

Copyright 2014, ABRACO

Trabalho apresentado durante o INTERCORR 2014, em Fortaleza/CE no mês de maio de 2014.

As informações e opiniões contidas neste trabalho são de exclusiva responsabilidade do(s) autor(es).

## **Estudo Comparativo entre as ligas de alumínio 3003 e 1060: Uma aplicação em tubovias de HNO<sub>3</sub>**

Raphael Rezende<sup>a</sup>, Guilherme Oliveira<sup>b</sup>, Welton Azevedo<sup>c</sup>

### ***Abstract***

Deve ser redigido de tal modo que o leitor, sem ler o trabalho completo, possa identificar o conteúdo e as conclusões principais do mesmo. Deve estar digitado em um único parágrafo contendo no máximo 15 linhas. Deve estar redigido **obrigatoriamente em inglês**. O título *Abstract* deve ser digitado conforme exemplo acima. É aconselhável submeter o *Abstract* a uma revisão feita por alguém que domina a língua inglesa.

**Keywords:** corrosion, coating etc. (não colocar texto).

### **Resumo**

Para as indústrias que produzem ou utilizam como insumo o ácido nítrico HNO<sub>3</sub>, o armazenamento ou transporte requerem cuidados especiais na etapa de construção, por soldagem. Na soldagem da liga 3003, observa-se na região da solda, a falha prematura em serviço “corrosão”, normalmente, associada à condição de soldagem. Portanto, considerando os mecanismos associados “soldabilidade e corrosão”, este trabalho, objetiva, comparar o desempenho de juntas soldadas das ligas 1060 e 3003 para aplicações que requerem contato com HNO<sub>3</sub>.

Assim, o trabalho avalia o efeito da soldagem sobre o surgimento de regiões preferências à corrosão. Para a caracterização microestrutural das amostras, foi empregado o microscópio ótico. Como etapa do trabalho, as amostras foram submetidas ao ensaio acelerado de corrosão por imersão, em meio de HNO<sub>3</sub>, e em seguida medida a rugosidade, na região do metal de base, zona de fusão e raiz da solda.

Dos resultados de rugosidade, foi possível extrair que a diferença básica em uma resposta a resistência a corrosão, para ambas as ligas, será função das condições impostas pela soldagem e suas alterações metalúrgicas, já que as principais regiões afetadas foram justamente às regiões do centro e raiz da solda.

**Palavras-chave:** Corrosão, Soldagem, Alumínio, HNO<sub>3</sub>

<sup>a</sup> Mestre, Engenheiro de Soldagem – SENAI Cimatec

<sup>b</sup> Dr, Engenheiro Mecânico - EMPRESA B

<sup>c</sup> Welton Azevedo, Tecn – SENAI Cimatec

## Introdução

No Brasil, as indústrias que produzem ou utilizam o ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ ) como insumo no seu processo produtivo convivem com o problema do surgimento de corrosão localizada, nas ligas de alumínio, em uniões por soldagem de tanques de armazenamento e tubovias (Barra, 2009). Considerando que as empresas dos setores químicos e petroquímicos adotam paradas programadas de suas plantas para inspeção e manutenção, a possibilidade da ocorrência de falha prematura nas uniões (juntas soldadas) pode impactar em uma simples manutenção corretiva da região perfurada ou, em caso extremo, até provocar a necessidade de uma parada não programada da planta, impactando diretamente no meio ambiente ou sobre a produção. Na figura 1, pode-se visualizar em detalhes um sistema (tanque - tubulação) de ácido nítrico e a região preferencial de corrosão (raiz da solda).

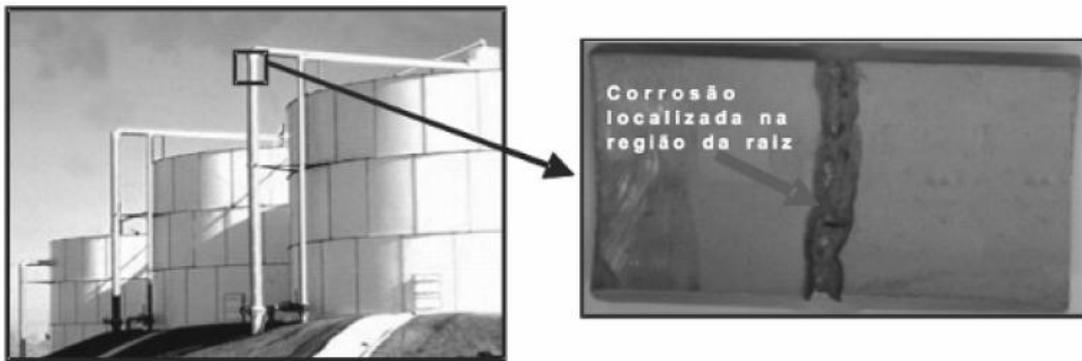


Figura 1 - Detalhe da localização da falha por corrosão em tubulações.

Para o alumínio e suas ligas, as informações sobre as condições impostas pelo processo de fabricação, são interessantes, por exemplo, quando se pensa nos efeitos indesejáveis que um inadequado procedimento de soldagem poderá ocasionar sobre a vida em serviço. Barra *et al.* (2009) e Vergel (2004) citam que, a partir, de uma determinada condição de soldagem, pode-se afetar consideravelmente a resistência à corrosão “corrosão localizada” (Barra *et al.*, 2009; Vergel *et al.*, 2004). Durante o processo de soldagem, as composições das partículas constituintes nas ligas de alumínio podem mudar significativamente e elementos supersaturados podem precipitar como partículas intermetálicas. Estas transformações, a partir de uma determinada condição de soldagem, afetam consideravelmente a resistência a corrosão da região (Barra *et al.*, 2009; Vergel *et al.*, 2004).

Portanto, considerando os mecanismos associados à soldabilidade e corrosão do alumínio, este trabalho, a partir dos diferentes valores de ângulo do chanfro ( $60^\circ$  e  $90^\circ$ ) e composição química do metal de base (liga 1060 e liga 3003), propõe-se analisar e comparar o desempenho de juntas soldadas em imersão a  $\text{HNO}_3$  (ensaio de corrosão).

Os resultados mostraram uma maior tendência de melhoria na resposta contra o fenômeno corrosivo, à amostra que apresentou tais condições: composição química adequada do metal de solda e penetração na raiz (ausência da fresta), onde teve destaque a liga 1060 com ângulo de chanfro de  $90^\circ$ , sendo a junta de melhor desempenho. Essas considerações foram confirmadas através dos gráficos em estudo e das análises visuais feitas.

## Metodologia

### Procedimento metodológico

Para otimizar a análise dos resultados experimentais, *projeto ou planejamento fatorial 2<sup>K</sup>*, com replicação, foi adotado um planejamento estatística para avaliar como os fatores (efeitos principais e interações) tendem a influenciar a resistência a corrosão dos depósitos, em meio de HNO<sub>3</sub>.

Levando-se em consideração a premissa de que a corrosão será função da rugosidade superficial após ensaio, serão definidos os valores em níveis (mínimo e máximo) do fator (ângulo de soldagem) na matriz fatorial, vide figura 2.

No estudo foram relacionados sistematicamente, em dois níveis, os seguintes fatores:

O fator de entrada (e seus níveis), selecionado para validar a análise dos possíveis efeitos sobre a resistência a corrosão, foi o ângulo do chanfro (AC):

**Nível Máximo (+)** → ângulo do chanfro, material AA 1060 e 3003;

**Nível Mínimo (-)** → ângulo do chanfro, material AA 1060 e 3003;

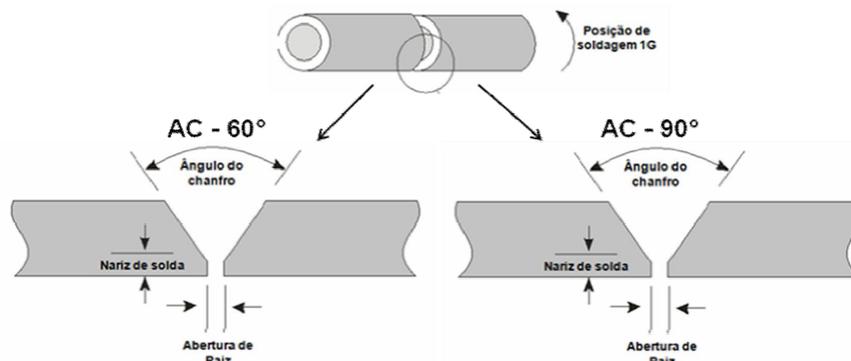


Figura 2 - Ilustração do chanfro mostrando o fator de entrada, AC e seus níveis

A tabela 1 relaciona a forma de implementação e os valores do projeto *fatorial 2<sup>K</sup>*, utilizado na confecção dos depósitos. Com intuito de se evitar a ocorrência de distorções estatísticas nos resultados obtidos, os ensaios serão executados em ordem totalmente aleatória. Barros Neto, Scarminio e Bruns (1995) relatam que a numeração dos ensaios é apenas uma forma conveniente de se identificar as várias combinações de níveis, e nada tem a ver com a ordem em que os experimentos são executados.

Tabela 1 - Matriz de planejamento utilizada; composição do metal de base e geometria do chanfro.

AMOSTRA	METAL DE BASE	AC (°)
X1	AA 1060	60
X2		
X3		
X4	AA 1060	90
X5		
X6		
X7	AA 3003	60
X8		
X9		
X10	AA 3003	90
X11		
X12		

## Procedimentos para Soldagem

Na confecção dos corpos de prova soldados, o preenchimento do chanfro foi realizado na posição (1G), os parâmetros utilizados são apresentados na tabela 2.

**Tabela 2 - Parâmetros empregados para as soldas**

<i>Processo</i>	<i>TIG</i>
Tensão	25 a 27 V
Tipo de corrente	CA
Intensidade de corrente	90 a 120 A
Gás de proteção	Ar - (99,99% de pureza)
Vazão de gás	15 l/min
Metal de adição / Fabricante	AWS ER 1100 (1,2 mm) / Kestra
Limpeza	Acetona
Diâmetro nominal do tubo	3''
Espessura	4 mm

A deposição foi manual sem o uso do preaquecimento. A tabela 3 resume a composição química dos metais de base (AA 1060 e AA3003) e do eletrodo ER 1100 (metal de adição) empregado nos experimentos e, por sua vez a tabela 4 apresenta a preparação e a condição da operação de soldagem.

**Tabela 3 - Composição química das ligas AA 3003, AA 1060 “Metal de Base - MB” e do ER 1100 “Metal de Adição - MA”**

<b>Material</b>	<b>Al</b>	<b>Si</b>	<b>Fe</b>	<b>Cu</b>	<b>Mn</b>	<b>Mg</b>	<b>Cr</b>	<b>Zn</b>	<b>Ti</b>	<b>Outros</b>
	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	Total (%)
AA 3003 - MB	Balanço	0,60	0,70	0,05 - 0,20	1,00 - 1,50	-	-	0,10	-	0,15
AA 1060 - MB	Balanço	0,2	0,5	0,05 - 0,20	0,03	-	-	0,15	-	0,05
ER 1100 - MA	Balanço	0,04	0,14	0,05 - 0,20	0,05	-	-	0,10	-	0,15

Fonte: ASM Handbook (1998).

**Tabela 4 - Preparação e condição da operação de soldagem empregada**

#### Procedimentos para ensaio de corrosão

Para o ensaio de corrosão foram utilizados os métodos experimentais adotados pelas normas ASTM G67 e E262, cujas etapas seguem a seqüência abaixo:

- a) Seleção e preparação da amostra a serem analisadas (corte, lixamento e polimento para a obtenção de superfícies planas e com rugosidade máxima de  $1 \mu\text{m}$ ;
- b) Aplicação do ensaio acelerado de corrosão por imersão (vide tabela 5), sob condições específicas de execução (solução contendo, em volume, 35%  $\text{H}_2\text{O}$  destilada e deionizada + 65%  $\text{HNO}_3$ , temperatura da solução igual a  $80 \text{ }^\circ\text{C} \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ ;

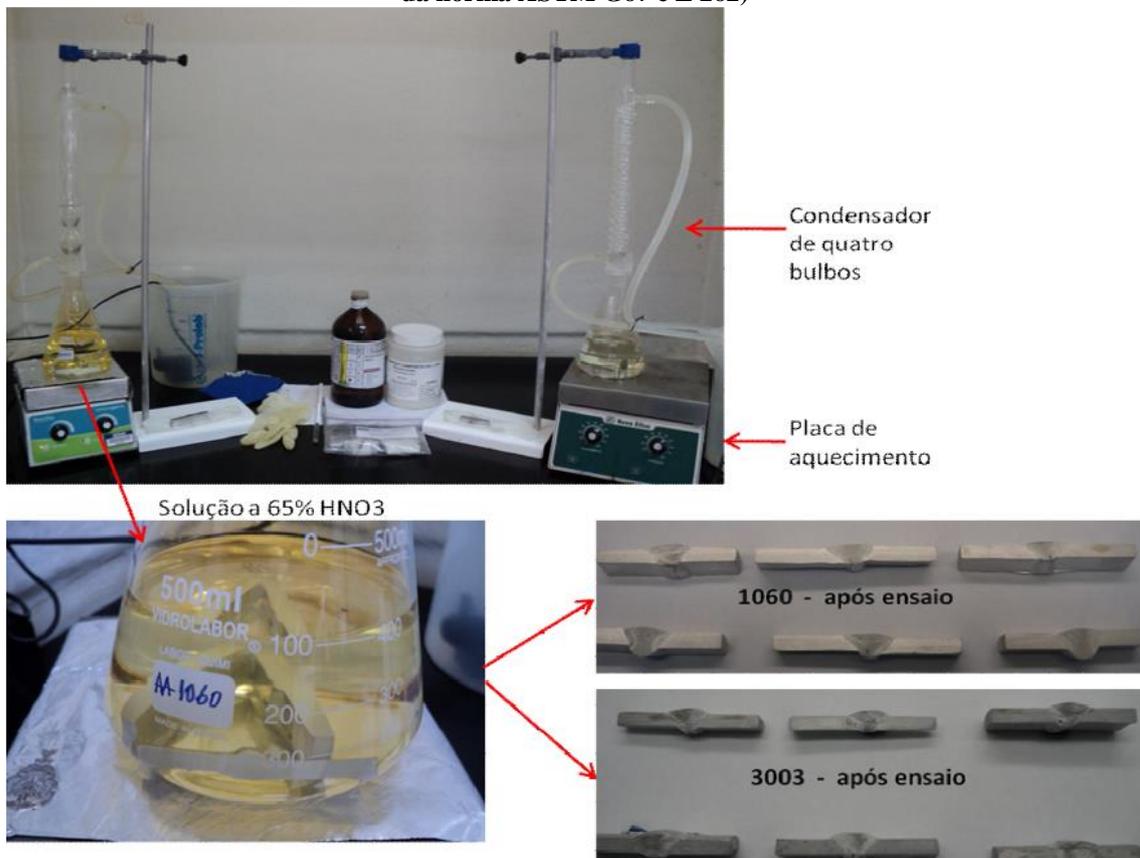
Como apresentado por Kinzie (2003), é importante ressaltar que os métodos experimentais, aplicados na medição da evolução do processo de corrosão, sob determinadas condições, têm caráter apenas qualitativo (comparativo), uma vez que as condições laboratoriais raramente podem ser equiparadas em tempo com as condições reais de operação do componente ensaiado. No entanto, dados confiáveis obtidos experimentalmente, em conjunto com vivência de “chão de fábrica”, podem auxiliar o setor industrial na tomada de decisão do quanto à variável alterarão a condição de fabricação e, por conseguinte, a vida em serviço. Segue os materiais e equipamentos usados durante a execução do ensaio de corrosão, em seqüência, a tabela 5, mostra uma ilustração da bancada de teste.

## Espaço empírico: materiais e equipamentos

### Materiais e Equipamentos Usados

- 2 Litros de ácido nítrico;
- 2 Erlenmeyer de 1 L;
- 2 condensadores de bulbo;
- 2 placas de aquecimento;
- 2 bombas de aquário;
- 2 pares de luvas;
- 2 recipientes com água.

**Tabela 5 - Ilustração da bancada experimental para ensaio acelerado de corrosão por imersão (adaptação da norma ASTM G67 e E 262)**



### Procedimentos para medição da rugosidade

Neste estudo, procurou-se desenvolver uma metodologia rápida, simples e reprodutível para determinar a rugosidade superficial das amostras após ensaio de corrosão. O procedimento adotado para a medição da rugosidade superficial nas amostras é descrita a seguir, o rugosímetro portátil usado no trabalho foi o RP - 2000 do fabricante Instrutherm (vide imagens 3).

Antes de iniciar as medições foram realizadas algumas checagens no instrumento através da calibração. A calibração foi feita usando o parâmetro Ra (ou R na norma ISO 12085) primeiro com o campo de medição de +/- 20 mm e depois com o campo de medição de +/- 80mm,

sendo feita em 2 passos, primeiro ajustando o valor de referência (padrão) e então fazendo a medição. Depois de ajustado o instrumento, para obter um resultado correto, os seguintes itens foram adotados:

- 1) Colocar o instrumento e as amostras a serem medidas em lugar rígido, livre de vibrações e com as superfícies limpas. Como o instrumento estava sendo manuseado, houve um cuidado para não movimentá-lo durante a medição;
- 2) Ajustar as funções através do menu;
- 3) Inserir o cut-off e número de cut-off (necessário o manual do fabricante);
- 4) Selecionar a unidade de avanço, se possível, de forma paralela à superfície a ser medida. Isto poderá ser checado utilizando a função Posição (*Posizione*), especialmente quando a peça a ser medida apresenta um grau de dificuldade de posicionamento;
- 5) Iniciar ciclo de medição pressionando a tecla (vermelha). O apalpador deverá percorrer através da unidade de avanço, o campo de medição pré-determinado, o display mostrará respectivamente a mensagem *Medindo* ( ), na primeira linha e um indicador do progresso da medição na segunda linha. Quando finalizada a exploração o display mostrará os resultados da medição e o apalpador retornará a posição inicial, vide imagem da figura 34, apresentando a medição da rugosidade.

Para aumentar a representatividade da análise, foi considerada a média entre três pontos de medição em cada região (metal de base, raiz da solda e centro da solda). Não foram realizadas medições de rugosidade na região da ZTA devido ao seu comprimento e ao tamanho do cabeçote do equipamento, por isso, não será tratada neste trabalho a rugosidade desta região.



Figura 3 - Apresentação da forma de medição da rugosidade superficial via rugosímetro portátil

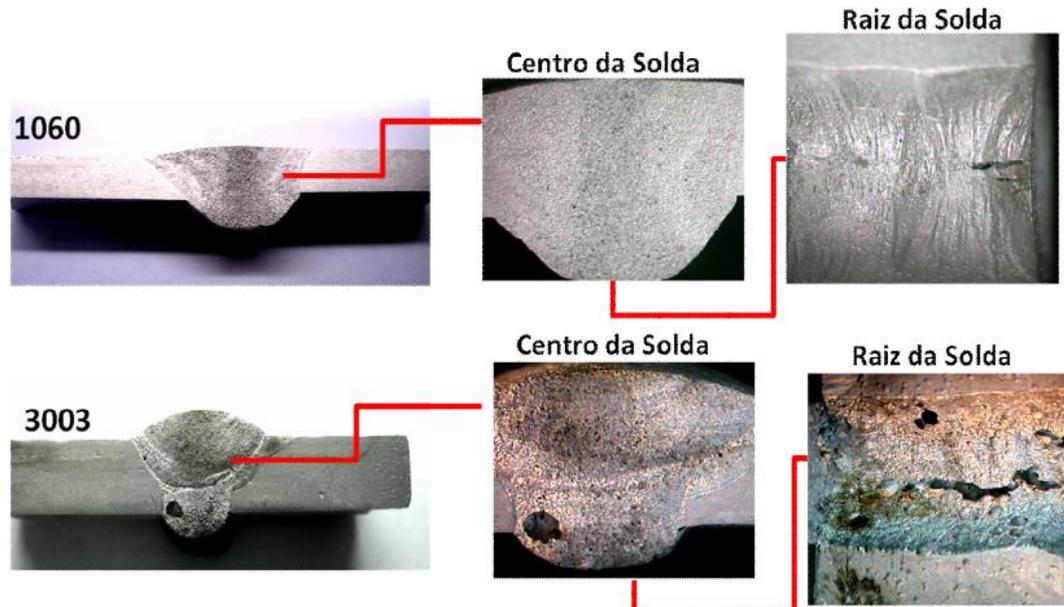
#### Procedimentos para análises visuais

As imagens macrográficas das amostras após os testes de corrosão foram extraídas através de microscópio ótico (marca *Leica* com analisador de imagem) interligado a um computador com um *software*. Foram fotografadas diversas imagens, com diferentes ampliações, das regiões, centro da solda e raiz. As imagens capturadas no ensaio de macrografia são apresentadas no apêndice A.

## Resultados e discussão

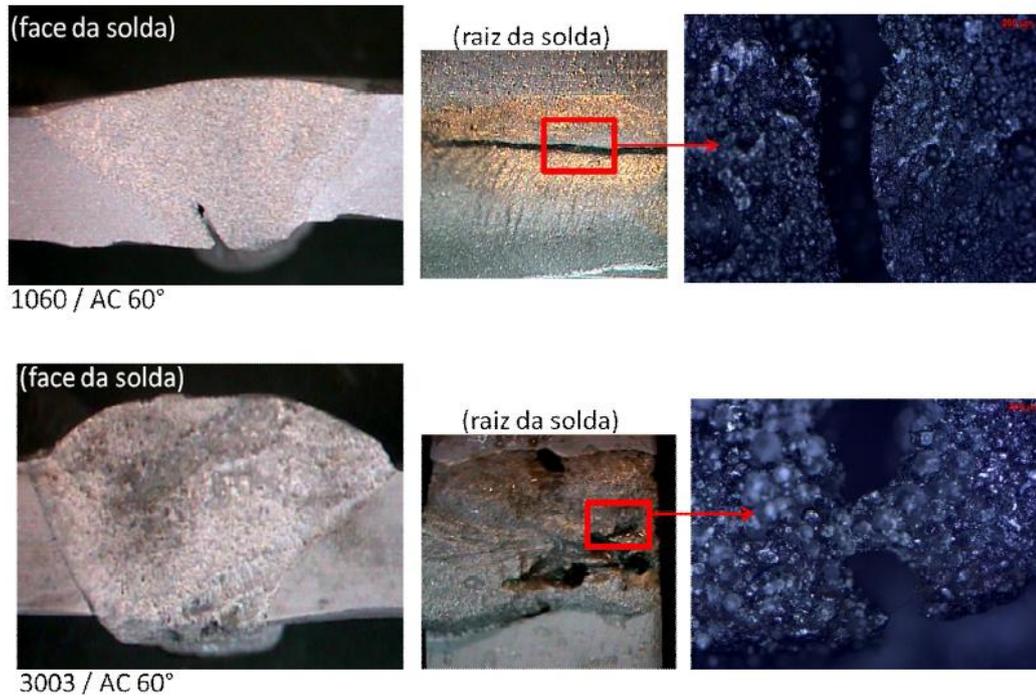
### Análise Visual

Após ensaios de corrosão verificou-se que todos os tubos sofreram corrosão na região da solda (centro da solda), próximo a margem (ZTA) ou na linha central (raiz), ou em ambas as posições, sendo que nas amostras de alumínio 1060 a corrosão foi menos acentuada, já nas amostras da liga 3003 a corrosão foi mais pronunciada. Na figura 4, é possível visualizar o aspecto visual das regiões preferenciais a deterioração, em ambas às ligas 1060 e 3003, respectivamente.



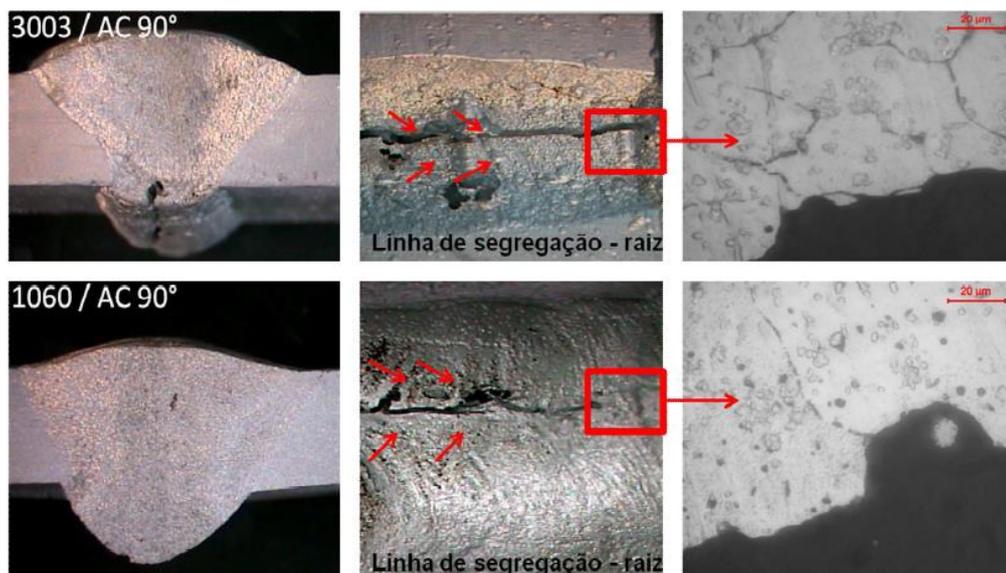
**Figura 4 - Aspecto visual das regiões dos tubos que sofreram corrosão “pontos preferenciais” (centro da solda e raiz)**

Foram identificados após o ensaio de corrosão que a liga 1060 e a liga 3003 apresentaram uma corrosão diferencial, tanto no centro do cordão como na raiz da solda, sendo que a liga 3003 apresentou, em aspecto visual, um maior grau de deterioração, apesar do pequeno tempo de exposição ao meio (vide Figura 5). Foi observado, nas juntas que tiveram cordões menores e menos profundos (ângulo de  $60^\circ$ ), que a corrosão superficial na região da raiz foi maior. Supõe-se que, devido o ângulo do chanfro ser mais fechado, o mesmo acaba impedimento o acesso da tocha de soldagem, se mostrando inadequado, pois impede a penetração e acaba resultando uma fresta na região (vide Figura 5).



**Figura 5 - Aspecto superficial da raiz da solda, demonstrando a falta de penetração e a formação da fresta, para o ângulo de chanfro de 60°**

É importante salientar que após a soldagem, foi possível visualizar a presença de uma linha central (linha de segregação) na raiz da solda. O teste de corrosão intergranular em meio de  $\text{HNO}_3$  foi uma ferramenta importante para evidenciar os diferentes graus de corrosão nesta região em ambos os materiais (1060 e 3003), tendo sido verificado que todas as amostras apresentaram suscetibilidade à corrosão intergranular, na referida linha. Vale ressaltar que a presença desta linha foi mais pronunciada nas juntas da liga 3003 com ângulo de chanfro de 90°. Como exemplo comparativo, a figura 6 ilustra o aspecto metalográfico e a intensidades de corrosão em ambas as ligas para mesma abertura de chanfro.

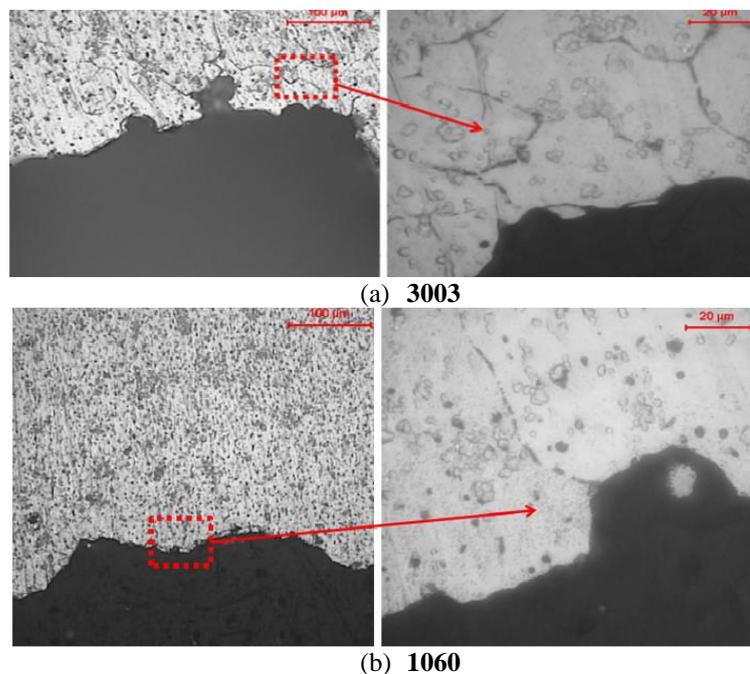


**Figura 6 - Ilustração da linha de segregação formada em ambas as ligas para o ângulo de chanfro de 90°, após ensaio de corrosão**

Segundo literatura, a formação da linha central na raiz é um indicativo de retenção de segregação (impurezas), que podem ser perigosas para aplicações em ácido nítrico (DOVBISHCHENKO, 1979). Neste caso a linha de segregação, central à raiz, apresentou uma tendência à corrosão perforante, figura 6, o que indica que realmente existe a susceptibilidade a corrosão intergranular e que sua intensidade também é influenciada pela escolha do material de base e do ângulo do chanfro. Com isso, supõe-se que além da influência do metal de base, também, há influência do parâmetro (ângulo do chanfro) na susceptibilidade a corrosão da junta, principalmente pela formação de um perfil de solda com passes de penetração variados (vide imagens em apêndice A).

Uma possível explicação para a acentuada corrosão na liga 3003 seria devido ao seu maior teor de elementos de liga, que gera conseqüentemente maior número de precipitados ou sítios de segregação durante a solidificação (AMBAT, 2006). Segundo Nisancioglu (2002), as impurezas encontradas no metal de base ou no metal de adição acabam se segregando e agrupam-se, geralmente, as mesmas, estão contidas em maior proporção nas últimas frações líquidas a se solidificarem.

Por outro lado, no caso da soldagem da liga 1060 com o ER 1100, eventuais precipitações não ocorrem devido a um balanço químico mais homogêneo entre o metal de base e o metal de adição. Acredita-se que nesta situação há a presença de precipitados, porém reduzidos e homogeneizados na matriz. No caso da liga 1060, estes precipitados serão também rejeitados para os contornos durante a solidificação, formando sítios de corrosão, porém sua composição química não será em muito modificada, ou seja, não há um desbalanço químico no metal de solda, caso contrário, encontrado na soldagem da liga 3003 com uso do metal de adição o ER 1100. Nesta condição, 3003 com o ER 1100, promove-se uma composição química do metal de solda não controlada e heterogênea ocasionando uma maior deterioração da região soldada. Segue a figura 7, evidenciando o ataque forte nos contornos da liga 3003 (a) e uma dispersão de precipitados, como conseqüência menores sítios de corrosão na liga 1060 (b).



**Figura 7 - Microestrutura da liga 3003 (a), por exemplo, evidenciando o ataque químico mais forte nos contornos, e a microestrutura da liga 1060 (b), pouco expressivo a precipitação de segregação nos contornos dos grãos (dispersão de precipitados)**

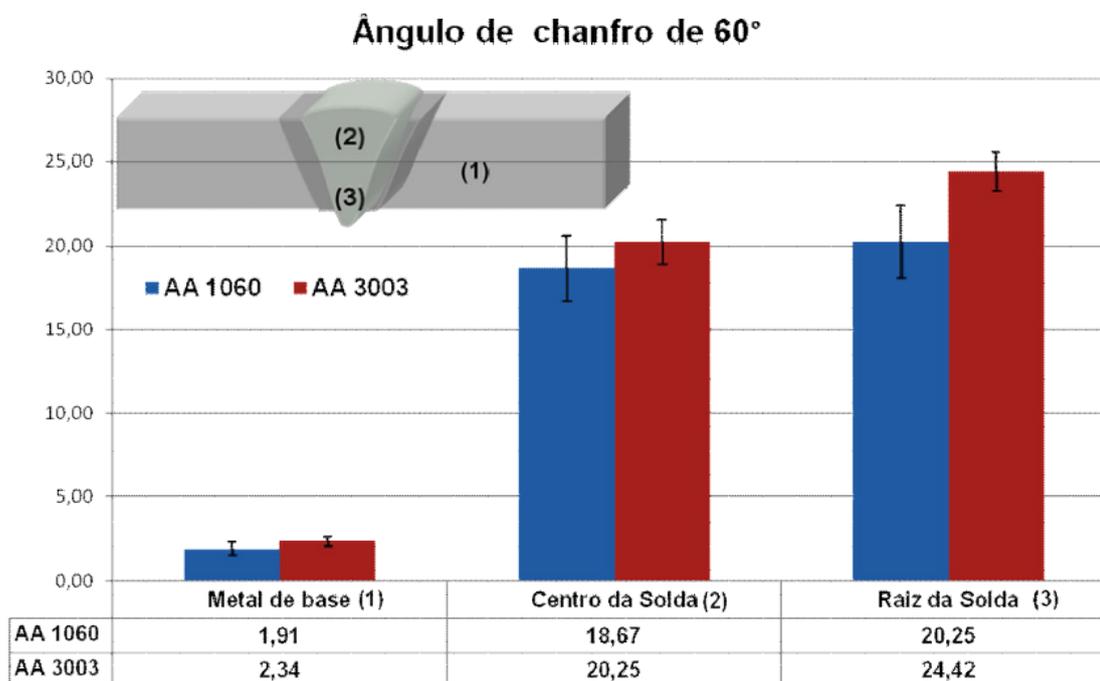
Com relação ao ângulo do chanfro, foi observado que o mesmo é uma variável importante e é determinante na quantidade de material depositado. Com isso, as amostras que obtinham um ângulo mais fechado ( $60^\circ$ ), as mesmas se mostraram mais vulneráveis, pois desfavorece a penetração/fusão que por vezes, somado a presença da linha de segregação, causa uma fresta “fenda”, sendo assim uma região propícia a ao processo corrosivo e auto-catalítico.

O melhor ângulo de chanfro neste experimento foi o de  $90^\circ$  para a liga 1060, vide imagens da macrografia, em apêndice A, o mesmo exprime o resultado visual após o ensaio por imersão de todas as amostras de alumínio da liga 1060 e da liga 3003.

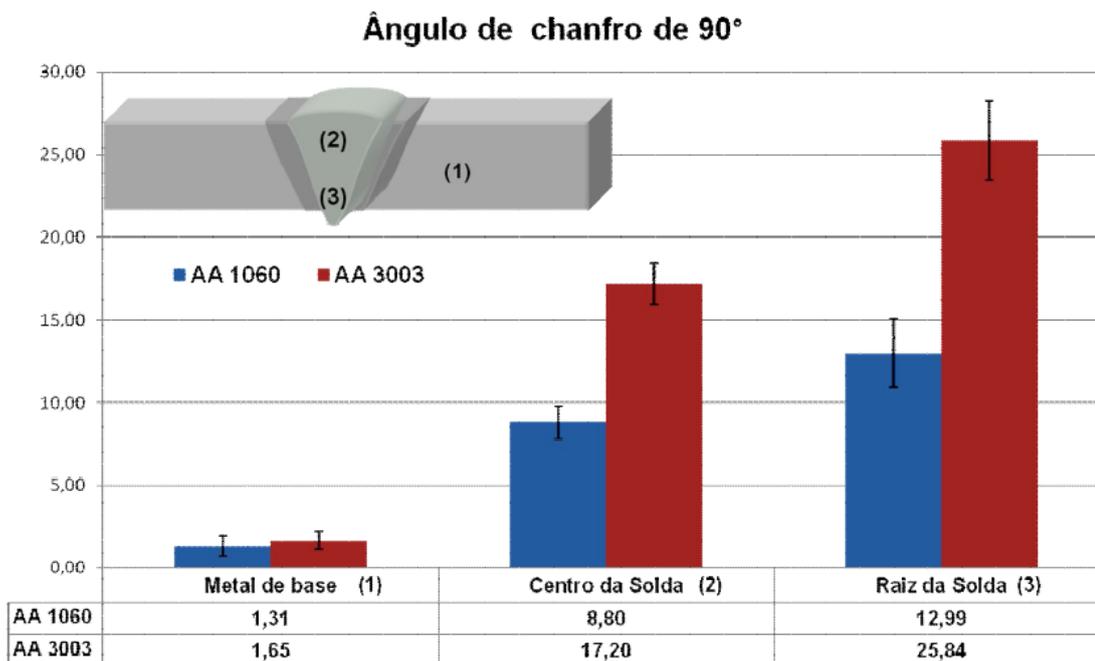
#### Análise da medição de rugosidade

A partir dos valores de rugosidade (vide imagens 8 e 9) foi possível obter os valores experimentais sobre as influências do metal de base e a condição de soldagem (ângulo do chanfro) sobre a resistência a corrosão, servindo como mais um indicativo na resposta dos materiais (1060 ou 3003) ao fenômeno em estudo. Com isso, foi utilizada no trabalho, como referência, a característica topográfica das amostras associada à perda de massa. Levou-se em consideração a premissa: quanto maior for a rugosidade da amostra após ensaio por imersão, maior será a perda de massa apresentada pelo material (maior taxa de corrosão).

Esses valores experimentais são exibidos dentro de cada um dos gráficos, relacionando o ataque da região (Metal de base, Centro da solda e Raiz da solda) em ambas as ligas. Vale ressaltar que a rugosidade na região da ZTA não foi medida devido ao tamanho do cabeçote do rugosímetro, limitação essa comentada no tópico 3.4 deste trabalho.



**Figura 8 - Valor de rugosidade das ligas AA 1060 e AA 3003, para o ângulo de  $60^\circ$ , nas regiões do metal de base, centro da solda e raiz da solda.**



**Figura 9 - Valor de rugosidade da liga AA 1060 e AA 3003, para o ângulo de 90°, nas regiões do metal de base, centro da solda e raiz da solda**

A partir da análise dos gráficos, comparando as ligas 1060 e 3003, a diferença na resistência a corrosão se deu principalmente nas regiões que de alguma maneira foram afetadas pelas condições impostas de soldagem (efeitos metalúrgicos).

Por intermédio dos gráficos exibidos nas figuras 8 e 9, verifica-se que houve pouca variação de rugosidade na região do metal base, nas amostras da liga 1060 e 3003. Com isso, é possível inferir que ambas as ligas se mostram eficientes à deterioração frente a condições de imersão ao  $\text{HNO}_3$ , porém constata-se uma influência negativa da soldagem do ponto de vista de redução da resistência a corrosão, já que as principais regiões afetadas foram justamente às regiões das soldas (centro e raiz da solda).

A análise comparativa entre as amostras das ligas 1060 e 3003 permitiu observar que nas regiões do centro da solda e da raiz, a rugosidade apresentou valores relevantes, principalmente na liga 3003. A provável explicação para a variação de rugosidade no centro da solda entre as amostras das ligas 1060 e 3003, seria a morfologia de solidificação e a possível presença de precipitados intermetálicos nos contornos de grãos. No caso da liga 3003 esta variação se soma a presença de impurezas advindas no balanço de composição química no metal fundido (mistura metal de base com o metal de adição), resultando em uma corrosão mais acentuada. No caso da liga 1060, acredita-se que a região do centro da solda, teve um desempenho menor para o ângulo de 90° devido, ao mesmo ser receptivo a um maior volume de metal fundido, e conseqüentemente uma maior tendência ao crescimento de grãos.

A perda de rugosidade na região da raiz assumiu os maiores valores para a liga 3003. Este comportamento será provavelmente advindo da falta de fusão/penetração adicionalmente a presença da linha de segregação. Acredita-se que a falta de fusão/penetração promove a formação da fresta e a linha de segregação acaba potencializando o efeito do ataque localizado.

## Conclusões

---

Os exames realizados permitiram concluir que a corrosão entre as liga de alumínio 1060 e 3003, como metal base, foi similar, demonstrando a eficiência à deterioração frente ao contato com o  $\text{HNO}_3$ . Dos resultados de rugosidade, foi possível extrair que a diferença básica em uma resposta a resistência a corrosão, para ambas as ligas, será função das condições impostas pela soldagem e suas alterações metalúrgicas, já que as principais regiões afetadas foram justamente às regiões do centro e raiz da solda.

Acredita-se que a corrosão na região da solda (centro e raiz da solda) será dependente da composição química do metal de solda (metal de adição + metal base), da morfologia de solidificação, além, também, da formação de um perfil de solda com passe de penetração variado.

Quanto mais homogêneo for o balanço químico da região menor será a quantidades de precipitados no centro da solda e na raiz, conseqüentemente menores serão os teores de segregação e melhor será a granometrias. Este seria o caso da liga 1060 soldado com o eletrodo ER 1100, onde foi possível identificar com a metalografia um numero limitado de precipitado na raiz, e um desempenho considerável na região do centro da solda. Esse comportamento será função de um balanço químico mais homogêneo do conjunto (metal base + metal de adição).

Comparando os ângulos dos chanfros às amostras com  $90^\circ$  se apresentaram adequados no que se refere à falta de fusão ou penetração em ambas as ligas.

Nas amostras com ângulo de chanfro de  $60^\circ$ , foi possível visualizar a falta de fusão ou penetração, acarretando na formação de uma fresta. No caso da liga 3003, também para o ângulo  $60^\circ$ , somou-se além da falta de fusão a presença de impurezas advindas no balanço de composição química no metal fundido, cujos efeitos potencializaram o ataque localizado.

Com isso, apresentou-se com maior tendência de melhoria na resposta contra o fenômeno corrosivo a amostra que apresentou tais condições: composição química adequada do metal de solda e penetração na raiz (ausência da fresta), onde teve destaque a liga 1060 com ângulo de chanfro de  $90^\circ$ , sendo a junta de maior desempenho ao  $\text{HNO}_3$ . Essas considerações foram confirmadas através dos gráficos em estudo e das análises visuais feitas.

---

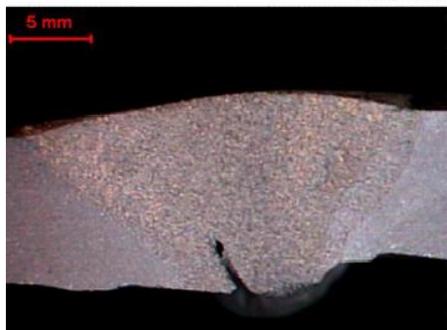
**Referências bibliográficas**

---

- AMBAT R., DWAARKADASA E.S., **Effect of hydrogen in aluminium and aluminum alloys: A review**, *Bulletin of Materials Science*, vol. 19, 1996, p. 103-114.
- AMBAT, R., DAVENPORT, A. J., SCAMANS, G. M., Afseth, A., 2006, “**Effect of iron-containing intermetallic particles on the corrosion behaviour of aluminium**, *Corrosion Science*, No. 48, pp. 3455-3471.
- ASHBY, M., SHERCLIFF, H., CEBON, D., 2007, **Materials: Engineering, Science, Processing and Design**, Butterworth-Heinemann, New York, 528 p.
- ASM INTERNATIONAL, 1997, **ASM Handbook: Corrosion**, Vol. 13, Ohio, USA, 3455 p.
- ASM INTERNATIONAL, 1998, **Metals and Alloys in the Unified Numbering System**, 8<sup>th</sup> Edition, Ohio, USA, 475 p.
- ASM INTERNATIONAL, 2003, **ASM Handbook: Corrosion**, Vol. 13A, Ohio, USA, 2597 p.
- BARRA, S. R., BUSCHINELLI, A. J., 1999, “**Aspectos de Metalurgia da Soldagem do Alumínio e Suas Ligas**, Estudo dirigido da disciplina EMC 6601 do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da UFSC, Florianópolis, Santa Catarina, Brazil, 47 p.
- BARRA, S. R., OLIVEIRA, T. P., REZENDE, R. F., **Efeito da Geometria do Chanfro e da Composição Química do Metal de Adição sobre a Resistência à Corrosão na União da Liga AA3003, Imersa em HNO<sub>3</sub>**, V Congresso Nacional de Engenharia Mecânica, 2009. Salvador, Brasil, 10 p.
- BELOV, N. A., AKSENOV, A. A., ESKIN, D. G., 2002, **Iron in aluminum alloys: impurity and Alloying element**, CRC Press, 360 p.
- DAVIS, J. R., 1993, **Aluminum and aluminum alloys**, ASM International, Ohio, USA, 784 p.
- DOVBISHCHENKO, I.V. *et al.*, 1979, **The effect of iron and silicon on the corrosion resistance of welded joints in commercial aluminium in nitric acid**, *Avt. Svarka*, No. 3, pp. 44-47.
- GENTIL V. 2007 *Corrosão*, 5 ed., Rio de Janeiro-Livro Técnico e Científico Editora S.A, pp. 73 - 82; 154- 160.
- NISANCIOGLU, K., **Understanding Corrosion Mechanisms of Impure Aluminum and Related Phenomena**, 201st Meeting of The Electrochemical Society, Philadelphia, USA, 2002. 8 p.
- TOTTEN, G. E., MACKENZIE, D. S., 2003, **Handbook of Aluminum: Alloy Production and Materials Manufacturing**, Vol. 2, Marcel Dekker Inc., New York, USA, 736 p.
- VARGEL, C., JACQUES, M., SCHIMID, M. P., 2004, **Corrosion of aluminium**, Elsevier Science, 626 p.
- WOLYNEC, S., 2003, **Técnicas Eletroquímicas em Corrosão**, Edusp, São Paulo, Brasil, 166 p.
- ZAITSEVA, L. V., MALAKHOVA, E. K., KISELEVA, L. A., MESHCHERYAKOV, A. V., BEREZOVSKII, L. B., 1989, **Corrosion Resistance of Aluminum in Concentrated Acids**, *Khimicheskie i Neftyanoe Mashinostroenie*, No. 9, pp. 28-29.

Apêndice A

Face da solda



CP 1 - 1060 / AC 60°



CP 7 - 3003 / AC 60°

Raiz da solda



CP 1 - 1060 / AC 60°

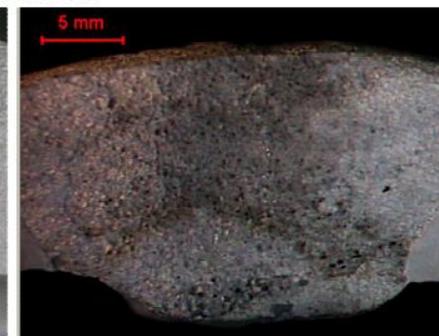


CP 7 - 3003 / AC 60°

Face da solda



CP 2 - 1060 / AC 60°



CP 8 - 3003 / AC 60°

Raiz da solda

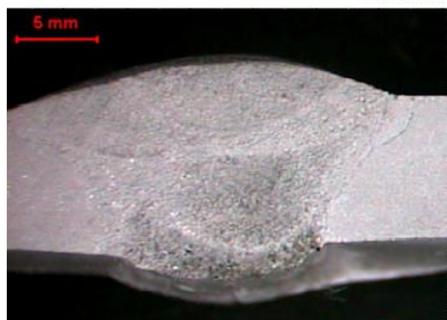


CP 2 - 1060 / AC 60°



CP 7 - 3003 / AC 60°

Face da solda



CP 3 - 1060 / AC 60°



CP 9 - 3003 / AC 60°

Raiz da solda

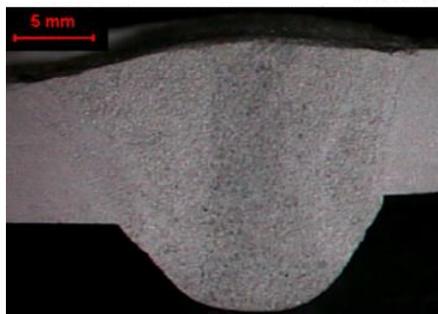


CP 3 - 1060 / AC 60°

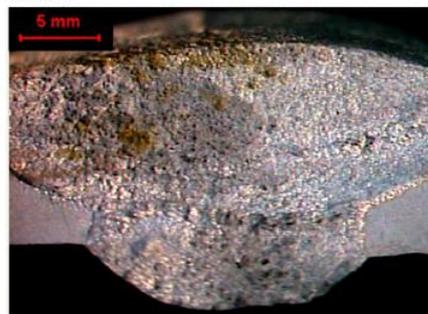


CP 9 - 3003 / AC 60°

Face da solda

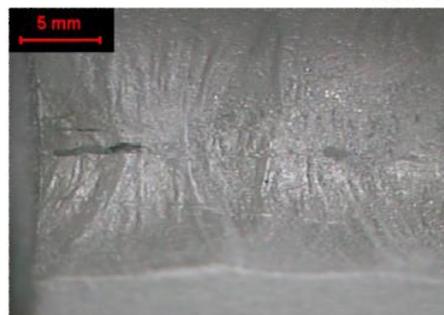


CP 4 - 1060 / AC 90°



CP 10 - 3003 / AC 90°

Raiz da solda



CP 4 - 1060 / AC 90°

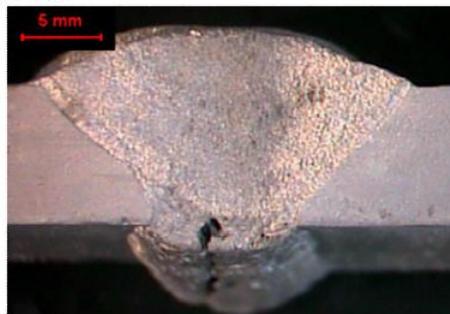


CP 10 - 3003 / AC 90°

Face da solda

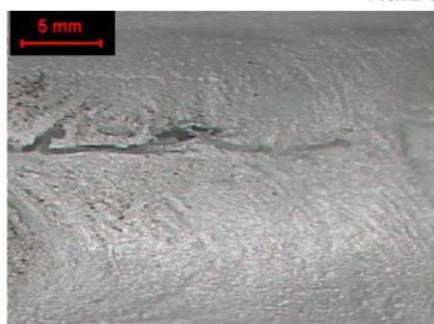


CP 5 - 1060 / AC 90°



CP 11 - 3003 / AC 90°

Raiz da solda

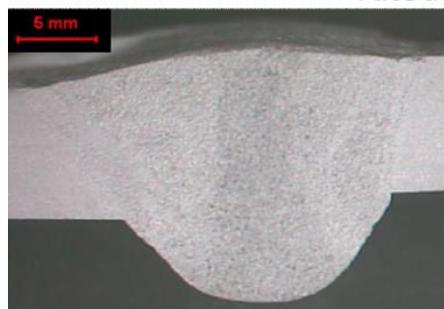


CP 5 - 1060 / AC 90°



CP 11 - 3003 / AC 90°

Face da solda



CP 6 - 1060 / AC 90°



CP 12 - 3003 / AC 90°

Raiz da solda



CP 6 - 1060 / AC 90°



CP 12 - 3003 / AC 90°