



CARACTERIZAÇÃO DA SOLDAGEM DO AÇO API 5L X65 PARA DIFERENTES TEMPERATURAS DE INTERPASSE

Norival Ferreira dos Santos Neto

Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica, Campinas, Brasil
E-mail: nneto@fem.unicamp.br

Hipólito Carvajal Fals

Universidade do Oriente, Facultad de Ingenieria Mecanica, Santiago de Cuba, Cuba
E-mail: carvajal@fim.no.edu.cu

Auteliano Antunes dos Santos Junior

Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica, Campinas, Brasil
E-mail: aute@fem.unicamp.br

Roseana da Exaltação Trevisan

Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica, Campinas, Brasil
E-mail: roseana@fem.unicamp.br

Resumo. No Brasil, o aumento da demanda energética tem impulsionado a construção de oleodutos e gasodutos, e o uso de técnicas avançadas de soldagem que permitam a união destes dutos com confiabilidade, maior rendimento e segurança, é de grande importância. O objetivo deste presente trabalho é apresentar um estudo sobre a influência de diferentes temperaturas de pré-aquecimento, mantidas também como temperaturas de interpasse, na morfologia e na microestrutura do aço API 5L X65 soldado. O processo de soldagem utilizado foi o FCAW-G e os parâmetros de soldagem permaneceram inalterados durante os experimentos, excetuando-se as velocidades de soldagem entre os dois passes executados. A caracterização da geometria e microestrutura da região soldada foi executada através de análise de imagens de microscópio óptico. Os ciclos térmicos e as temperaturas de interpasse foram coletadas através de um sistema informatizado de aquisição de dados. Os resultados obtidos mostraram que o aumento da temperatura de interpasse causou um maior insumo de calor na região soldada e uma diminuição na taxa de resfriamento. O segundo passe teve crescimento de grãos colunares com ferritas alotriomorfas em seus contornos, tendo provocado um refinamento de grão no primeiro passe. Os cordões de solda realizados com 180°C de temperatura de interpasse apresentaram as melhores características morfológicas e microestruturais.

Palavras chave: temperatura de interpasse, FCAW-G, morfologia do cordão, API 5L X65.

1. INTRODUÇÃO

No Brasil, o aumento da demanda energética tem impulsionado a construção de oleodutos e gasodutos, e é de grande importância o uso de técnicas avançadas de soldagem que permitam a união destes dutos com confiabilidade, maior rendimento e segurança.

O processo FCAW-G (“Flux Cored Arc Welding – Gas Shielded”) é pouco usado em solda de dutos, sendo uma técnica de alta produtividade. Este processo consiste no uso de eletrodo de configuração tubular, contendo fluxo em seu interior e deixando a parte metálica externa livre para

o contato metálico, sendo que há a necessidade do uso de gás de proteção. Um dos tipos de consumível possível de utilização neste processo é o “Metal Cored Wires”, que por conter pouco fluxo mineral gera uma quantidade mínima de escória (Norrish, 1992), permitindo maiores facilidades na soldagem multipasse.

A soldagem multipasse é um recurso utilizado em conjuntos soldados espessos onde há a necessidade de vários cordões de solda superpostos. A temperatura de pré-aquecimento (T_{pa}) é a temperatura do metal base imediatamente antes do primeiro depósito. A temperatura de interpasse (T_{pi}) é a temperatura da junta antes de um novo depósito ser efetuado e, assim como a T_{pa} , têm fundamental efeito na região soldada.

O pré-aquecimento e o controle da temperatura de interpasse têm como função a redução da taxa de resfriamento e das tensões residuais causadas pela soldagem (Radaj, 1992). A temperatura de pré-aquecimento depende de vários fatores, conforme Jones e Luo (1990): composição química e propriedades físicas do metal base, insumo de energia, tipo de eletrodo, grau de restrição da junta e espessura da chapa soldada. Para o cálculo da temperatura de pré-aquecimento, é necessário que se obtenha o valor do Carbono Equivalente (C_{eq}), que indica a tendência do material para a formação da martensita e depende de dois fatores: composição química do material e taxa de resfriamento. Existem várias fórmulas de C_{eq} que são expressões empíricas usadas para explicar a influência dos elementos de liga no comportamento das transformações dos aços, e diferem nos elementos que são incluídos e na magnitude de seus coeficientes. Para o aço API 5L X65, a norma API 5L (2000) recomenda o valor máximo de carbono equivalente de 0,43% e o uso da equação Eq. (1) para este cálculo.

$$C_{eq}(IIW) = C + \frac{Mn}{6} + \frac{(Cr + Mo + V)}{5} + \frac{(Ni + Cu)}{15} \quad (1)$$

Easterling (1983), propõe a fórmula de Ito e Bessyo para o cálculo da temperatura de pré-aquecimento mínima para a prevenção de trincas a frio, baseada no C_{eq} (agora P_{cm} – Eq.2), no hidrogênio difusível (H) e na espessura da chapa (s), Eq. (4), onde K é 66.s.

$$P_{cm} = C + \frac{Si}{30} + \frac{Mn}{20} + \frac{Cu}{20} + \frac{Ni}{60} + \frac{Cr}{20} + \frac{Mo}{15} + \frac{V}{10} + 5B \quad (2)$$

$$P_w = P_{cm} + \frac{H}{60} + \frac{K}{40000} \quad (3)$$

$$T_{pa} = 1440P_w - 392^\circ C \quad (4)$$

Este trabalho tem como objetivo apresentar um estudo do efeito de diferentes temperaturas de pré-aquecimento, mantidas também como temperaturas de interpasse (T_{pi}), na morfologia e na microestrutura de soldas do aço API 5L X65. Para tanto, foram utilizados três valores de T_{pi} : temperatura ambiente ($25^\circ C$), $180^\circ C$ e $250^\circ C$. A T_{pi} de $180^\circ C$ foi calculada através do $C_{eq}(IIW)$ e da Eq. (4); adotando 2 ml / 100 g como hidrogênio difusível. A T_{pi} de $250^\circ C$ é tida como usual por Scotti e Rosa (1997).

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Como metal base foram utilizadas chapas de aço API 5L X65 – PSL 1, com dimensões de 150 x 120 x 8,1 mm, tendo a direção de laminação paralela ao chanfro, conforme demonstrado pelas bandas de perlita que aparecem na micrografia da seção transversal da Fig. (1), obtida através de microscopia óptica. A composição química do material é mostrada na Tab. (1), tendo o valor do C_{eq} de 0,36%, calculado através da Eq. (1).

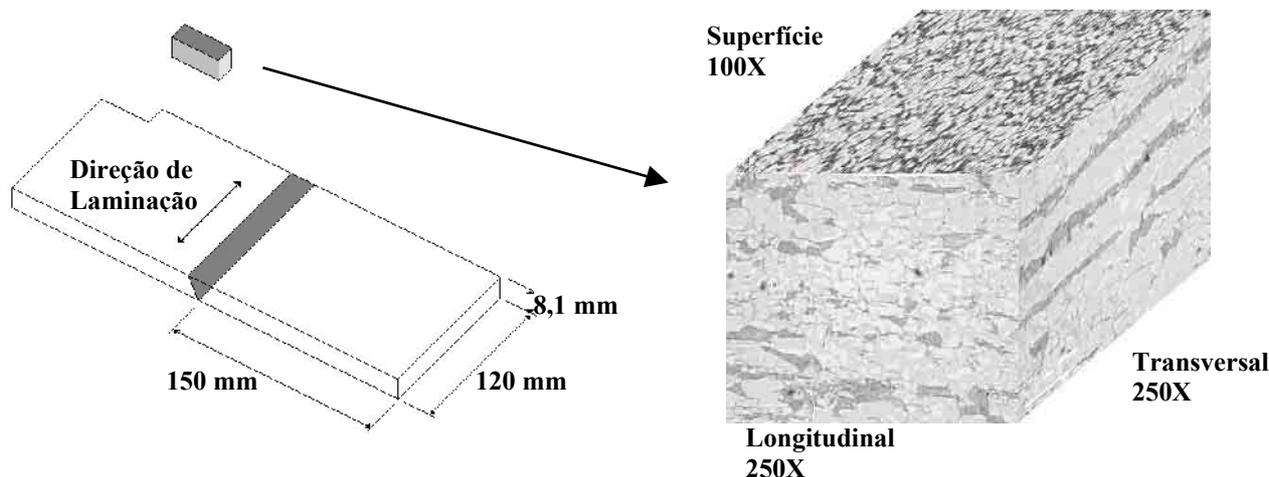


Figura 1. Dimensão das Amostras e Direção de Laminação (Nital 2%).

Tabela 1. Composição Química do Aço e seu Carbono Equivalente.

C	Si	Mn	P	S	Al	Cu	Nb	V
0,08 %	0,18 %	1,54 %	0,025 %	0,005 %	0,029 %	0,01 %	0,041 %	0,024 %
Ti	Cr	Ni	Mo	Sn	N	B	Ca	<i>Ceq</i>
0,013 %	0,03 %	0,02 %	0,03 %	0,002 %	0,0034 %	0,0001 %	0,0025 %	0,36 %

As soldas foram efetuadas pelo processo FCAW-G, em CCEP, utilizando-se um fonte ESAB LAB 400, tendo como gás de proteção o argônio com mistura de 25% de CO₂. Foram efetuados dois passes de solda sobrepostos com as mesmas condições de soldagem, variando-se apenas a velocidade de soldagem, como mostrado na Tab. (2). O arame utilizado foi o “Metal Cored Wire” E70C-3M com 1,2 mm de diâmetro tendo a composição química conforme a Tab. (3).

Tabela 2. Parâmetros de Soldagem.

	Corrente (A)	Tensão (V)	Velocidade de Soldagem (cm/min)	Stick-out (mm)	Vazão do gás (l/min)
1º passe	200	25	40	23	11
2º passe	200	25	30	23	11

Tabela 3. Composição química do arame 100% puro, fornecida pelo fabricante.

C	Mn	Si	P	S
0,03 %	1,74 %	0,84 %	0,009 %	0,017 %

As juntas foram produzidas em soldas de topo com configuração de chanfro indicado na Fig. (2), sendo a tocha perpendicular à chapa com 10° de inclinação no sentido puxando. Antes da execução da soldagem, todos os corpos de prova sofreram jateamento abrasivo para limpeza. Em seguida, as superfícies foram limpas com ar comprimido isento de água.

Para o pré-aquecimento, foi utilizada uma chama oxiacetilênica movimentada próxima a superfície inferior das amostras. O tempo de exposição das amostras à chama foi calculado conforme levantamentos prévios de tempo de aquecimento do material para se atingir a temperatura desejada. As temperaturas de interpasse foram obtidas respeitando-se o tempo de resfriamento do material soldado, levantado pelos ciclos térmicos obtidos.

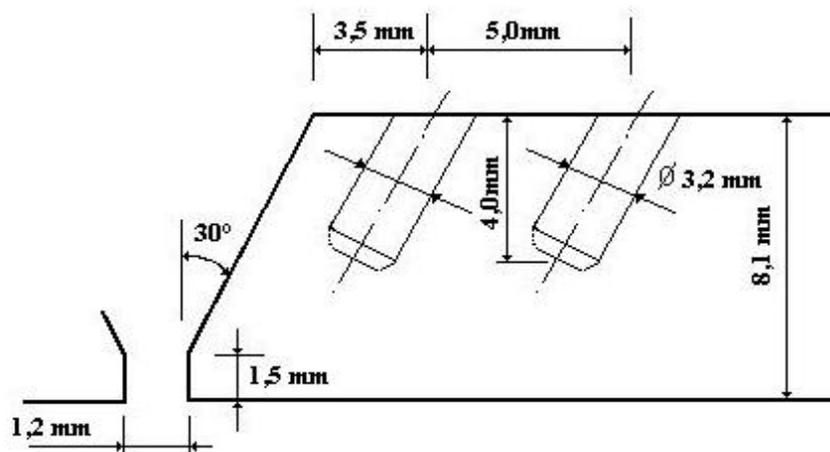


Figura 2. Dimensões do chanfro e disposição dos termopares para a medida dos ciclos térmicos.

Para medida dos ciclos térmicos foram utilizados termopares do tipo R (Pt/Pt-Rh), com diâmetro de 0,5 mm, tendo como processador o programa Aqdados, da Lynx Tecnologia, com placa de conversão A/D instalada em microcomputador Pentium, com coletas de dados na frequência de 15 Hz. Os termopares foram inseridos em furos previamente usinados, a uma distância de 3,5 mm e 8,5 mm da borda superior do chanfro, conforme é mostrado na Fig. (2).

A avaliação da morfologia dos cordões de solda foi feita utilizando-se amostras preparadas metalograficamente. A retirada dos corpos de prova foi realizada através de corte transversal no cordão de solda, sendo que cada corpo de prova foi lixado na seqüência usual de preparação de ensaio metalográfico até a granulação de 1200. O ataque após o lixamento foi realizado com reagente Nital 10 % durante 30 segundos. As amostras, assim preparadas, foram então levadas ao Microscópio Óptico Leika, na regulagem de ampliação de 25 vezes, onde as imagens dos cordões de solda foram analisadas e medidas através do programa *Global Image Analyser*, instalado em microcomputador Pentium.

Para a verificação da microestrutura da região do conjunto soldado, foram retiradas amostras de seções transversais ao cordão que tiveram a preparação metalográfica com lixamento seguido de polimento com pastas de diamante de granulação 6 e 1 μm , respectivamente. Após o polimento foi feito ataque utilizando-se o reagente Nital 2 % por 10 segundos. Os exames metalográficos foram efetuados em um Microscópio Óptico Neophot, com ampliações de 100, 250 e 500 vezes.

A variável de influência deste trabalho foi a temperatura de interpasse. O planejamento experimental aleatorizado por níveis com modelo de efeitos fixos foi o utilizado neste experimento, Montgomery (1991), perfazendo-se um total de 9 ensaios. Foi analisada como variável de resposta a área total do cordão de solda, sendo também verificada as tendências dos comprimentos do reforço e da largura do segundo passe e da zona termicamente afetada (ZTA).

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Foram obtidas variações morfológicas dos cordões de solda em função das diferentes temperaturas de interpasse, como pode ser observado na Fig. (3). Nesta figura são apresentadas três macrografias representativas destas distintas morfologias, onde verifica-se que a ZTA, a área do cordão de solda, a largura e o reforço tiveram significativas mudanças em suas dimensões.

Observa-se também na Fig. (3), que em todas as T_{pi} usadas no trabalho foi obtida penetração total da junta soldada.

Os valores dimensionais médios da área, do reforço e da largura dos cordões de solda, obtidas através das análises das imagens das macrografias, em função das temperaturas de interpasse (T_{pi}), podem ser observadas na Tab. (4).

Nesta tabela verifica-se um aumento da área do cordão de solda de 55,5 mm² para 62,0 mm² com o aumento da Tpi de 25°C para 250°C. Estas modificações morfológicas com o aumento da Tpi são também verificadas para a largura, com aumento de 10,8 mm para 11,8 mm; e para o reforço com uma diminuição na sua altura de 1,6 mm para 1,2 mm.

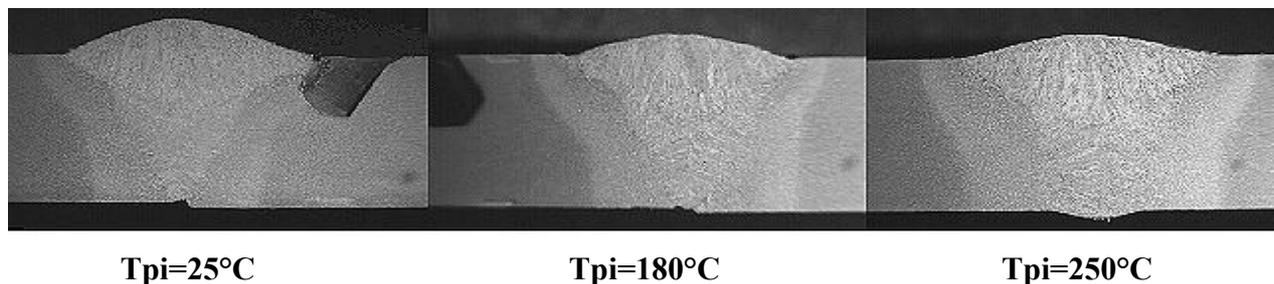


Figura 3. Macrografias dos cordões de solda com diferentes temperaturas de interpasse (Tpi). (3X) Nital 10%.

Tabela 4. Dimensões médias das morfologias dos cordões de solda.

Tpi	Área AT (mm ²)	Reforço R ₂ (mm)	Largura L ₂ (mm)
250°C	62,0	1,2	11,8
180°C	60,7	1,3	11,4
25°C	55,5	1,6	10,8

Uma melhor visualização da análise feita com os valores apresentados na Tab. (4) é realizada através dos gráficos da Fig. (4), onde além das médias dos valores já apresentados, foram também plotados os valores das réplicas mostrando a dispersão das medidas realizadas que foram coerentes com o número de ensaios. O planeamento experimental efetuado revelou o aumento da área da seção transversal do cordão com o aumento da Tpi com um nível de significância (α) de 2,7 %.

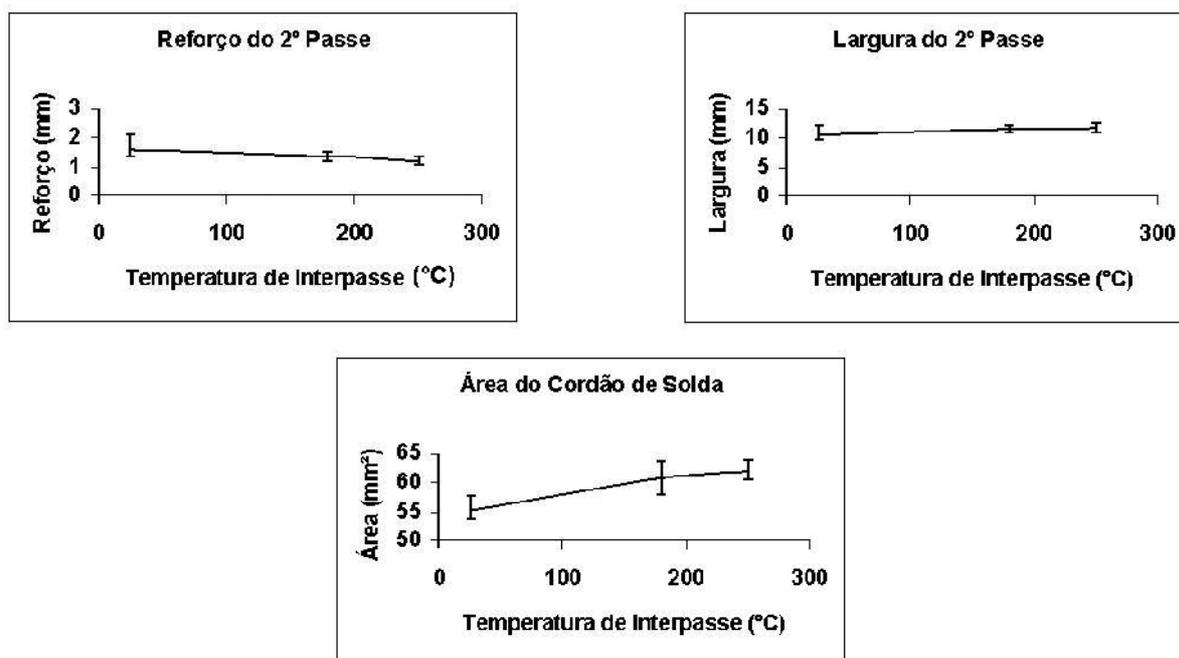


Figura 4. Gráficos representativos das mudanças nas morfologias dos cordões de solda em função das temperaturas de interpasse.

Para a variação da T_{pi} analisada, constatou-se uma tendência de crescimento da largura do cordão de solda, assim como de decréscimo do reforço, que podem ser observados através dos gráficos da Fig. (4). Esta mudança morfológica acarreta um cordão de solda mais suave (menor reforço e maior largura), conforme Farias (2001).

O aumento da temperatura de interpasse causou um maior insumo de calor na junta soldada por fornecer energia ao metal base antes da realização dos passes. Este aumento do insumo de calor provocou uma maior diluição do cordão de solda, isto é, uma maior quantidade de metal base foi fundido junto com o metal de adição formando uma poça de fusão maior, conseqüentemente aumentando a área e a largura do cordão. Este fenômeno também causou uma maior fluidez, permitindo o espalhamento superficial do cordão de solda, diminuindo o reforço.

Por outro lado, a ZTA teve uma grande variação com o aumento da temperatura de interpasse, isto é, a ZTA aumentou de tamanho com o incremento da temperatura. Este aumento foi de 2,6 mm quando foi realizada a soldagem a temperatura ambiente a 4,3 mm quando usou-se 250 °C como temperatura de interpasse. Um aumento de tamanho da ZTA pode ser considerado prejudicial nos processos de soldagem, devido às transformações microestruturais que podem acontecer na região diminuindo as propriedades mecânicas da zona.

Os ciclos térmicos obtidos com as diferentes temperaturas de interpasse são apresentados na Fig. (5), tendo o termopar mais próximo ao cordão de solda como fonte de dados (ver Fig. 2). Da análise dos ciclos térmicos apresentados verifica-se que quando a T_{pi} foi elevada, obteve-se picos de temperaturas maiores para ambos os passes de solda, e também uma diminuição do tempo de interpasse.

Ainda observando-se o gráfico dos ciclos térmicos, verifica-se que a temperatura de pico do segundo passe para T_{pi} de 250°C atingiu a temperatura de fusão do cordão de solda. Como as dimensões do chanfro e as distâncias dos termopares são constantes, o aumento da área do cordão de solda com o incremento da T_{pi} eleva o valor da temperatura de pico.

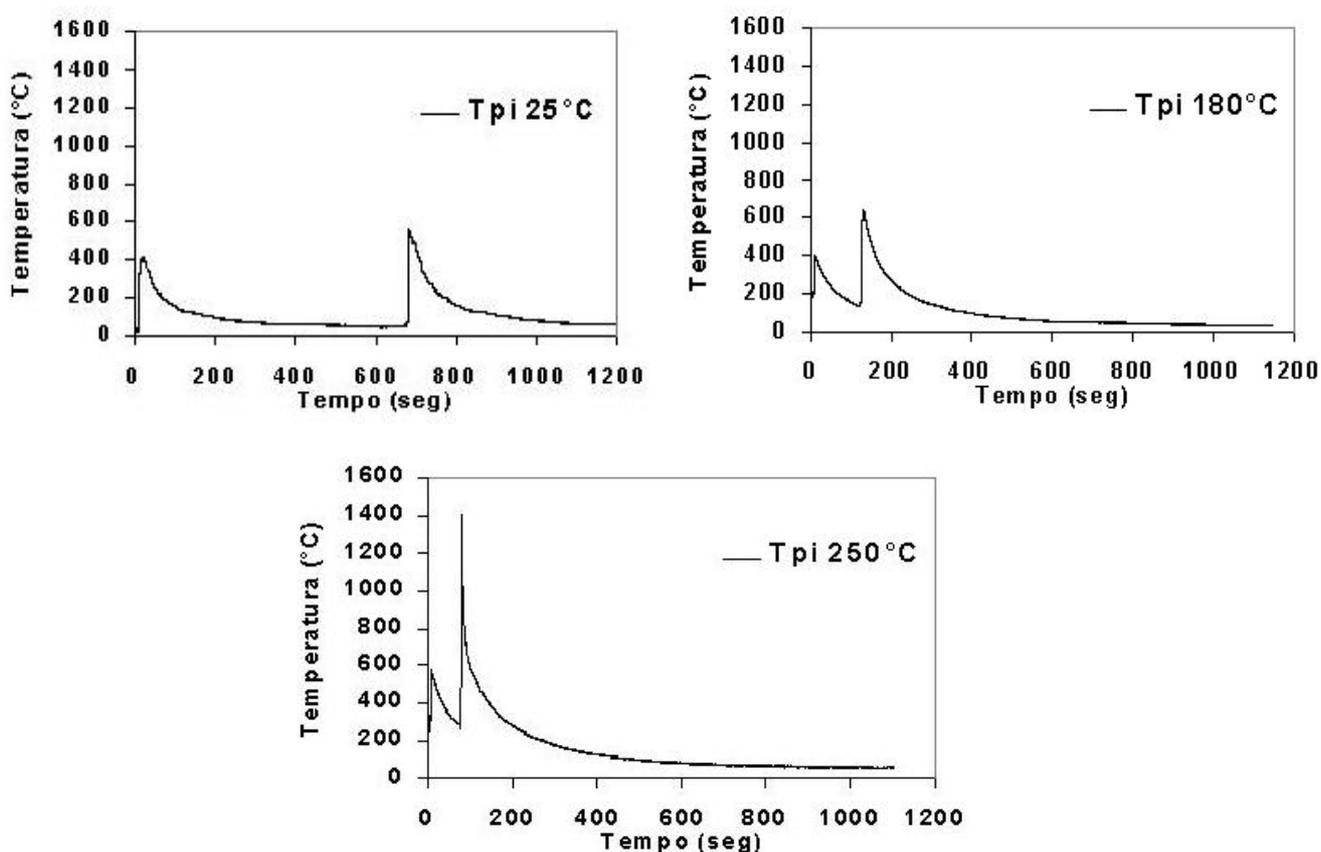


Figura 5. Ciclos térmicos para as diferentes temperaturas de interpasse.

Os picos de temperatura (T_p) e o tempos de resfriamento de 300°C a 100°C (Δt_{3-1}) do segundo passe são apresentados na Tab. (5). Os valores de Δt_{3-1} foram utilizados em substituição à variação de tempo entre os 800°C e 500°C (Δt_{8-5}), usualmente usado como referência para determinação da taxa de resfriamento em juntas soldadas, já que os locais onde foram obtidos experimentalmente os ciclos térmicos não atingiram a temperatura de 800°C, quando foram usadas as T_{pi} de 25°C e 180°C.

Tabela 5. Valores extraídos dos ciclos térmicos.

T_{pi} (°C)	T_p (°C)	Δt_{3-1} (seg.)
25	566	188
180	639	210
250	1411	297

As T_p para os ciclos térmicos levantados, foram de 566°C, 639°C e 1411°C respectivamente para valores crescentes da T_{pi} . Os tempos de resfriamento (Δt_{3-1}) também sofreram modificações passando de 188s para T_{pi} de 25°C, para 297°C para uma T_{pi} de 250°C. Este expressivo aumento no tempo de resfriamento muito provavelmente acarretaram um maior tamanho de grão com fases transformadas mais grosseiras, porém menos tenazes.

Nas observações macroestruturais realizadas, foram definidas claramente as regiões mais importantes da junta soldada podendo ser constatado o crescimento colunar típico dos processos de soldagem.

Observou-se ainda que em todas as condições o segundo passe provocou a refusão de uma região do primeiro, provocando mudanças microestruturais na mesma, sendo a mais importante, um aumento na formação da fase de ferrita alotriomorfa na região de mais alta temperatura do primeiro passe.

Também, como era esperado, o segundo passe provocou uma ZTA no primeiro, a qual teve um aumento da espessura na medida que incrementou-se a T_{pi} .

Quando foram usadas as T_{pi} de 180°C e 250 °C o segundo passe provocou no primeiro um tratamento térmico completo de refino de grãos, aspecto que foi considerado como um excelente resultado, visando melhorias nas propriedades mecânicas que possam ocorrer nessa região. Svensson (1994), concorda com este resultado e ainda afirma que isto é de sumo interesse para controlar a quantidade de microestrutura transformada durante o processo de soldagem. O aumento da energia no processo através do incremento da T_{pi} , possibilitou este tratamento térmico, permitindo a transformação microestrutural do material em condições de resfriamento apropriadas.

Os cordões de solda realizados com T_{pi} de 25 °C apresentaram uma região de grãos grosseiros colunares na região da raiz do primeiro passe, zona que não alcançou a temperatura de transformação microestrutural. Isto provocou heterogeneidade microestrutural com propriedades mecânicas provavelmente inferiores à região tratada de grãos finos.

Em todas as condições experimentais usadas, o cordão de solda do segundo passe apresentou uma microestrutura composta por grandes grãos colunares delimitados nas bordas por ferrita em forma de veias de contorno de grão (FCG), chamadas como ferrita alotriomorfas, Linnert (1994). Verificou-se ainda a formação de ferrita de placas laterais ou Widmanstätten (FW) que cresceram também nos contornos dos grãos de austenita primária, ferrita acicular (FA) que se forma nas inclusões no interior dos grãos de austenita e ferrita poligonal intragranular (FPI), bainita (B) e austenita retida (AR), como se observa na Fig. (6).

A mudança microestrutural mais importante no segundo passe foi o aumento da formação de ferrita alotriomorfa de contorno de grão como se observa na composição microestrutural da Fig. (7). Nesta figura mostra-se a região central do segundo passe nas três temperaturas usadas, ficando evidente o aumento de tamanho e quantidade da ferrita nos contornos dos grãos quando aumentou-se a temperatura de interpasse.

Por outro lado, apesar dos cordões realizados com Tpi de 250 °C apresentarem um primeiro passe completamente refinado, comprovou-se que as ferritas de contornos de grãos obtidas no segundo passe são maiores em comparação com os resultados obtidos com as outras Tpi (Fig. 7). Isto pode ser associado à menores taxas de resfriamento alcançadas com esta condição experimental, o que não é desejável pela possibilidade de ocorrências de falhas associadas a este tipo de fase. Também foi verificado o maior aumento da ZTA no metal de base, aspecto que pode ser considerado negativo por apresentar regiões frágeis na zona de crescimento de grão da ZTA (CGZAT) de maior tamanho.

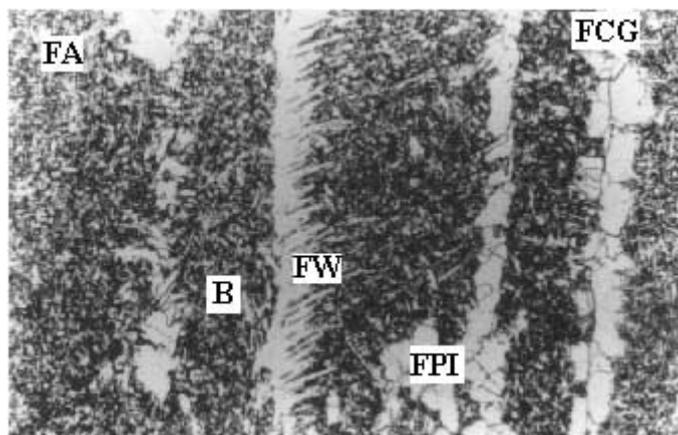


Figura 6. Microestrutura do segundo passe do cordão de solda. Amostra soldada com 180 °C de temperatura de interpasse. 250X. Nital 2%.

A zona tratada termicamente do metal de base apresentou mudanças microestruturais importantes que foram observadas durante as análises metalográficas. Na CGZAT correspondente ao segundo passe, observou-se a presença das seguintes microestruturas: martensita muito fina, bainita e ferrita de Widmanstätten.

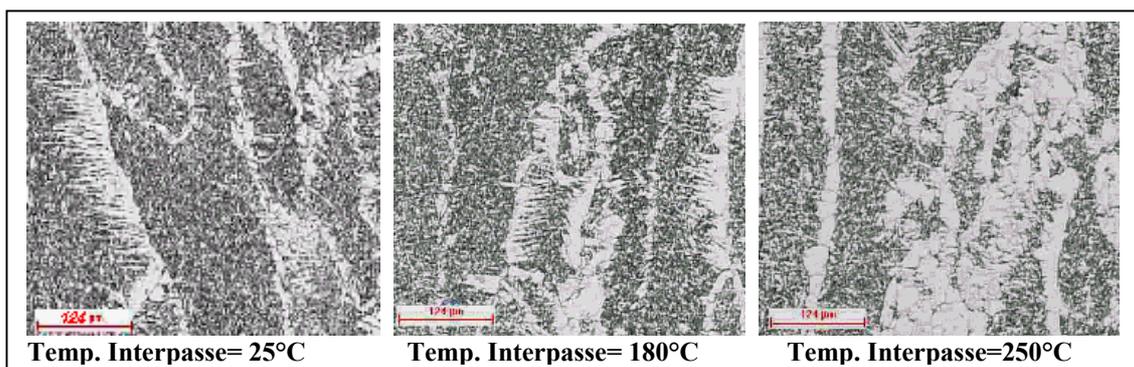


Figura 7. Efeito da temperatura de interpasse na formação microestrutural do segundo passe. 100X Nital 2%.

A zona de crescimento de grão formada na ZTA do primeiro passe teve influência do ciclo térmico imposto pelo segundo passe provocando um refinamento dos grãos e por consequência, provavelmente melhores propriedades mecânicas. Isto aconteceu na ZTA completa dos corpos de prova soldados com temperatura de interpasse de 180°C e 250°C, onde o metal de solda do primeiro passe sofreu um tratamento térmico completo. Por outro lado, nos corpos de prova soldados usando a temperatura ambiente como temperatura de interpasse, foi constatada a presença de uma região de crescimento de grão na ZTA do primeiro passe adjacente à raiz da junta, onde não existiu a influência térmica do segundo passe.

Considerando-se os resultados microestruturais obtidos e as análises da morfologia dos cordões apresentadas neste trabalho, podemos afirmar que a condição de soldagem realizada com 180°C como Tpi apresentou uma excelente morfologia com penetração total de junta e com valores intermediários de área, largura e reforço do cordão de solda. Portanto a condição de soldagem onde foi usado 180°C como Tpi, foi a condição mais adequada para a soldagem multipasse do aço estudado.

4. CONCLUSÕES

Os resultados alcançados no trabalho permitiram chegar as seguintes conclusões:

- As condições de soldagem permaneceram constantes, porém o insumo de calor aumentou com o aumento da temperatura de interpasse, diminuindo a taxa de resfriamento da junta soldada.
- O aumento da temperatura de interpasse fez com que a área do cordão de solda e a região da zona termicamente afetada aumentassem.
- Como consequência da Tpi, constatou-se uma tendência de crescimento da largura e diminuição do reforço dos cordões.
- Para temperaturas de interpasse de 180°C e 250°C, o segundo passe provocou um tratamento térmico completo de refinamento de grãos na região do primeiro passe
- A microestrutura do cordão de solda foi afetada, verificando-se o aumento de tamanho e quantidade da ferrita alotriomorfa nos contornos dos grãos para temperaturas de interpasse maiores.
- Os cordões de solda realizados com 180°C de temperatura de interpasse apresentaram as melhores características morfológicas e microestruturais.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CTPETRO/FINEP pelo apoio financeiro e à Techint Engenharia S.A. pelo fornecimento dos corpos de prova.

6. REFERÊNCIAS

- API 5L, 2000, "Specification for Line Pipe", API, 42^a ed., Washington, 153 p.
- Correa, A.C. and Trevisan, R.E., 2001, "Influência dos Parâmetros de Soldagem MIG Pulsada e Convencional na Morfologia do Cordão e na Microestrutura" – 1^o COBEF, Curitiba, Brasil, 8 p.
- Easterling, K., 1983, "Introduction to the Physical Metallurgy of Welding", Butterworths, London, 231 p.
- Farias, J.P., Luz, T.S. and Rodrigues, C.E.A.L., 2001, "Efeito do Tipo de Gás de Proteção sobre o Desempenho do Arame Tubular AWS E71T-1", 16th Brazilian Congress of Mechanical Engineering, Vol.18, Uberlândia, Brasil, pp.129-136.
- Jones, J.E. and Luo, Y., 1990, "Welding: Theory and Practice", Elsevier, pp.293-323.
- Linnert, G.E., 1994, "Welding Metallurgy", 4^a ed., v.1, AWS, USA, Cap.9 – Simple Welds in Iron and Steel, pp. 787-891.
- Montgomery, D.C., 1991, "Design and Analysis of Experiments", 3^a ed., John Wiley and Sons, NY, 428 p.
- Norrish, J., 1992, "Advanced Welding Processes", IOP Publishing, Bristol, Cap.7 – Gas Metal Arc Welding, pp. 131-173.
- Radaj, D., 1992, "Heat Effects of Welding-Temperature Field, Residual Stress, Distortion", Springer-Verlag, USA, 348 p.

- Scotti, A. and Rosa, L.A.A., 1997, "Influence of Oscillation Parameters on Crack Formation in Automatic Fe-B Hardfacing", Journal of Materials Processing Technology, Elsevier, pp.272-280.
- Svensson, L.E., 1994, "Control of Microstructures and Properties in Steel Arc Welds", CRC Press, USA, 240 p.

CHARACTERIZATION OF WELDING IN WELDED API 5L X65 STEEL FOR DIFFERENTS INTERPASS TEMPERATURE

Norival Ferreira dos Santos Neto

The State University of Campinas, Mechanical Engineering Faculty, Campinas, Brazil

E-mail: nneto@fem.unicamp.br

Hipólito Carvajal Fals

University of Oriente, Mechanical Engineering Faculty, Santiago de Cuba, Cuba

E-mail: carvajal@fim.no.edu.cu

Auteliano Antunes dos Santos Junior

The State University of Campinas, Mechanical Engineering Faculty, Campinas, Brazil

E-mail: aute@fem.unicamp.br

Roseana da Exaltação Trevisan

The State University of Campinas, Mechanical Engineering Faculty, Campinas, Brazil

E-mail: roseana@fem.unicamp.br

Abstract. *The increase of energy demand in Brazil has stimulated the construction of oil and gas pipelines. Advanced welding techniques aiming at better reliability and more efficient ways of welding steel for applications on the petrochemical industry, has been therefore considered very important. The purpose of this research is to present a study on the effect of different preheating temperatures, also maintained as interpass temperatures, on morphology and microstructure of welded API 5L X65 steel. The welds were deposited by FCAW-G Process and the heat input was held constant during all welding production. The interpass temperatures were calculated by different methods. Such temperatures were later verified experimentally. Temperature data were collected via a data acquisition system. The geometry and microstructure characterizations were performed via light optical microscopy and image analysis. These data were related with the different thermal cycles obtained. The results showed that the morphology and the microstructure of welded API 5L X65 steel were strongly influenced by the interpass temperature. In all runs, under different experimental conditions, the second pass resulted in structures of coarse columnar grains with allotriomorphic ferrites at the grain boundaries. It was also observed that the second pass induced grain refinement on the microstructure of the first pass. The interpass temperature of 180 °C produced welds with better morphology and microstructure than those made with interpass temperatures of 25 °C and 250 °C.*

Keywords. *Interpass temperature, FCAW-G, morphology of beads, API 5L X65.*