

# **ANÁLISE DA ESTRUTURA AUSTENÍTICA PRÉVIA FORMADA NOS AÇOS SOLDADOS PELO PROCESSO DE ARCO SUBMERSO.** Alexandre Augusto Cesario Asselli, Juno Gallego. – Estrutura dos Metais e Ligas – Engenharia Mecânica – Departamento de Engenharia Mecânica – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – Campus de Ilha Solteira.

As propriedades mecânicas do metal de solda depositado pelo processo de arco submerso são afetadas pela microestrutura formada nessa região. Os efeitos resultantes da diluição química e dos ciclos térmicos tornam as transformações de fase na zona fundida um tanto complexas, promovendo a nucleação de ferrita com diversas morfologias. A ferrita acicular pode ser considerada um microconstituente bastante desejável no metal de solda, considerando os seus níveis de resistência mecânica e tenacidade, cuja formação depende da estrutura austenítica anterior a transformação de fase. No presente trabalho foi realizado um estudo sobre a morfologia austenítica prévia formada no metal de solda depositado pelo processo de soldagem por arco submerso (SAS) por diferentes condições. A análise da microestrutura existente nas seções longitudinal, normal e transversal do cordão de solda determinou que a morfologia desses grãos foi preponderantemente colunar, afetada significativamente pela variação da energia de soldagem utilizada nos ensaios.

Nos ensaios de soldagem uma série de cordões de solda foi depositada sobre a superfície das chapas (*bead on plate*) de aço carbono ASTM A36, especificação normalmente usada em estruturas metálicas. O metal de base empregado nos ensaios foi dividido em dois lotes, nos quais foi realizado o tratamento térmico de têmpera após a austenitização em 950 ou 1100°C por uma hora. Para cada lote do metal base foram depositados dois cordões de solda, nos quais foram utilizados uma determinada energia de soldagem - 1,0 ou 3,0 kJ/mm. Foi criada uma codificação para a identificação do metal base (09 ou 11) e o insumo de calor (10 ou 30) usados na soldagem, separados pela letra AL. Deste modo a amostra designada por 09AL10 corresponderia à soldagem da chapa tratada termicamente a 950°C com um aporte térmico de 1,0kJ/mm. Para a proteção da poça de fusão foi empregado um fluxo granulado ativo, conforme especificação AWS F7AZ-EM12K.

De cada cordão de solda foram cortados pedaços das seções longitudinal (L), normal (N) e transversal (T) com disco abrasivo refrigerado, conforme nomenclatura indicada por Liu <sup>(1)</sup>. Estas amostras foram embutidas em resina de poliéster e a preparação metalográfica das superfícies foi realizada da maneira convencional, com o lixamento até a grana #1200 seguido de polimento mecânico com alumina 1µm. Para a revelação da microestrutura do metal de solda foi empregado o reativo de Marshall (5ml ácido sulfúrico, 8g ácido oxálico, 10ml peróxido de hidrogênio, 100ml água destilada), seguindo-se a observação das amostras em um estereomicroscópio dotado de câmera digital com resolução de 3 megapixels.

A caracterização quantitativa da estrutura austenítica prévia foi realizada a partir de micrografias digitais tiradas em 25 campos contíguos distintos varrendo a interface e o interior do metal de solda. Estas imagens foram coletas no formato JPEG com resolução 314 ppi e processadas em editor gráfico para binarização. A Figura 1 apresenta exemplares da microestrutura do metal de solda analisada nas diferentes seções examinadas, onde se pode verificar que a microestrutura austenítica era morfologicamente anisotrópica.

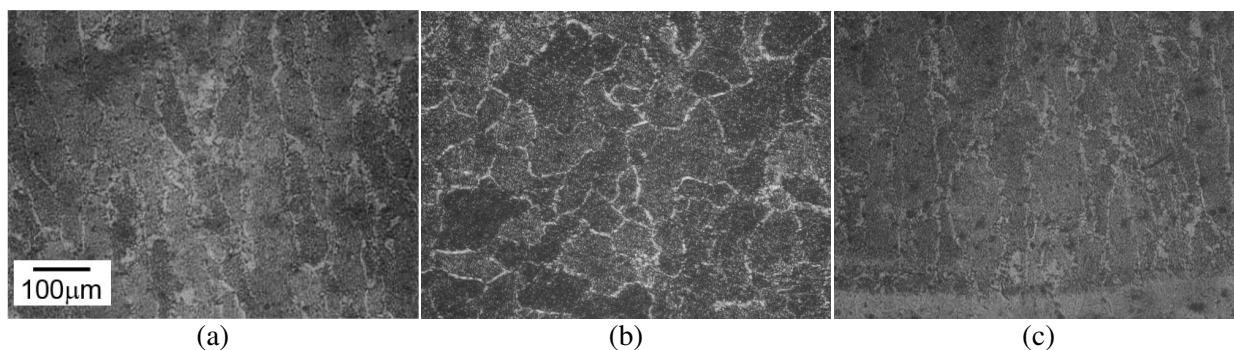


Figura 1: Micrografias referentes as seções longitudinal (a), normal (b) e transversal (c) do metal de solda, nas quais foi observado a ferrita primária revelando a antiga estrutura austenítica. Amostra 11AL10. Ataque: reativo de Marshall. Ampliação padronizada em 75 vezes.

A determinação dos interceptos lineares da antiga estrutura austenítica, a partir da presença da ferrita primária, foi realizada aplicando-se um conjunto de linhas-teste em 4 orientações distintas (0, 45, 90 e 135°) sobre as micrografias de cada seção de corte, como exemplifica a Figura 2.

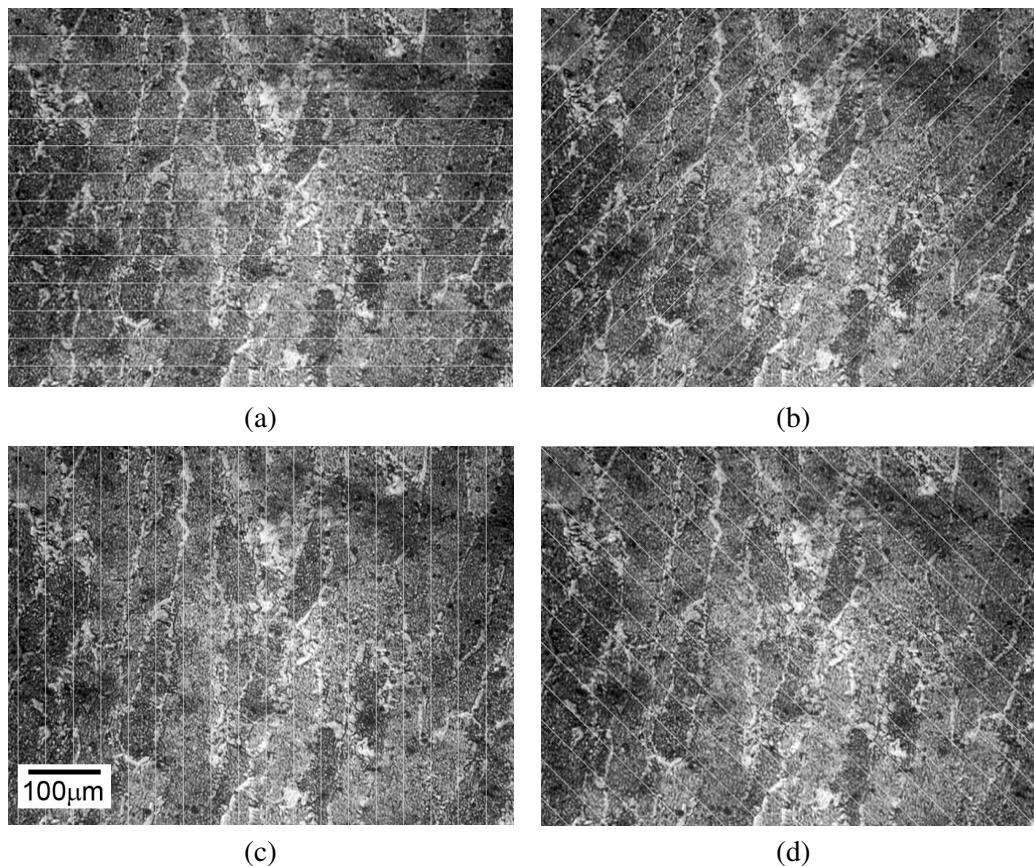


Figura 2: Exemplo de processamento de micrografia com aplicação de linhas-teste em quatro orientações distintas, 0° (a), 45° (b), 90° e 135°, para obtenção dos interceptos lineares. Amostra 11AL10 (L). Ampliação padronizada em 95 vezes.

Estes arquivos foram processados no analisador de imagens *Image Tool*<sup>(2)</sup>, disponibilizado gratuitamente na Internet. O método de análise de imagem no *Freeware Image Tool* (Figura 3) foi realizado utilizando uma ferramenta na qual forneceu dados referentes aos valores dos segmentos das intersecções entre as linhas-teste e os contornos de grãos da microestrutura de cada micrografia.



Figura 3: Interface do Software *Image Tool*, utilizado para obtenção dos valores dos interceptos lineares nas diferentes orientações do metal de solda.

Os resultados foram processados estatisticamente com o auxílio de uma planilha eletrônica. As quantidades mínimas de interceptos lineares observados em cada seção dos cordões de solda preparados foram superiores a 1600 para cada um dos parâmetros analisados. Após a obtenção e processamento dos dados, utilizou-se um editor gráfico para construção de histogramas da distribuição de frequência dos intervalos medidos para cada amostra. As distribuições de frequência dos interceptos lineares medidos nas diferentes orientações do metal de solda são mostradas na Figura 4, onde as curvas são preponderantemente assimétricas positivas e apresentam comportamento leptocúrtico – distribuições cuja frequência modal é bastante evidenciada<sup>(3)</sup>.

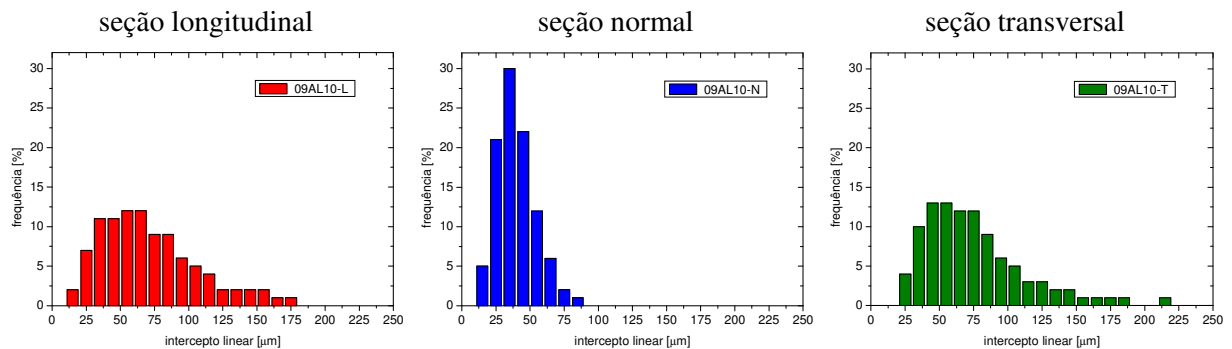


Figura 4: Distribuição de frequência dos interceptos lineares relacionados com a antiga estrutura austenítica, medidos nas seções longitudinal, normal, e transversal do metal de solda. Amostra 09AL10.

A análise estatística dos resultados das medidas dos interceptos lineares é sintetizada na Tabela 1, onde são apresentados o número  $N$  e os tamanhos médio  $\bar{L}$  e máximo  $L_{max}$  dos interceptos lineares medidos, bem como o seu desvio padrão  $DP$ . O erro padrão  $EP$  e o coeficiente de variação  $CV$  foram calculados pelas equações (A) e (B), respectivamente.

$$EP = 2 \cdot \frac{DP}{\sqrt{N}} \quad (A) \quad CV = \frac{DP}{\bar{L}} \quad (B)$$

Tabela 1: Medidas estatísticas dos interceptos lineares medidos nas diferentes seções do metal de solda.

amostra	seção	$N$	$\bar{L}$ [μm]	$DP$ [μm]	$EP$ [μm]	$CV$	$L_{max}$ [μm]
09AL10	L	2301	79	41	2	0,52	380
	N	4656	45	15	1	0,32	140
	T	2360	82	43	2	0,52	500
09AL30	L	1845	101	50	2	0,49	550
	N	2495	84	32	1	0,38	260
	T	1999	89	51	2	0,57	540
11AL10	L	2663	74	42	2	0,56	550
	N	3326	65	28	1	0,43	250
	T	2608	77	43	2	0,56	470
11AL30	L	2006	97	46	2	0,48	400
	N	3110	70	23	1	0,33	260
	T	1978	99	43	2	0,43	580

Pelo estudo estatística dos resultados observou-se que independente da seção analisada ocorreu o incremento dos tamanhos dos interceptos lineares com o aumento da energia de soldagem de 1 para 3 kJ/mm, sendo o efeito do tratamento térmico realizado no metal de base menos intenso. Observou-se também que as seções normais do metal de solda apresentaram os menores interceptos lineares médios e máximos, quando comparados com os respectivos valores das seções longitudinal e transversal. O aspecto geométrico observado está em conformidade com os estudos realizados por

Bhadeshia e colaboradores<sup>(4)</sup> em soldas produzidas por arco submerso. Esses pesquisadores indicaram que a morfologia do antigo grão de austenita poderia ser representada por um prisma de base hexagonal, com a aresta lateral  $a$  e o eixo maior  $c$  estaria alinhado com a direção de crescimento colunar desta fase durante o resfriamento do metal de solda.

No aspecto qualitativo notou-se que nas seções longitudinal e transversal os grãos de austenita eram alongados, apresentando normalmente o eixo maior orientado em uma direção praticamente normal à linha de fusão. Entretanto, na seção normal do metal de solda o mesmo tipo de estrutura austenítica não foi observado, que foi constituído essencialmente por grãos austeníticos de natureza equiaxial. Este comportamento da microestrutura do metal de solda é semelhante ao reportado por Basu e Raman<sup>(5)</sup> em sua investigação com soldas produzidas por SAS.

A partir da análise dos resultados pode-se concluir que as distribuições de frequência dos interceptos lineares, usados para caracterizar a antiga estrutura austenítica, mostraram variações entre as seções do metal de solda dentre as amostras analisadas. As seções longitudinal e transversal das amostras apresentaram uma microestrutura classificada como colunar, enquanto que na seção normal os grãos austeníticos teriam uma classificação denominada de equiaxial. Este aspecto confirma que a morfologia dos grãos austeníticos existentes no metal de solda pode ser associada a prismas com base hexagonal alongados, comportamento semelhante a resultados anteriores divulgados na literatura. Observou-se também que o coeficiente de variação dos interceptos lineares apontou ser um parâmetro estatístico apropriado para diferenciar o tipo de estrutura austenítica observado, ou seja, equiaxial ou colunar. Além de constar que o incremento da energia de soldagem de 1,0 para 3,0 kJ/mm procedeu no aumento do tamanho de grão da austenita prévia.

### Agradecimentos

Os autores agradecem ao apoio técnico prestado pela SERVTEC Serviços Técnicos Ltda., à FAPESP pela concessão de auxílio à pesquisa e de uma bolsa de estudos (AACA).

### Referências Bibliográficas

1. LIU, S. Metallography of HSLA steel weldments. **Key Engineering Materials**, v. 69-70, pp. 1-20, 1992.
2. IMAGE TOOL. Software livre disponível para download em: <http://ddsdx.uthscsa.edu/dig/itdesc.html> acesso em 10 de março de 2006.
3. COSTA NETO, P. L. O. **Estatística**. São Paulo: Ed. Edgard Blucher, 2002.
4. BHADESHIA, H. K. D. H. *et al.* The austenite grain structure of low-alloy steel weld deposits. **Journal of Materials Science**, v. 23, pp. 3947-3951, 1986.
5. BASU, B.; RAMAN, R. Microstructural variations in a high-strength structural steel weld under isoheat input conditions. **Welding Journal**, pp. 239-248, Nov., 2002.