

SOLDABILIDADE DE AÇO CARBONO ALONIZADO

⁽¹⁾Ramón Cortés Paredes, ⁽²⁾Sandro Alves Correa, ⁽³⁾ Danielle Bond ⁽⁴⁾Luiz G. Ramanel,
⁽⁵⁾ Andre Capra,

RESUMO

Na fabricação de novos materiais resistentes aos meios corrosivos muito agressivos, como ocorre no processo de refino do petróleo, aparecem os tubos de aço carbono revestidos com alumínio através do processo de alonização. Este aço carbono ao cromo é alonizado através de tratamento térmico a temperaturas aproximadas a 1050 °C na presença de vapor de alumínio, durante 3 horas. O presente trabalho mostra a caracterização do aço carbono ao cromo alonizado e sua soldabilidade através do processo de soldagem TIG. São apresentados os resultados da caracterização do aço alonizado através de microscopia ótica e eletrônica de varredura antes e após soldagem e os resultados dos ensaios mecânicos mostram que sua soldabilidade fica comprometida quando não é feita uma preparação específica na região onde será realizada a soldagem.

Palavras chaves: Novos materiais, aço alonizado, intermetálicos, soldabilidade aço alonizado.

WELDABILITY CARBON STEEL ALONIZATION

ABSTRACT

In the manufacture of new resistant materials to very aggressive the corrosive ways as it occurs in the process of refining of the oil, they appear the pipes of carbon chromium steel to coated with aluminum through the alonization process. This carbon chromium steel is alonization through thermal treatment the approach temperatures the 1050 °C na.presença of aluminum vapor, during 3 hours. The work shows to the characterization of the carbon chromium steel alonization and its weldability through the process of welding TIG. The results of the characterization of the alonization steel through microscopy are presented optics and electronics of sweepings before and after welding and the results of the mechanical assays show that its weldability is engaged when is not made a preparation specifies in the region where the welding will be carried through.

Key words: New materials, alonization steel, intermetallic, weldability alonization steel.

⁽¹⁾ Universidade Federal do Paraná – DEMEC; Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento - LACTEC, ramon@demec.ufpr.br.

^(2,3,4,5) Pesquisadores do Grupo de Pesquisa Soldagem Revestimentos PG-Mec UFPR.

1. INTRODUÇÃO

A indústria petroquímica tem como característica operar em ambientes altamente agressivos no que tange a corrosão nos materiais utilizados nas instalações do processo de refino do petróleo. Esta característica faz com que existam enormes prejuízos operacionais e financeiros, pois torna-se necessárias paradas freqüentes de manutenção e reparo. Principalmente porque nos últimos tempos tem-se processado em maior escala petróleos com teores mais elevados de enxofre e menores teores de oxigênio, provocando com isso um teor maior de ácidos naftênicos e H_2S [1].

Tradicionalmente, recomenda-se nestes casos a utilização de aços inoxidáveis austeníticos, porém este tipo de material possui um alto custo e são suscetíveis à sensitização e corrosão preferencial em regiões com segregação após soldagem.

Como alternativa a este tipo de material, surgiu a possibilidade da utilização de aços revestidos de alumínio (Al), o aço alonizado. Os chamados aços alonizados consistem na utilização de aços-carbono comuns e aços-liga 5% Cromo (Cr) - 0,5% Molibdênio (Mo) revestidos superficialmente de Al. Estes aços permitem um ganho significativo na resistência à vários agentes corrosivos, sendo os principais: os compostos de enxofre (S), H_2S (ácido sulfídrico), CO_2 (dióxido de carbono), ácido naftênico, ácidos graxos e ácido nítrico - NH_3 [3].

As principais vantagens são as seguintes: baixo custo relativo; não apresentam problemas de segregação e quando possui teores de Al na ordem de 10% em peso, possuem excelente resistência à corrosão [2]. Porém, este material possui um problema, e este é relacionado diretamente com sua soldabilidade: a susceptibilidade à ruptura por hidrogênio, devido a forte presença do Al. Esta susceptibilidade se deve ao fato de apesar do Al ser um elemento que facilite a “degasagem” do material, neste processo ele provoca a formação de uma camada homogênea de alumina (Al_2O_3) em sua superfície, sendo esta de grande densidade e permeabilidade próxima de zero, retém a passagem do hidrogênio (H), mantendo-o na estrutura do material.

Para a proteção total do substrato, a liga Fe-Al tem de agir como uma barreira contra a corrosão na superfície da liga. A proteção é pela formação de uma fina camada superficial de alumina (Al_2O_3), protegendo completamente o substrato em qualquer temperatura. A formação desta fase é possível quando se aumenta o teor de Al acima de 7,5% em peso. Os mecanismos de proteção são por barreira da alumina e pela formação de intermetálicos FeAl, que ocorre pela difusão de Al no aço. Isto permite a não ocorrência de sulfatização interna na liga.

Segundo Banovic [4]) a liga Fe-Al passa por três estágios distintos em relação à proteção à corrosão (vide figura 1). Também Banovic comenta que para ligas com até 7,5% de Al em peso observou-se que a camada de proteção superficial é susceptível de trincar e que após sua ocorrência não são passíveis de recuperação, portanto, com estes teores não se pode considerar que haja uma proteção completa. Estas trincas permitem a difusão de sulfetos através da camada de alumina. Esta difusão de sulfetos provoca uma rápida produção de produtos de corrosão, dentre eles o sulfeto de ferro. Enquanto ocorre uma difusão de sulfetos na direção ao interior do material a difusão de ferro ocorre no sentido inverso.

Para ligas com teor de Al abaixo de 5% a formação de alumina superficial não ocorre de maneira a proteger toda a superfície do material, e portanto, não há proteção alguma, este mecanismo se chama “steady-state”.

Os estudos realizados [5] com este tipo de material tendem a apresentar bons resultados no aspecto de resistência à corrosão, porém uma grande dificuldade pode ocorrer. Esta dificuldade se refere à soldabilidade do material empregado, onde aço C Cr Mo revestido de Al apresenta na interface alumínio/aço, solução sólida de Fe e Al e diversos tipos de intermetálicos FeAl, onde muitos deles são frágeis. Com isso, os aços alonizados tornam-se muito susceptíveis à trincas na região da solda e conseqüentemente a uma possível falha estrutural. Este tema é o objetivo deste trabalho, avaliar a soldabilidade do material e estabelecer premissas para a definição de um processo de soldagem eficiente.

1.1. Soldabilidade de aços 5% Cr

Os aços ao Cr são utilizados em altas temperaturas, sendo que para melhorar esta propriedade adiciona-se 0,5 - 1% Mo. Estes são conhecidos como aços CrMo e possuem propriedades, como boa resistência à oxidação e corrosão e para trabalhos em altas temperaturas.

Dado que os aços CrMo são temperáveis ao ar, recomenda-se que o teor de C não ultrapasse 0,10%, e para a soldagem é recomendado a realização de pré-aquecimento, controle da temperatura de interpasse e tratamento térmico de pós-aquecimento. Sendo que as variáveis para a definição da temperatura de pré-aquecimento são: a composição do metal aporte, o desenho da junta e o processo de soldagem empregado.

Dois tipos de metal de aporte podem ser utilizados, o próprio aço Cr, ou um metal de aporte austenítico, que é o mais recomendado. Por exemplo, o tipo AISI 310, que possui alto teor de níquel (Ni). Produz uma linha de fusão austenítica que se compara em dutilidade ao metal base [CrMo], porém devido ao alto teor de carbono (C), há uma tendência de fragilização da ZTA.

Quando utilizamos o processo de soldagem GTAW (TIG) usa-se preferencialmente corrente CC⁻ e como gás de proteção He e Ar, individualmente ou combinados. No processo de soldagem GMAW (MIG) usa-se preferencialmente corrente CC⁺, pequena adição de CO₂ ou oxigênio no argônio. Aplicando-se o arco com transferência por curto-circuito e metal aporte austenítico, temos uma baixa taxa de diluição (10%), mesmo com baixo aporte térmico. De acordo com a literatura, para a soldagem dos aços alonizados, são utilizados os eletrodos indicados na tabela 1 [5].

1.2. Recomendações para soldagem de aços alonizados

Para preparar o aço alonizado para soldagem, devemos manter a interface de soldagem livre de alumínio, sempre utilizar um passe de raiz pelo processo TIG com metal aporte de composição resistente à corrosão e utilizar um anel interno com anteparo [6]. A preparação da junta soldada mantendo a interface de soldagem livre de Al evita a difusão de Al para a poça de fusão e para o metal de base [7].

Segundo Lorentz [8], deve-se utilizar metal aporte com teor de Al menor que 1%, ou do tipo ER316 ou 317, além de evitar presença de Al na interface de soldagem, removendo a camada externa de Al na região de solda.

Os problemas à contornar durante o processo de soldagem são: porosidade, trincas, incorporação do Al na região soldada, manter a ductilidade, evitar a deterioração da camada de Al ao longo da zona de soldagem. Sendo que o teor máximo de Al no metal base [CrMo] para obter uma soldabilidade satisfatória é de 10% [3].

2. MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia aplicada neste trabalho consiste em uma comparação direta entre as propriedades do metal base e as propriedades de duas juntas soldadas com diferentes procedimentos – Solda I (atualmente em uso) e Solda II (proposto neste trabalho).

Os parâmetros de soldagem para a **Solda I**, estão descritos na tabela 2 e para a **Solda II** na tabela 3. Na figura 2 é apresentado esquematicamente a diferença de preparação da junta de soldagem pelo procedimento Solda I (a) e para a Solda II (b).

Como nosso trabalho é voltado para a soldabilidade do material, e esta é relacionada diretamente com suas propriedades mecânicas, portanto, serão utilizados como elementos de comparação: a resistência à tração, a tenacidade, a microestrutura, e a composição química.

O desenho do chanfro para a preparação da junta **Solda II** está esquematizado na figura 2b, conforme mostra esta figura, a camada rica em Al, teor de Al superior a 5% em massa, é eliminada da região de solda por usinagem.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Técnica de soldagem

Na figura 3 observa-se o tubo de aço CrMo alonizado, soldado através do processo TIG com os eletrodos de aço carbono AWS 502 e do AWS 317.

3.2. Caracterização do aço alonizado

Na tabela 4 encontram-se os resultados da análise química feita sobre amostra retirada do tubo de aço alonizado, e na tabela 5 as propriedades mecânicas.

Na Figura 4 (a e b) mostra a microestrutura típica de um aço CrMo com estrutura ferrítica, onde a difusão do Al na temperatura de tratamento (930 a 1050°C) alcança a profundidade de 200µm no substrato de aço. Nesta microestrutura é possível identificar a existência de três regiões: a) a parte inferior corresponde ao metal de base, b) a região não atacada pelo reagente nital (região mais clara) que tem uma espessura aproximada de 140µm e, c) uma região mais escura de aproximadamente 60µm na superfície do aço. Também observamos as características da estrutura dos grãos na região onde houve difusão do Al.

Houve uma mudança de estrutura de grãos poligonais a colunares com clara direção de crescimento (figura 4b ↔). Também pode-se observar que existe uma linha mais escura que dá início ao crescimento colunar da região que contém Al difundido com formação de intermetálicos.

De acordo com os resultados de difração de raios-x pode-se constatar o seguinte.

região escura na superfície [c]: nesta região temos que o Al formou a maior quantidade de intermetálicos Fe/Al provavelmente do tipo Fe_4Al_{13} , $Fe_{24}Al_{76.8}$, $FeAl_2$, $FeAl$, $FeAl_5$, Fe_3Al , observa-se que a região é homogênea e continua.

região mais clara [b]: nesta região temos a presença de Al sobre a forma de intermetálicos Fe/Al do tipo Fe_3Al e Fe_2Al , e com Al nos contornos de grão.

Com relação ao efeito de endurecimento pela presença de intermetálicos FeAl e Al e Fe em solução sólida, através da figura 5 apresenta-se o perfil de dureza obtido na seção transversal onde houve difusão do Al. Os resultados de dureza permitem verificar que a região onde foi formada uma camada mais densa de intermetálicos atingiu uma maior dureza (figura 5a), sendo levemente menor onde só tem alumínio difundido. Com a finalidade de conhecer as características de dureza da linha mais escura foi utilizada a técnica de medição Knoop (figura 5b).

Da análise das medições de dureza Knoop pode-se constatar que a região escura atinge a maior dureza quando comparada com as outras regiões onde houve difusão de Al com formação de intermetálicos. Segundo a literatura na região escura mais fina estaria composta de compostos mais duros e frágeis do tipo Fe_2Al_5 .

3.3. Caracterização através de microscopia eletrônica de varredura - MEV

Para avaliar a quantidade de Al na região de solda durante o procedimento da **solda I**, foi utilizado o MEV e os resultados apresentados na tabela 7. Os resultados podem nos indicar que a falta de uma preparação adequada da região de solda, faz com que a soldagem seja feita sobre uma região que possui até 40% de Al em peso, sendo esta condição crítica, pois vai de encontro do publicado por Banovic [3], o qual menciona que o teor máximo de Al no aço para promover uma soldagem satisfatória é de 10% em peso, acima deste valor, a fragilização e conseqüente trincas podem ocorrer, ocasionada pela formação de maior quantidade de intermetálicos Fe-Al na ZTA, provavelmente do tipo Fe_4Al_{13} , $Fe_{24}Al_{76.8}$, $FeAl_2$, $FeAl$, $FeAl_5$, Fe_3Al .

3.4. Resultados obtidos do ensaio de tração

Avaliando os valores de tensão máxima de ruptura, tabela 8, estes mostraram pequeno aumento em relação ao metal base da junta soldada - **Solda I** e **Solda II**. Esta variação pode estar relacionada com a presença do Al difundido na ZTA e metal de solda, o que tende a aumentar o limite máximo de ruptura, e também, com o refino de grãos na ZTA provocado pelos passes de soldagem.

Avaliando os valores de alongamento obtidos, tabela 8, pudemos verificar uma redução significativa, este fato pode ser explicado, mais uma vez, pela presença de Al difundido na ZTA e metal de solda, que além de tender a aumentar o limite máximo de resistência do material, provoca fragilização do material e conseqüente redução da ductilidade. Este fato é muito importante, pois como a difusão do Al no material não é uniforme, pode haver pontos de baixa ductilidade na junta soldada, principalmente perto da região rica em Al. Na **solda II**, os valores de alongamento tornaram a aumentar, se aproximando dos valores do metal base; pois não há presença de alumínio.

3.5. Resultados obtidos do ensaio de impacto

Os valores obtidos no ensaio de impacto, tabela 9, vieram a confirmar a suposição que o processo de soldagem provoca uma sensível redução na tenacidade do material,

provocada por sua fragilização devido a presença de Al difundido em sua estrutura, e também da possível presença de intermetálicos Fe-Al, porém, conforme esperávamos, a **solda II** reduz esta fragilização, pois elimina a quantidade de Al disponível para a difusão e conseqüentemente para a formação de intermetálicos frágeis.

3.6. Resultados obtidos do ensaio metalográfico

Junta soldada pelo procedimento **Solda I**: A figura 6a apresenta a região de interface entre o cordão de solda de cobertura e o metal base, nota-se que na região denominada “região de diluição”, há uma clara interferência da estrutura ferrítica do metal base na estrutura austenítica do metal aporte do passe de cobertura, com diferenças substanciais na formação dos grãos, na parte superior desta região, verifica-se a presença do Al diluído, sendo esta uma região de grande criticidade, pois é susceptível à trincas durante sua utilização, como é observado no perfil de dureza mostrado na figura 5a.

A figura 6b apresenta a região de interface entre o metal base e os metais aporte dos passes de cobertura e enchimento, nota-se a estrutura martensítica revenida, com possíveis núcleos de bainita superior. O metal aporte do passe de enchimento é similar ao metal base, ou seja rico em Cr, e por isso susceptível a têmpera ao ar durante o procedimento de soldagem. Nota-se também o refinamento dos grão do metal base próximo a região de solda (ZTA), este fato que já poderia ser visto na figura anterior, é favorável ao comportamento mecânico da junta soldada. Nesta figura verifica-se que a zona de diluição entre o metal aporte e o metal base é reduzida, devido a especificação da polaridade inversa para o procedimento de soldagem.

Junta soldada pelo procedimento **solda II**: A figura 7 apresenta a interface entre o metal aporte do passe de cobertura e o metal base na região soldada, podemos verificar que a estrutura é similar à da junta soldada pelo procedimento **solda I**, salvo pela não presença do Al diluído na estrutura, o que favorece o comportamento da junta soldada. Um ponto a se levar em consideração para ambos os casos de junta soldada, é a presença da “indentação” na borda do cordão de solda, este fenômeno poderia concentrar tensões e reduzir a resistência mecânica da junta soldada.

A figura 7b apresenta uma estrutura similar ao do procedimento **solda I**, conforme vimos anteriormente, porém convém notar a presença da estrutura martensítica revenida com possibilidade de apresentar núcleos de bainita superior, também na ZTA, oriundo do ciclo térmico ao qual foi submetido.

4. CONCLUSÕES

O resultado dos testes sobre os corpos de prova oriundos da junta soldada pela **solda II** (procedimento proposto com retirada do alumínio) foram satisfatórios de maneira geral, pois garantiram a resistência mecânica do material, com valores de ductilidade próximos aos do metal base e superiores aos da junta soldada pelo procedimento **solda I**. Sua tenacidade apresentou-se também superior ao da junta preparada pelo procedimento da **solda I**, e a análise MEV mostrou uma redução do risco de fragilização, por apresentar uma tendência de reduzir a quantidade de Al disponível para a formação de novos intermetálicos Fe-Al na região soldada.

A **solda II** evitou a formação de trincas na região de solda, e esta obteve propriedades mecânicas melhores quando relacionada ao procedimento **solda I**, porém, ainda existe a necessidade de avaliar a influência de outros parâmetros de soldagem.

O desenho do chanfro para a preparação da junta soldada é esquematizado na figura 2b. A camada rica em Al, com teor superior a 5% em massa, é eliminada da região de solda quando usinada da superfície do material com a profundidade indicada. Este valor de profundidade de usinagem está perfeitamente de acordo com os valores oriundos da difusão do Al.

5. AGRADECIMENTOS

À Refinaria de Petróleo Getulio Vargas – REPAR, pelo fornecimento e soldagem do aço alonizado.

6. REFERÊNCIAS

- (1) PAREDES, R. C. et al: Comparação da obtenção de intermetálicos FeAl através de Aspersão Térmica com Alumínio e Alonização. **II Congresso Brasileiro do Petróleo**. 2003.
- (2) RENKUI, R.; et al. Properties, welding methods, and petrochemical applications of aluminized steel tubes and pipes. 4 f. **Equipment Research Institute - HeNan**, 1998.
- (3) BANOVIC, S. et al. Corrosion behavior of weldable Fe-Al alloys in oxidizing-sulfidizing environments. 9 f. **Energy Research Center** – Lehigh University – Bethlehem, 2001.
- (4) BANOVIC, S. W.; DUPONT, J. et al. Experimental evaluation of Fe-Al claddings in high-temperature sulfidizing environments. **Welding Research Supplement**. New York, p. 63s – 70s, March, 2001.
- (5) CORREA S. Avaliação da Soldabilidade de Aços Revestidos de Alumínio utilizados na Indústria Petroquímica. **Dissertação de Mestrado** em Engenharia Mecânica. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Paraná. 2003.
- (6) .McGILL, W. A.; WEINBAUM, M. J.: Aluminum vapor diffused steels resist refinery corrosion. 5 f. **Alon processing Inc**. Tarentum, 1972.
- (7) McGill, W. A.; WEINBAUM, M. J.: Alonized heat exchanger tubes give good high temperature service. 4 f. **Alon processing Inc**. Tarentum, 1976.
- (8) LORENTZ Jr., R. E. et al: Welding handbook. New York, 19--. V. 4, Cap. 64. AWS – **American Welding Society**.

Tabela 1 – Composição química dos materiais aporte recomendados

Tipo	C	Mn	Si	P (máx)	S (máx)	Cr	Ni	Outros
308	0,08	2,0	1,0	0,04	0,03	19-21	10-12	
310	0,25	2,0	1,5	0,04	0,03	24-26	19-22	
314	0,25	2,0	1,5-3,0	0,04	0,03	23-26	19-22	
316	0,10	2,0	1,0	0,04	0,03	16-18	10-14	Mo/2-3
317	0,10	2,0	1,0	0,04	0,03	18-20	11-14	Mo/3-4
502	0,10	1,0	1,0	0,04	0,03	4-6		

Tabela 2 – Parâmetros definidos no procedimento de soldagem Solda I.

Processo	Soldagem TIG		
Desenho da junta	Chanfro V 45° convencional		
Metal base	Aço liga 5% Cr –0,5% Mo (alonizado)	Diâmetro externo 120 mm	Espessura parede 10 mm
Metal aporte	Raiz: AWS ER317 2,4 mm	Enchimento: AWS ER502 2,4 mm	Cobertura: AWS ER317 2,4 mm
Gás proteção	Argônio		Vazão:
Pré-aquecimento	200°C		
Interpasse	250°C		
Pós-aquecimento	300°C		Tempo: 0,4h
Polaridade	CC ⁻ (direta)		
Tensão	Raiz: 10 – 12V	Enchimento: 18 – 26V	Cobertura: 10 – 12V
Corrente	Raiz: 80 – 90A	Enchimento: 90 – 100A	Cobertura: 80 – 90A
Velocidade	Raiz: 3,6 cm/min	Enchimento: 6,0 cm/min	Cobertura: 3,6 cm/min
Técnicas soldagem de	Não específica oscilação de soldagem durante o processo		
	Orifício de bico 6mm		
	Limpeza inicial e interpases com escova de aço		
	Múltiplos passes		
	Fluxo de argônio interno ao tubo para o passe de raiz		
	Posição de soldagem não definida		

Tabela 3 – Hipótese de procedimento de soldagem – Solda II.

Processo	Soldagem TIG		
Desenho da junta	Chanfro V 45° com usinagem na região de difusão de alumínio conforme o diagrama abaixo, figura 2b		
Metal base	Aço liga 5% Cr –0,5% Mo (alonizado)	Diâmetro externo 120 mm	Espessura parede 10 mm
Metal aporte	Raiz: AWS ER317 diâmetro: 2,4 mm	Enchimento: AWS ER502 diâmetro 2,4 mm	Cobertura: AWS ER317 diâmetro: 2,4 mm
Gás proteção	Argônio		Vazão: 13l/min
Pré-aquecimento	200°C		
Interpasse	250°C		
Pós-aquecimento	300°C		Tempo: 0,4h
Polaridade	CC ⁺ (inversa)		
Tensão	Raiz: 10 – 12V	Enchimento: 18 – 26V	Cobertura: 10 – 12V
Corrente	Raiz: 80 – 90A	Enchimento: 90 – 100A	Cobertura: 80 – 90A
Velocidade	Raiz: 3,6 cm/min	Enchimento: 6,0 cm/min	Cobertura: 3,6 cm/min
Técnicas de soldagem	Não específica oscilação de soldagem durante o processo		
	Orifício de bico 6mm		
	Limpeza inicial e interpases com escova de aço		
	1 passe de raiz, 2 passes de enchimento, 2 passes de cobertura.		
	Posição de soldagem: frontal		

Tabela 4 – Composição química de aço Alonizado [%]

C	Mn	Mo	Cr	Ni	Co	Cu	Ti	V	W
0,127	0,424	0,484	5,77	0,0654	<0,050	0,0633	<0,0050	0,00623	<0,050
Si	Sn	Pb	Ca	P	S	Al			
0,391	<0,0050	0,00658	0,00174	0,00916	0,00922	0,0532			

Tabela 5 – Propriedades mecânicas do metal base

	Tensão máxima (MPa)	Alongamento (%)	Impacto (kgm)
CP1	466,35	31,90	8,40
CP2	463,62	32,93	6,00
CP3	467,14	32,40	3,00

Tabela 6 – Resultados do análise EDS realizado no MEV.

Região de medição	Alumínio	Ferro	Outros
	% peso	% peso	% peso
Mais clara	28,3	57,7	14,0
Escura	32,2	56,4	11,4

Tabela 7 - Porcentagem e profundidade do alumínio difundido no metal base.

Profundidade (µm)	Al (%)	Fe (%)	Outros (%)
50	40	55	5
70	39	53	8
80	32	61	7
100	29	62	8
120	24	71	5
140	25	70	5
>150	20	76	4

Tabela 8 – Valores obtidos do ensaio de tração

	Metal base		Procedimento Solda I		Procedimento Solda II	
	Tensão máxima (MPa)	Alongamento (%)	Tensão máxima (MPa)	Alongamento (%)	Tensão máxima (MPa)	Alongamento (%)
CP1	466,35	31,90	477,32	25,22	463,23	36,67
CP2	463,32	32,93	481,99	27,78	490,59	26,67
CP3	467,14	32,40	494,11	19,43	470,65	29,33
Média	465,60	32,41	484,47	24,14	474,82	30,89

Tabela 9 – Valores obtidos do ensaio de impacto

	Metal base (kgm)	Procedimento Solda I (kgm)	Procedimento Solda II (kgm)
CP1	8,40	2,80	4,05
CP2	6,00	0,40	3,00
CP3	3,00	0,80	3,80

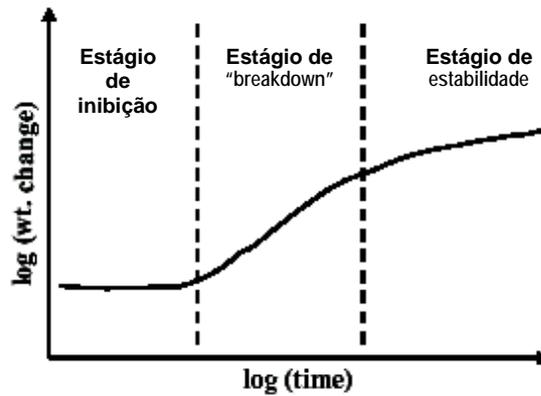


Figura 1 – Ilustração esquemática dos três estágios de corrosão condicionados ao teor de Al sobre o aço. [3].

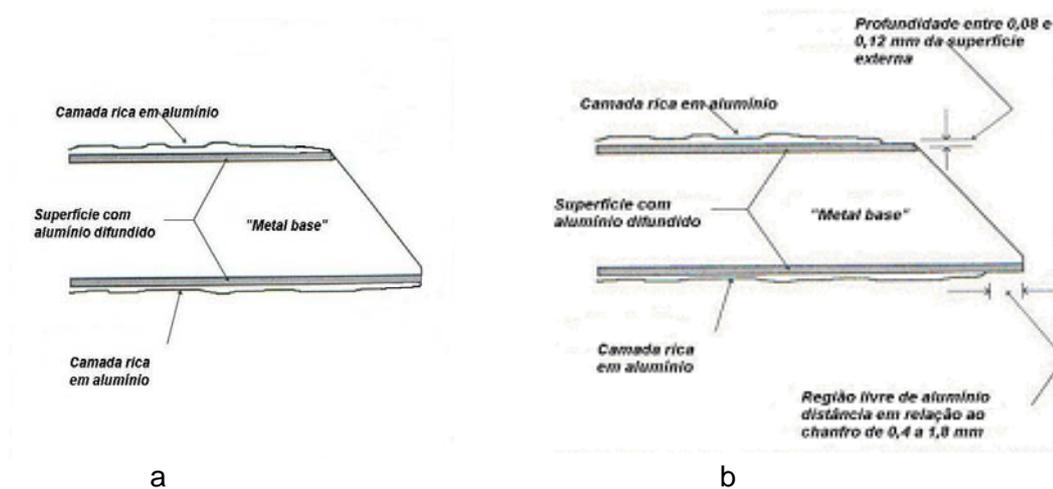
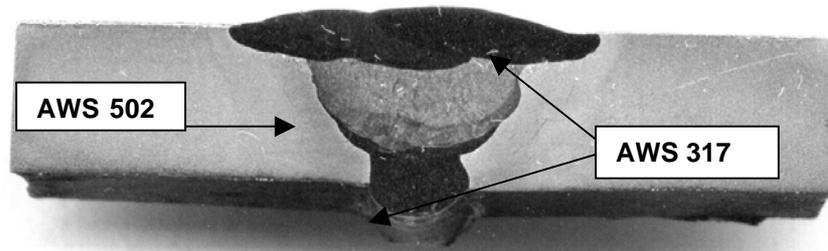


Figura 2 – Preparação de chanfro usada na junta de soldagem pelo procedimento Solda I (a) e solda II (b).

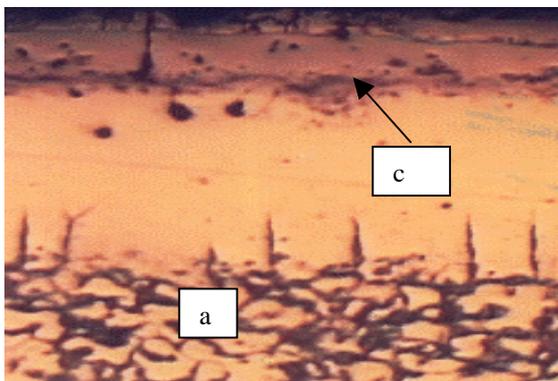


a

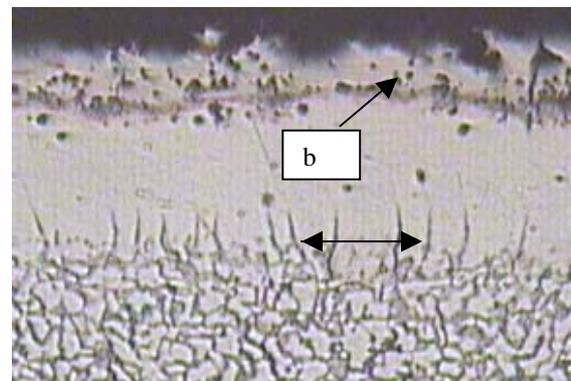


b

Figura 3. Soldagem do tubo de aço CrMo alonizado através do processo TIG.

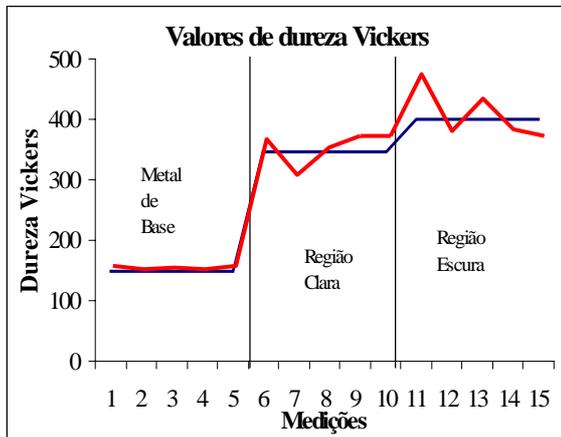


a 200x

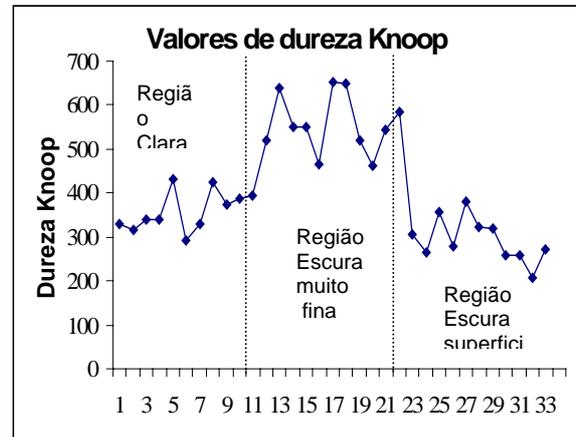


b 150x

Figura 4 – Microestrutura de aço CrMo [a], região alonizada [difusão e formação de intermetálicos Fe/Al, [b e c]. Ataque Nital 2%



a



b

Figura 5 – Perfil de dureza na seção transversal onde houve difusão do Al

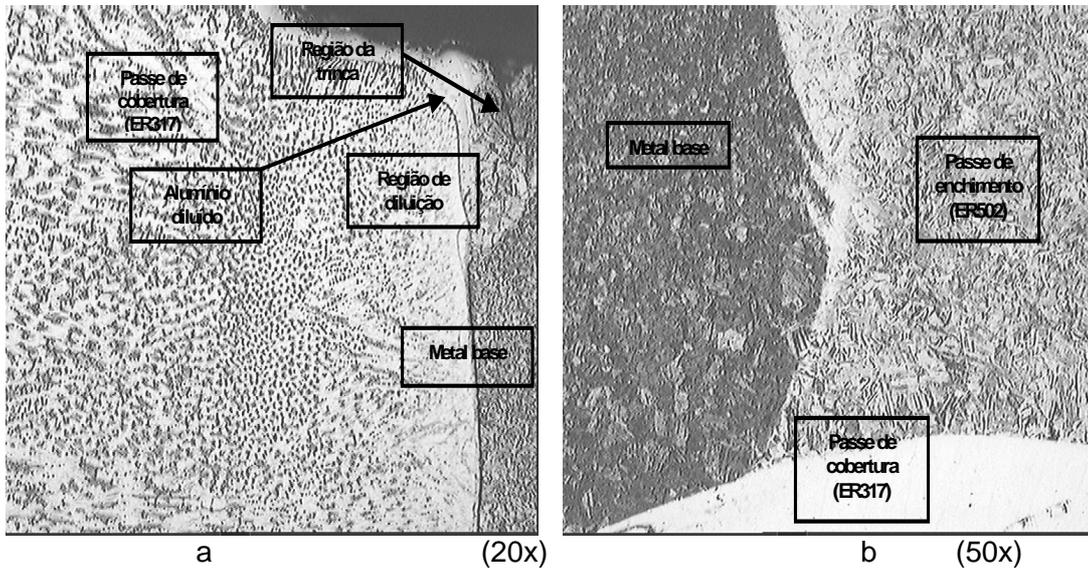


Figura 6 – Região de interface entre o metal base e o metal aporte do passe de cobertura, soldado pelo procedimento **solda I**.

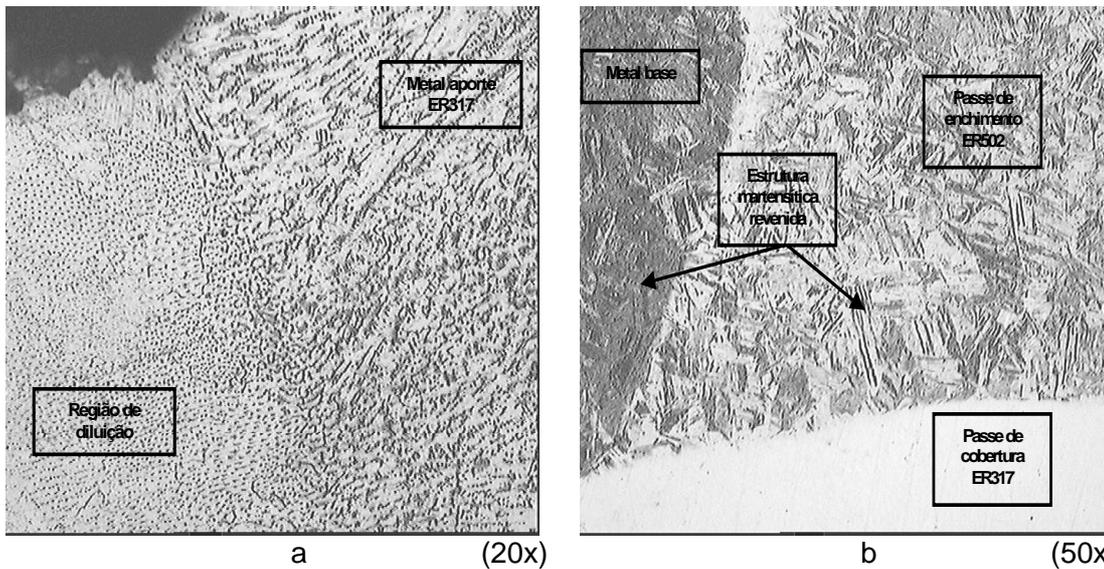


Figura 7 – Região de interface entre o metal base e o metal aporte do passe de cobertura, soldado pela solda II (a). Região de interface entre o metal base e os metais aporte dos passes de enchimento e cobertura da solda II (b).