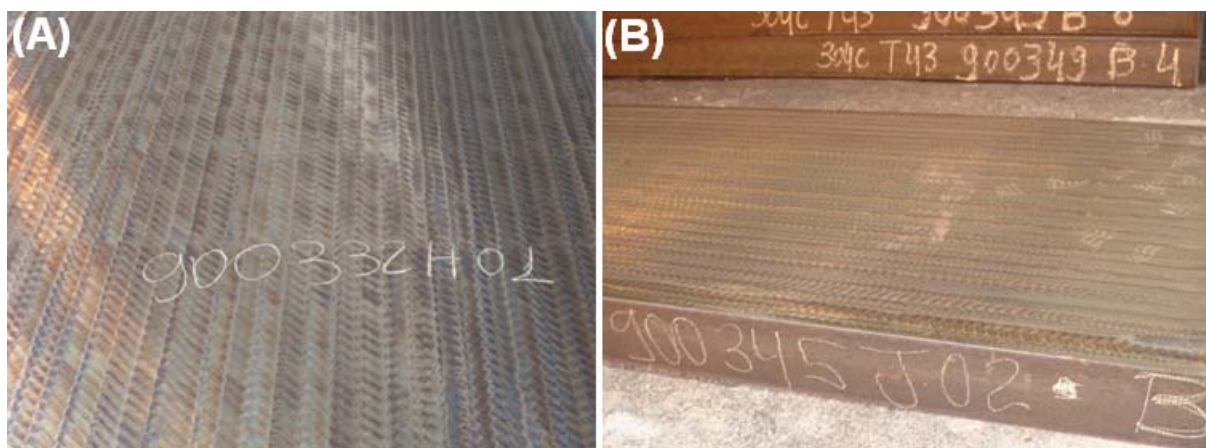


Figura 1. Placas de inox P347A produzidas durante as corridas experimentais: bitolas de (a) 1.240 mm; e (b) 1.540 mm.

O tamanho de grão (TG) influencia diretamente nas propriedades dos aços. Para o caso do P347A a demanda do mercado exige grãos com valores em torno de 7 ASTM, uma vez que a principal aplicação deste aço é a fabricação de tubos (que demanda uma alta taxa de conformação).

Dada às primeiras corridas, esta especificação não foi atingida, sendo formados grãos muito finos (ASTM 9-10). Tal fato possui explicação na ação dos precipitados e do nióbio em solução sólida. Estes influenciam diretamente nos contornos de grão do aço 347, levando a uma baixa mobilidade e, normalmente, acarretando em grãos ultrafinos. De um modo geral, pode-se dizer que foi necessário um plano de ação para forçar o crescimento de grão do P347A. Para tanto, foi necessário um ajuste no tratamento térmico realizado na área de Acabamento da Laminação a Quente.

Simulações de tratamento térmico foram realizadas no Centro de Pesquisa da Aperam visando uma avaliação do recozimento das chapas grossas de P347A na área industrial. Cinco amostras foram retiradas de uma mesma chapa e cortadas com dimensões de 40 mm x 40 mm x 9 mm. O tratamento térmico consistiu na exposição destas amostras a uma temperatura de 1.050°C em atmosfera controlada pelo fluxo de N₂. As amostras foram retiradas após os tempos de encharque de 3 min, 5 min, 8 min, 12 min e 15 minutos. A Figura 2 exibe a curva do tratamento térmico aplicado.

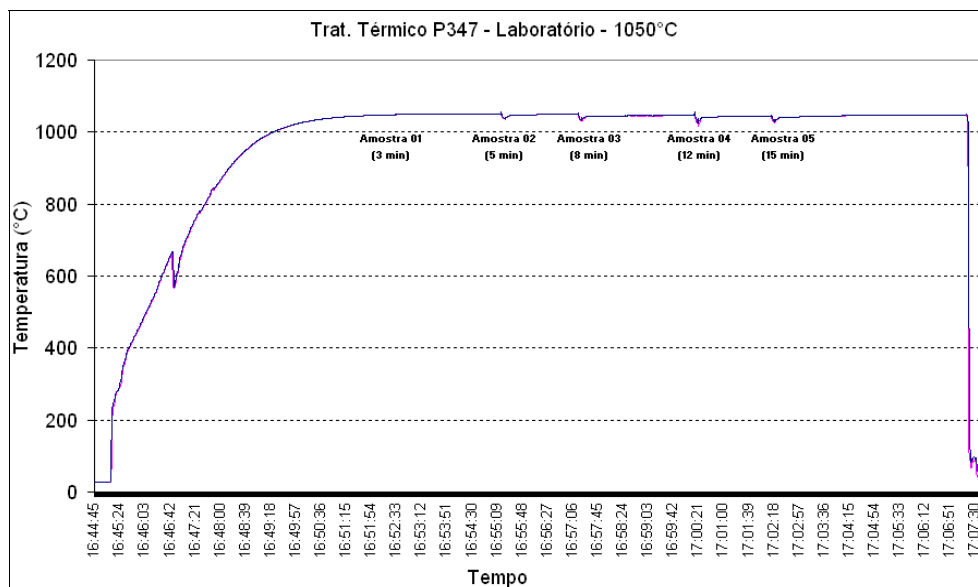


Figura 2. Curva do tratamento térmico aplicado às amostras de P347A.

Após o tratamento térmico as amostras foram submetidas a um ensaio de dureza Rockwell B, sendo os resultados expressos na Tabela 3. A amostra “00” refere-se ao material não tratado (condição de saída da chapa grossa do laminador a quente).

Tabela 3. Dureza média das amostras do P347A pós-tratamento térmico

Nº da amostra	Encharque (min)	Dureza (HRB)
00	---	98,5
01	3	89,5
02	5	88,0
03	8	87,0
04	12	86,0
05	15	85,0

Os resultados apontaram que o maior tempo de encharque reduziu a dureza do material em até 4,5 HRB (quando comparados os encharques de 3 min e 15 min). Realizando uma comparação entre os valores de dureza da amostra não-tratada e das amostras pós-tratamento evidencia-se a redução da dureza de 9% a 14% (para tempos de encharque de 3 min e 15 min respectivamente).

Extrapolados os resultados para a área industrial, foi realizado o ajuste no tratamento térmico na área industrial, tendo sido adotado, para uma chapa grossa de 9,6 mm, uma temperatura de material de aproximadamente 1.100°C e tempo total de forno de 23 min. Como resultado, obteve-se um aumento do tamanho de grão para em torno de 7 ASTM. A Figura 3 exhibe as microestruturas formadas na borda e meio das chapas. Os pontos escuros apresentados nas microestruturas referem-se à formação de ferrita delta, uma inerência do processo que não afeta as propriedades do material.

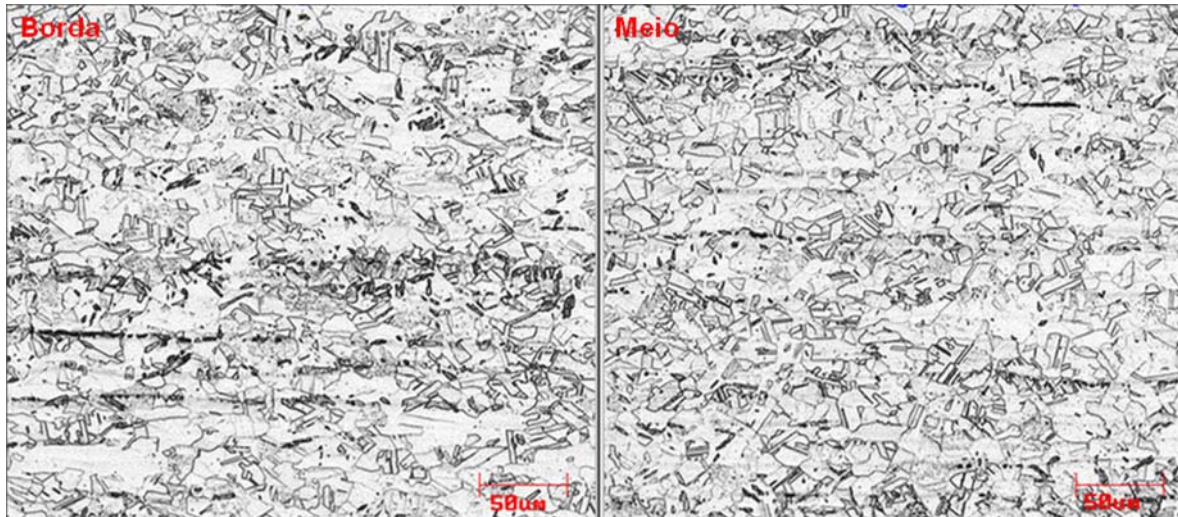


Figura 3. Microestruturas formadas na borda e meio das chapas de P347A após ajuste no recozimento da PLQA.

3.3 Aplicação Final

Visando uma verificação do produto final, foi realizado um estudo da condição de soldabilidade do aço inoxidável AISI 347 após tratamento térmico de solubilização com temperatura de 1.075°C.⁽¹¹⁾ Para tanto, foram avaliadas juntas soldadas de tubos com $\Phi 16'' \times 9,53$ mm enviados por uma empresa parceira (Figura 4).

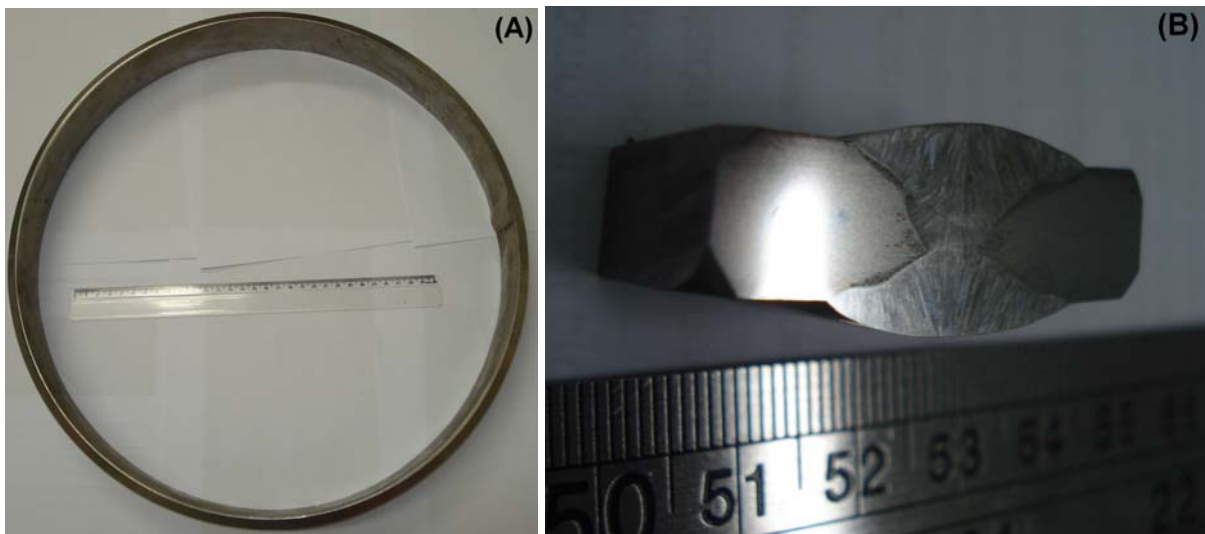


Figura 4. Amostras analisadas: (a) tubo; e (b) junta soldada.

As principais conclusões obtidas neste estudo foram:

- a condição de soldagem do tubo de $\Phi 16'' \times 9,53$ mm é adequada, não tendo sido observadas falhas do tipo falta de fusão ou de penetração;
- a quantidade de ferrita delta está abaixo do comumente visto para o aço tradicional 304, tanto no metal base quanto na zona fundida. O teor de nióbio apresentou-se inferior, porém próximo, ao limite mínimo da faixa de tolerância;
- a microestrutura das três regiões da ZAC apresentaram boa qualidade, não tendo sido observada sensitização no material (Figura 5). O tamanho de grão comparativo verificado foi ASTM 6-8 na ZAC e ASTM 7-8 no metal base;

- o valor de dureza em torno de 87 HRB está de acordo com o observado na literatura,⁽⁶⁾ indicando uma condição de tratamento térmico satisfatória.

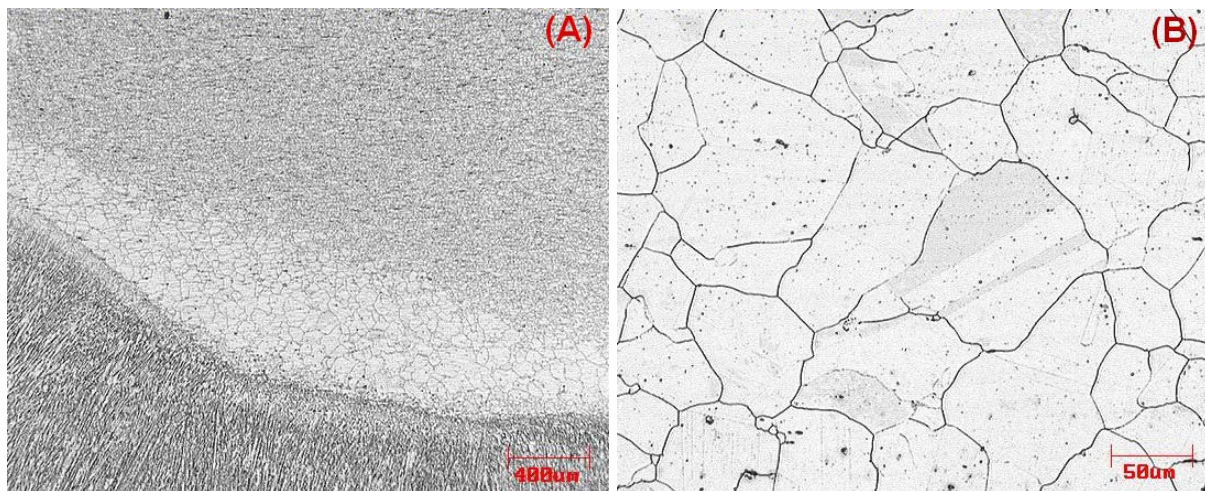
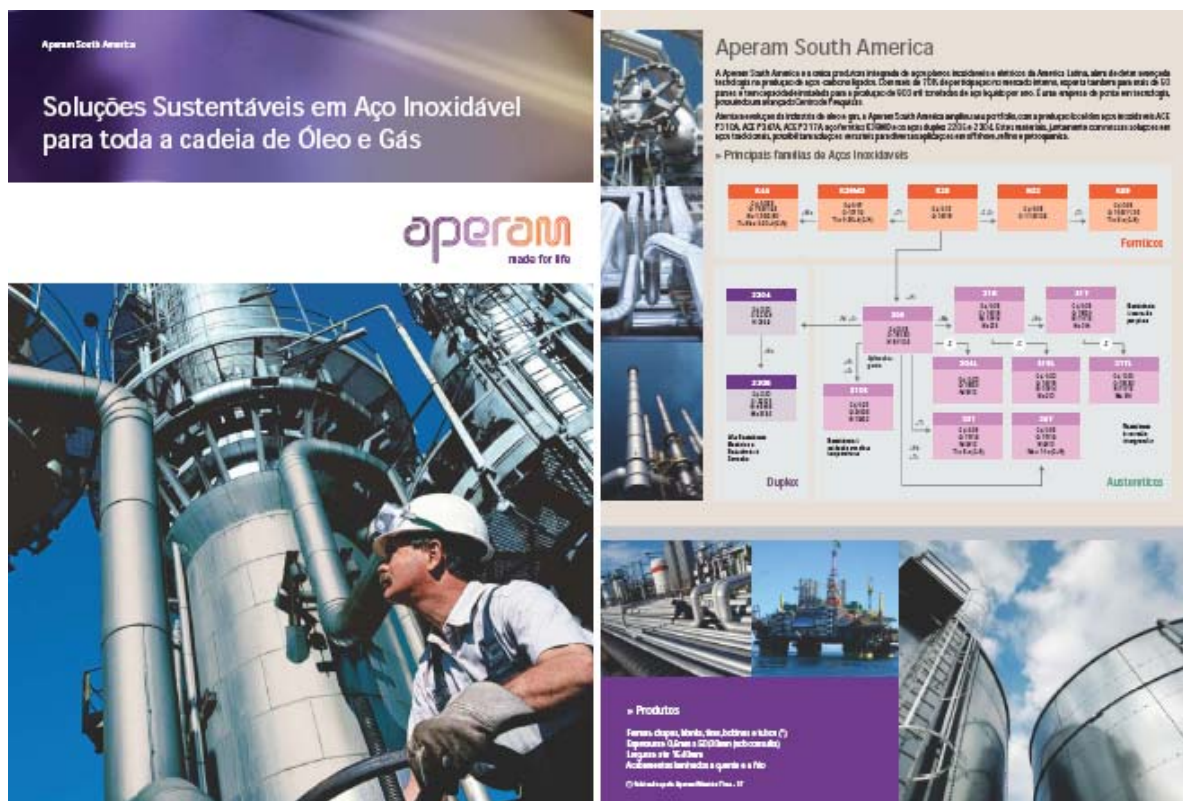


Figura 5. Microestrutura da junta soldada: interseção entre a zona afetada pelo calor e o metal base (s), e detalhe da ZAC (s) - ataque com ácido oxálico.

3.4 Desenvolvimento de Mercado

Visando a consolidação do aço P347A junto aos clientes, foram tomadas medidas de marketing técnico baseadas em:

- implementação da ficha técnica deste aço;
- participações em feiras e congressos; e
- inclusão no catálogo de óleo e gás, criado para atender ao mercado petrolífero (a Figura 6 exibe parte deste catálogo).



Aperam South America

Soluções Sustentáveis em Aço Inoxidável para toda a cadeia de Óleo e Gás

Aperam
made for life

Aperam South America
A Aperam South America é a única produtora integrada de aços inoxidáveis e alumínio da América Latina, além de deter tecnologia exclusiva na produção de aços carbono ligados. Com mais de 700 dias de operação ininterrupta, nossa capacidade para está de 500 para 6 milhões de toneladas para a produção de 600 mil toneladas de aço líquido por ano. É uma empresa de ponta em tecnologia, inovação e sustentabilidade. Conheça o mundo da Aperam em www.aperam.com

Além das vendas de tecnologia de aço inoxidável, a Aperam South America também atua na produção localizada de aços inoxidáveis ACE P310L, ACE P347A, ACE P317A e aços inoxidáveis E309MO em aço duplex 2205 e 2204. Estas instalações, juntamente com nossos produtos e serviços tradicionais, podem fornecer soluções necessárias para diversas aplicações em refinarias, indústria e petroquímica.

Principais famílias de Aços Inoxidáveis

Família	Grado	Descrição
Ferritic	430	18% Cr, 0,02% C, 0,001% S, 0,0005% N
	439	18,5% Cr, 0,02% C, 0,001% S, 0,0005% N
	444	19% Cr, 0,02% C, 0,001% S, 0,0005% N
	446	19,5% Cr, 0,02% C, 0,001% S, 0,0005% N
	447	20% Cr, 0,02% C, 0,001% S, 0,0005% N
Duplex	2204	22% Cr, 5% Ni, 0,02% C, 0,001% S, 0,0005% N
	2205	22% Cr, 5% Ni, 0,02% C, 0,001% S, 0,0005% N
	2207	24% Cr, 7% Ni, 0,02% C, 0,001% S, 0,0005% N
	2304	23% Cr, 4% Ni, 0,02% C, 0,001% S, 0,0005% N
	2306	23% Cr, 4% Ni, 0,02% C, 0,001% S, 0,0005% N
	2308	23% Cr, 4% Ni, 0,02% C, 0,001% S, 0,0005% N
	2311	23% Cr, 4% Ni, 0,02% C, 0,001% S, 0,0005% N
	2312	23% Cr, 4% Ni, 0,02% C, 0,001% S, 0,0005% N
	2313	23% Cr, 4% Ni, 0,02% C, 0,001% S, 0,0005% N
	2314	23% Cr, 4% Ni, 0,02% C, 0,001% S, 0,0005% N
Austenitic	304	18% Cr, 8% Ni, 0,02% C, 0,001% S, 0,0005% N
	304L	18% Cr, 8% Ni, 0,025% C, 0,001% S, 0,0005% N
	309	23% Cr, 12% Ni, 0,02% C, 0,001% S, 0,0005% N
	309S	23% Cr, 12% Ni, 0,025% C, 0,001% S, 0,0005% N
	316	16% Cr, 10% Ni, 0,02% C, 0,001% S, 0,0005% N
	316L	16% Cr, 10% Ni, 0,025% C, 0,001% S, 0,0005% N
	317	18% Cr, 12% Ni, 0,02% C, 0,001% S, 0,0005% N
	317L	18% Cr, 12% Ni, 0,025% C, 0,001% S, 0,0005% N
	321	18% Cr, 10% Ni, 0,02% C, 0,001% S, 0,0005% N
	321H	18% Cr, 10% Ni, 0,025% C, 0,001% S, 0,0005% N

Produtos

Ferramentas, chapas, tubos, fios, tubos e tubos (T)
Componentes (tubos e cilindros) injetados
Ligas e oxi-álumina
Acabamentos mecânicos a quente e a frio

© Aperam South America 2012

Figura 6. Parte do catálogo desenvolvido para o setor petrolífero.

4 CONCLUSÕES

O eminente crescimento do setor petrolífero brasileiro em função dos investimentos na extração do pré-sal tendem a aumentar a demanda por aços resistentes à corrosão em altas temperaturas. A estabilização com nióbio garante esta propriedade ao aço inoxidável AISI 347, entretanto leva a uma baixa mobilidade atômica o que tende a acarretar em grãos ultrafinos. A principal aplicação deste aço é a fabricação de tubos, demandando uma alta taxa de conformação. Sendo assim, ações quanto ao tratamento térmico do ACE P347A foram necessárias para garantir grãos maiores, em torno de ASTM 7. Atualmente, a produção desta liga na Aperam South America está consolidada, a usina de Timóteo - MG fornece o ACE P347A na forma de chapas (espessuras de 4,85 mm-50,80 mm) ou bobinas laminadas a quente (espessura de 2,85 mm-6,35 mm) com larguras de 1.000 mm-1.540 mm, sendo que produtos laminados a frio são passíveis de produção mediante consulta prévia.

Agradecimentos

Os autores agradecem à empresa Schulz pela parceria desenvolvida ao longo deste projeto, bem como a todos os funcionários da Aperam South América que estiveram envolvidos no desenvolvimento do ACE P347A.

REFERÊNCIAS

- 1 PETROBRAS. Pre-salt - a new frontier. Disponível em: <<http://www.ftc.gov/os/comments/carbonworkshop/533254-00014.pdf>>. Acesso em: 10 jan. 2012.
- 2 GÉNOT, L. Source of investments. Revista Brasil Canadá, n. 21, p. 17-20, 2009.
- 3 ALVES, J. O., TENÓRIO, J. A. S. Emprego do aço inoxidável 304 para a síntese de nanotubos de carbono a partir de resíduos sólidos. In: 66º Congresso Anual da ABM, São Paulo. Anais... p. 1573-1583, 2011.
- 4 ALVES J. O., BAILO L. A. Modernização das usinas sucroalcooleiras do Nordeste. Revista CanaMix, v. 44, p. 40-41, 2012.
- 5 TAVARES, S. S. M., SOUZA, V. M., SOUZA, J. A., KINA, A. Y. Influência dos tratamentos térmicos de estabilização e solubilização na resistência à corrosão intergranular do aço inoxidável AISI 347 fundido. Tecnologia em Metalurgia e Materiais, v. 4, n. 3, p. 18-22, 2008.
- 6 ENERMAN, J., SCHWIND, M., ANDRÉN, H.O., NILSSON, J.O., WILSON, A. The evolution of primary and secondary niobium carbonitrides in AISI 347 stainless steel during anufacturing and long-term ageing. Acta Materialia, v. 54, n. 1, p. 67-76, 2006.
- 7 APERAM. Aço inoxidável: a solução perfeita para o desenvolvimento sustentável. Aperam South America, Catálogo de Produtos, 2012.
- 8 ASTM. ASTM A240 / A240M - 11b Standard specification for chromium and chromium-nickel stainless steel plate, sheet, and strip for pressure vessels and for general applications. ASTM International, West Conshohocken, PA, 2011.
- 9 ASTM. ASTM E8 / E8M - 11 Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials. ASTM International, West Conshohocken, PA, 2011.
- 10 ALVES, J. O., CARVALHO, J. A. N. Development of P347A Austenitic Stainless Steel. Technical Report, Aperam Group, 2011.
- 11 FARIA, R. A. Análise microestrutural de um tubo em aço 347 produzido pela Schulz. Relatório Técnico, Aperam South America, 2009.