

Estudo das Propriedades Mecânicas de Juntas Soldadas pela Técnica de Soldagem Subaquática Molhada com Eletrodo Tubular

*Erwin Werner Teichmann
Carlos Eduardo Iconomos Baixo
Jair Carlos Dutra
Valter Rocha dos Santos
José Claudio Teixeira*

Resumo

Em continuidade ao projeto desenvolvido no LABSOLDA envolvendo soldagem subaquática molhada com eletrodo tubular, foram realizados ensaios buscando identificar propriedades das juntas obtidas por esta técnica de soldagem. Os ensaios foram conduzidos em tanque, com deposição sobre chapa e em junta, e sendo direcionados para determinação das propriedades mecânicas, regularidade geométrica dos cordões depositados e quantidade/ dimensão das porosidades.

Com relação as propriedades mecânicas, os ensaios Charpy a 0C no metal de solda apresentaram valores de 27 J e dureza de 108 HV-10. Quanto a geometria e presença de poros, foram obtidos depósitos com boa regularidade e molhabilidade, caracterizado pela baixa incidência de defeitos, que se limitaram a presença esporádica de escória retida, e inexistência de porosidades ou trincas.

Neste trabalho serão abordadas a metodologia de realização dos ensaios e os resultados obtidos.

Abstract

This paper describes some experiments conducted at LABSOLDA in order to identify mechanical properties, weld bead geometry and the quantity and dimensions of pores in weld beads produced by subsea wet FCAW.

Welding in shallow water with power source adjusted to operate in constant current characteristic mode and a set of parameters to establish an open arc transfer mode, it was obtained weld beads with regular geometry and an acceptable profile, with low level of defects incidence, no pores and crack free. The tenacity measured by Charpy tests (0C) was 27 J and hardness measured by Vickers tests was 108 HV-10.

The methodology used in the experiments and the results obtained are discussed in the paper.

Erwin Werner Teichmann, Eng. Mecânico, Mestrando, LABSOLDA/UFSC
Carlos Eduardo Iconomos Baixo, Eng. Mecânico, Doutorando, LABSOLDA/UFSC
Jair Carlos Dutra, Prof. Dr. Eng. LABSOLDA/UFSC
Valter Rocha dos Santos - CEFET/ RIO DE JANEIRO
José Claudio Teixeira - CENPES/ PETROBRÁS
LABSOLDA - Laboratório de Soldagem e Mecatrônica do Dpto. de Eng. Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Fpolis - SC, Cxp. 476, CEP 88040-900,
fax:(048)2346516, e-mail: erwin@labsolda.ufsc.br

1. Introdução

Apesar da soldagem subaquática molhada ser uma técnica suscetível ao aparecimento de defeitos nos depósitos, devido ao seu baixo custo operacional esta aparece como uma ferramenta importante na viabilização da execução de reparos em estruturas localizadas em ambiente submarino. Esta maior suscetibilidade ao aparecimento de defeitos esta relacionada ao fato da soldagem transcorrer em o contato direto do arco e da poça de fusão com a água, que juntamente com o efeito da pressão hidrostática, podem levar os cordões de solda a apresentarem geometria irregular, inclusões e poros. Além deste fato, a alta taxa de resfriamento pode conduzir a formação de microestruturas com baixa tenacidade e trincas por hidrogênio, estas últimas decorrentes da grande quantidade de hidrogênio difusível na poça de fusão.

Apesar de ser potencialmente problemática, quando comparada a outras técnicas de soldagem subaquática, como a soldagem hiperbárica a seco ou a soldagem a 1 atmosfera, a soldagem molhada apresenta o diferencial de dispensar o encapsulamento da região a ser soldada, o que reduz sensivelmente a necessidade de equipamentos e o tempo despendido a condução dos reparos. Estas características resultam em menores custos para a realização do serviço e, principalmente, de parada de produção. Limitações relacionadas com a profundidade em que a técnica pode ser aplicada, em função da capacidade do mergulho humano, hoje podem ser consideradas secundárias, visto que as primeiras aplicações demonstraram que grande parte dos reparos realizados sob a água deverão ser feitos a baixas profundidades. Estas vantagens operacionais e financeiras tem despertado o interesse para o aprimoramento da soldagem subaquática pela técnica molhada e são as principais responsáveis pelo seu atual estágio desenvolvimento.

Dentre os vários processos de soldagem podem ser empregados com a técnica de soldagem molhada, a soldagem com eletrodo tubular se destaca pela maior produtividade, tanto por dispensar o encapsulamento (comparativamente aos processos TIG, MIG e plasma), quanto pela maior densidade de corrente (em relação aos eletrodos revestidos), o que permite um aumento da taxa de deposição de material, acrescido de uma diminuição no tempo de parada.

As pesquisas que atualmente estão sendo desenvolvidas no LABSOLDA visam minimizar a ocorrência de defeitos na soldagem molhada, tanto pela a definição de procedimentos adequados a soldagem com arames tubulares, quanto ao projeto de equipamentos dedicados às características deste processo aplicado com a técnica de soldagem molhada.

2. Metodologia para a Realização dos Ensaios

Os procedimentos de soldagem utilizados nos experimentos foram definidos de forma a identificar:

- identificar aspectos metalúrgicos e propriedades mecânicas do metal depositado;
- analisar a regularidade geométrica dos cordões depositados, fator relevante quando considerada a necessidade de soldas com múltiplos passes. Nesta situação, geometrias irregulares ou com baixa molhabilidade podem levar a formação de defeitos, como inclusões de escória ou falta de fusão entre os passes;
- quantificação e dimensionamento das porosidades. Considerando que a produção de poros na soldagem subaquática molhada é praticamente inevitável, deve-se controlar sua quantidade e tamanho, de modo a produzir soldas que se enquadrem nos critérios da norma AWS D3.6-89.

Para a realização de ensaios com a técnica de soldagem subaquática molhada utilizando eletrodos tubulares foi utilizada a bancada de ensaios disponível no LABSOLDA e composta por:

- fonte transistorizada INVERSAL 300;
- sistema de aquisição e processamento estatístico dos sinais de tensão, corrente e velocidade de arame, capturados durante a soldagem;
- sistema de deslocamento de pistola SDP-600;
- tanque com capacidade de 3600 l de água, permitindo execução de soldas manuais ou automatizadas;
- um cabeçote alimentador de arame desenvolvido para o trabalho em ambiente subaquático.

Os ensaios foram conduzidos com arame tubular de 1,6 mm de diâmetro, produzido especialmente para a aplicação submarina. Os ensaios foram realizados com modulação em tensão e em corrente, sendo, em ambos as situações, a velocidade de avanço do arame o parâmetro base utilizado para o ajuste das variáveis elétricas tensão ou corrente (para modulação em tensão ou corrente, respectivamente). Os ajustes nas variáveis foram feitos na busca de condições estáveis para transferência por curto-circuito e arco aberto.

O ensaios para a definição dos melhores parâmetros de soldagem foram feitos com simples deposição sobre chapa de aço ABNT 1020 de 6 mm de espessura. Para a realização dos ensaios mecânicos e análise foram utilizados corpos de prova com espessura de 10 e 19 mm (aço ABNT 1020), preparadas com junta em “V” a 60°, cobre-junta e “cachorros” para sujeição das peças. O procedimento de limpeza para a remoção de escória e respingos foi feito por escovamento manual, sendo as partículas mais aderentes removidas com a ajuda de talhadeira. Em nenhuma situação foi empregado o esmirilhamento dos depósitos.

Nestas condições não se encontrou a formação de depósitos, mas um efeito semelhante ao de uma goivagem da peça-obra.

3. Resultados

3.1 - Estabilidade do Arco

As tentativas iniciais de encontrar um ajuste de tensão capaz de produzir uma transferência por curto-circuito estável sempre resultaram em uma grande instabilidade, com o processo de soldagem transcorrendo com sucessivas extinções e reignições do arco (fig. 1). Mesmo em ajustes de tensão suficientemente altos para produzir uma transferência em arco aberto, a corrente apresentou grandes variações (fig. 2). Em situações mais extremas, as oscilações na tensão e na corrente encontradas na transferência em arco aberto chegaram a limites extremos, seguindo um comportamento semelhante ao encontrado na transferência por curto-circuito (fig.2). A ocorrência desta instabilidade indica a ocorrência de variação da carga aplicada sobre os terminais da fonte. Considerando que mesmo nestas situações a velocidade de alimentação do arame se manteve, a ocorrência da instabilidade pode estar relacionada a fenômenos associados ao próprio arco. Sobre este aspecto, Pokhonya atribuiu ao descolamento da bolha de vapor que se forma em torno do arco com um fenômeno que produz instabilidade na transferência. Isto porque a presença da bolha cria um ambiente mais propício à formação do arco em função desta ser composta pela presença de vapor (metálico e d'água) e íons metálicos. Ao ocorrer o desprendimento, a água subitamente ocupa o vazio deixado, provocando a extinção do arco. Como nesta situação de extinção-reignição não existem condições de controlar a taxa de crescimento da corrente, a possibilidade de atuar no ajuste de indutância tornou-se inexistente, ficando a transferência caracterizada pelo no aparecimento de picos de corrente da ordem de 450 A (limite de corrente do equipamento).

Embora não tenham sido realizados ensaios exaustivos comparando a soldagem com modulação em corrente com modulação em tensão, a soldagem com transferência em arco aberto e modulação em corrente apresentou maior estabilidade e permitiu produzir cordões com geometria regular e com boa molhabilidade. Mesmo com a soldagem

apresentando períodos de extinção, os períodos de arco mais longos permitiram manter uma taxa de fusão do eletrodo constante (fig.3). A modulação imposta, com ajustes independentes de corrente para a fase de arco e para os instantes de ocorrência de curtos-circuitos não permitiu à corrente atingir valores tão elevados quanto na modulação em tensão. Creditou-se a esta limitação da corrente durante o curto-circuito o fato de não haverem ocorridos trancamentos do eletrodo no bico de contato durante os ensaios.

3.2 - Análise Micrográfica e Propriedades Mecânicas

A análise micrográfica do metal depositado indicou a presença de uma microestrutura predominantemente ferrítica. Nos passes intermediários é marcante o efeito de refinamento dos grãos devido a ação dos ciclos térmicos gerados pelos passes subsequentes (Fig. 4). Nos últimos passes foi mantida a estrutura bruta de solidificação, caracterizada pela presença de grão de maior granulometria (fig. 5).

Os ensaios de dureza (Escala Vickers/ carga de 10 Kgf -HV10) realizados ao longo do eixo da seção transversal (fig. 6 - pontos 1 a 5) e próximo aos passes da raiz (fig. 5 - pontos 6 a 10) apresentaram um valor médio de 108-HV10, com máximo de 129 HV-10 (tabela 1).

Para a realização dos ensaios Charpy foi preparado um corpo de prova de 19 mm de espessura. O preenchimento completo da junta demandou a realização de 30 passes com o arame de 1,6 mm de diâmetro, velocidade de alimentação do arame-eletrodo de 4,0 m/min e corrente de soldagem de 150 A. O conjunto de parâmetros e variáveis é apresentado na tabela 2. Os ensaios foram realizados a 0°C e apresentaram um valor de tenacidade de 34 J (valor médio), com valor mínimo de 26 J (tabela 3).

3.3 - Presença de Defeitos e Porosidade nos Depósitos

Com relação a presença de defeitos no metal depositado, a boa regularidade geométrica e molhabilidade dos cordões permitiu a produção de soldas com baixa incidência de defeitos. A maior quantidade de defeitos encontrados foi na superfície da junta, pelo aparecimento de mordeduras e má superposição dos depósitos. Ensaios com raio-X indicaram a existência de pontos localizados contendo escória retida no interior dos depósitos. Ao contrário do que se esperava, não foi encontrada a presença maciça de escória no interior dos depósitos. Criou-se esta expectativa em função da presença frequente de salpicos fortemente aderidos a superfície e, principalmente, pequenas cavidades recobertas com metal fundido, ambos ricos em escória. Como a transferência se deu, mesmo nas melhores condições, com muitas extinções, criaram-se as condições para a ocorrência de um resfriamento súbito da poça de fusão e o aprisionamento de escória.

Ao se observar o processo de soldagem e os depósitos produzidos, verificou-se que a baixa incidência de escória foi decorrente de uma forte ação do arco sobre a peça, e que provocou uma significativa refusão do metal depositado, eliminando a presença de muitas das cavidades ricas em escória localizadas próximas a superfície. A presença de hidrogênio em elevada quantidade, associado a maior potência dissipada na coluna do arco, contribuiu para o aumento da capacidade de refusão do arco.

Com relação a porosidade, os ensaios radiográficos não acusaram a presença de poros no metal depositado, tampouco a existência de trincas transversais aos cordões.

4. Conclusões

Os ensaios realizados demonstraram a capacidade de se aplicar a técnica da soldagem molhada utilizando eletrodos tubulares e fonte de soldagem modulada em

corrente. Nesta situação é possível obter um arco com boa estabilidade (considerando a abertura do arco em meio a água) e produzir cordões com boa formação geométrica e regularidade. Para os ensaios realizados foram obtidos depósitos com baixa quantidade de defeitos internos (escória retida), assim como não foi identificada a existência de porosidade ou trincas na solda.

Novos ensaios serão necessários para verificar a possibilidade de executar as soldas com modulação em tensão/ transferência por curto-circuito e modulação em tensão/ transferência com arco aberto, visto que as tentativas de aplicar estas combinações resultaram maior instabilidade que a encontrada com modulação em corrente/ transferência em arco aberto.

5. Referências Bibliográficas:

- [1].-ANDRADE, L. P. C. S.; Soldagem Subaquática Molhada com Eletrodo Tubular, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, 09.95
- [2].- ANDRADE, L. P. C. S; DUTRA, J. C.; SANTOS, V. R.; TEIXEIRA, J. C.; Alternativas para Melhorar a Estabilidade do Arco na Soldagem Subaquática Molhada com Eletrodo Tubular, XIX Encontro Nacional de Tecnologia da Soldagem, Águas de São Pedro -SP, 1993, pp. 493-508
- [3].- ANDRADE, L. P. C. S; DUTRA, J. C.; TEIXEIRA, J. C.; SANTOS, V. R.; Aspectos Operacionais e Metalúrgicos da Soldagem Subaquática Molhada com Eletrodo Tubular, XX Encontro Nacional de Tecnologia da Soldagem, Contagem - MG, 1994, pgs. 483-498
- [4].- ANDRADE, L. P. C. S; DUTRA, J. C.; PIZA, M.; TEIXEIRA, J. C.; SANTOS, V. R.; Ensaio Mecânicos de Juntas Soldadas e Estudo da Relação VariáveisxDefeitos na Soldagem Subaquática Molhada com Eletrodo Tubular, XXI Encontro Nacional de Tecnologia da Soldagem, Caxias do Sul - RS, 1995, pgs. 389-398
- [5] - POPE, A. M.; TEIXEIRA, J. C. G.; PAES, SANTOS, V. R.; Soldagem Submarina Molhada: Desenvolvimentos Recentes e Perspectivas de Aplicações em Reparos Submarinos; XXII Encontro Nacional de Tecnologia da Soldagem, ABS, Jul/87, Blumenau - p. 707-716
- [6] - [25] - POKHONYA, I., GORPENYUK, V., KONONENKO, V., PONOMAREV, V. and MAKSIMOV, S. - Some Peculiarities of Arc Burning and Metal Transfer in Wet Underwater Self-shielding Fluxcored Wire Welding. IIW Conference - Welding Under Extreme Conditions, III, 6, 1989. Pp.: 151-160.

Ponto	HV10
1	129
2	112
3	112
4	121
5	113
6	114
7	116
8	120
9	127

10	126
----	-----

Tabela 1 - Resultados dos ensaios de dureza HV-10.

Parâmetros e Variáveis de Soldagem	Valores Ajustados
Altura de Tomada de Corrente [mm]	15
Velocidade de Soldagem [cm/ min]	20
Vel. de Alimentação do Arame [m/ min]	4,0
Corrente [A]	150
Corrente de Curto-Circuito [A]	350
Número de Passes	30
Diâmetro do Eletrodo [mm]	1,6

Tabela 2 - Parâmetros de soldagem utilizados.

CP	Charpy
1	29
2	48
3	35
4	26
5	35
6	33
Média	34

Tabela 3 - Resultados dos ensaios Charpy a 0 C.

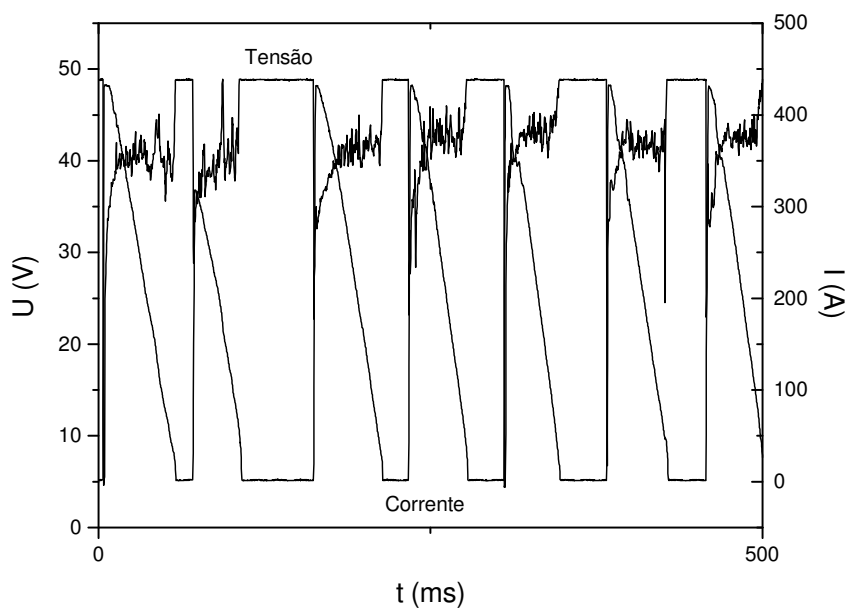


Figura 1 - Oscilograma de corrente e tensão na soldagem com fonte em tensão/ traferência por curto-circuito.

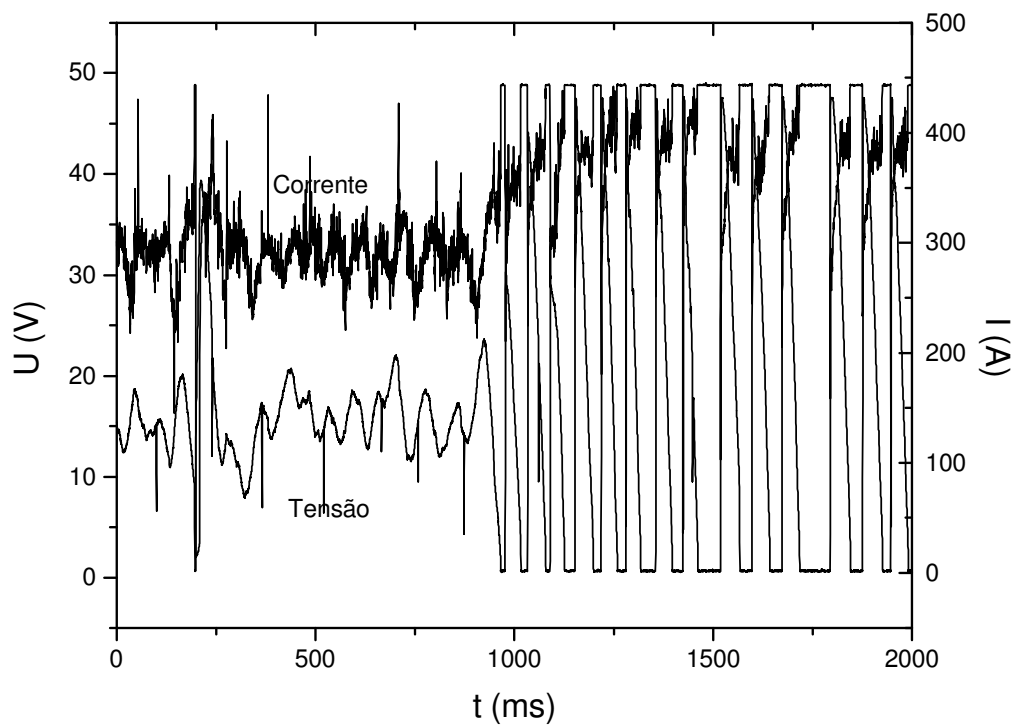


Figura 2 - Oscilograma de corrente e tensão na soldagem com fonte de tensão/ transferência em arco aberto.

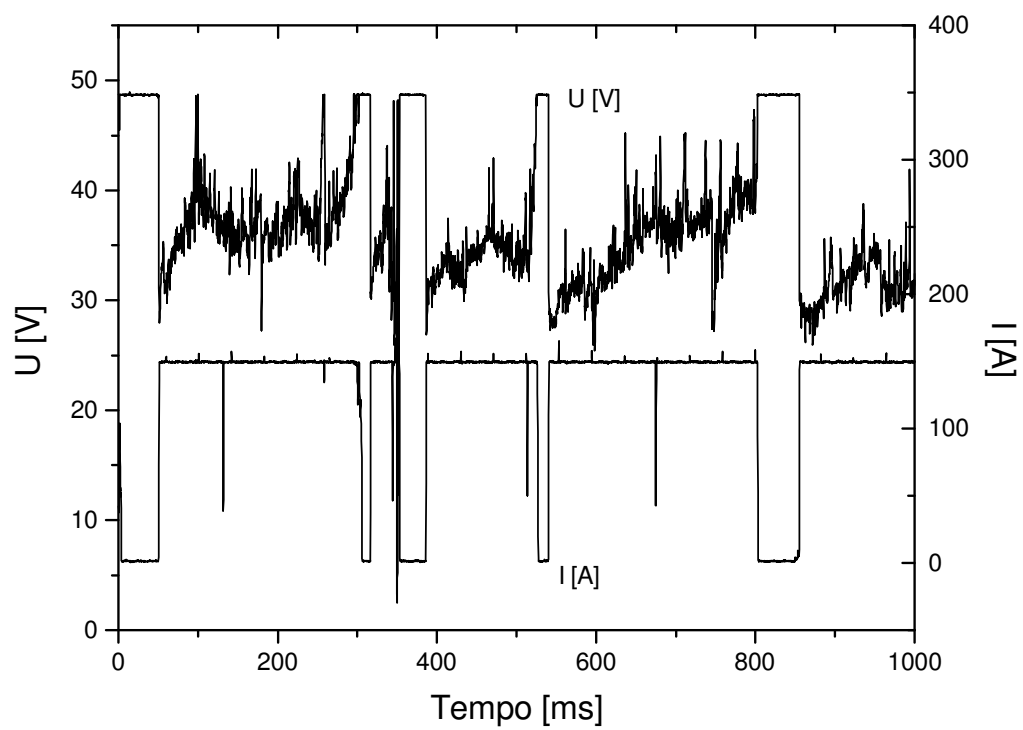


Figura 3 - Oscilograma de corrente e tensão na soldagem com fonte em corrente/ transferência em arco aberto.

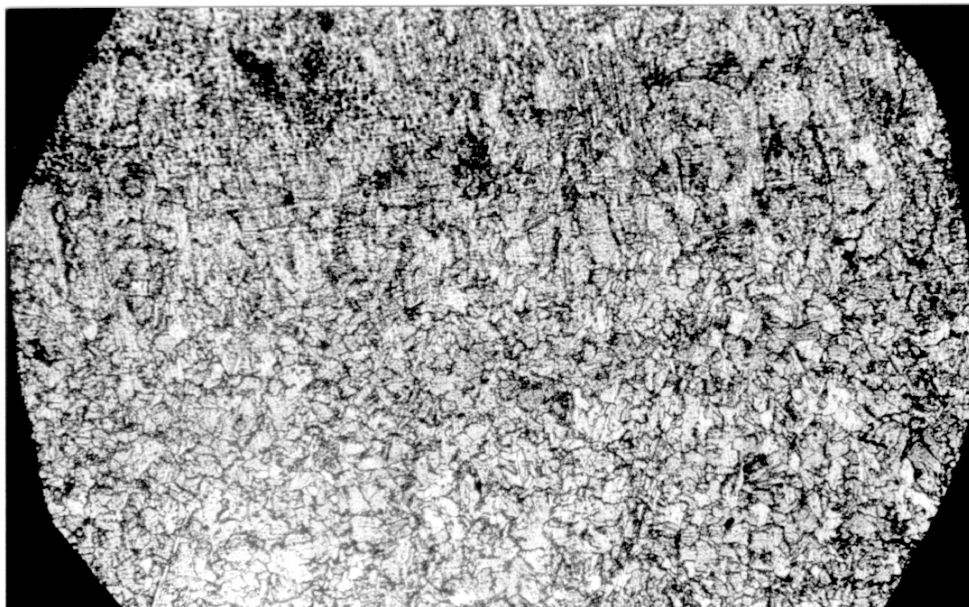


Figura 4 - Microestrutura característica dos passes que sofreram reaquecimento (aumento de 200X).

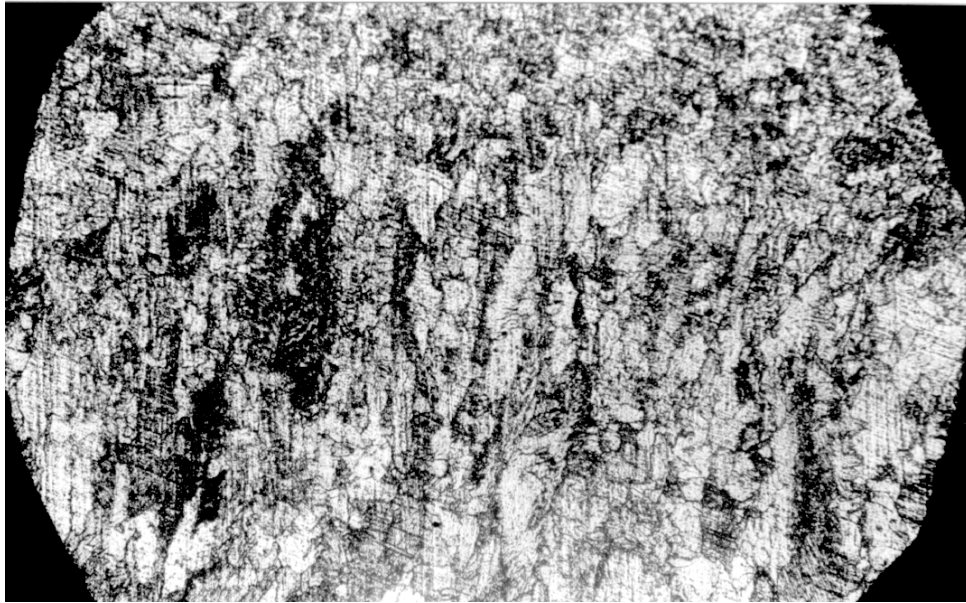


Figura 5 - Microestrutura bruta característica dos cordões que não sofreram reaquecimento por ciclos térmicos dos passes subsequentes (aumento de 200X).

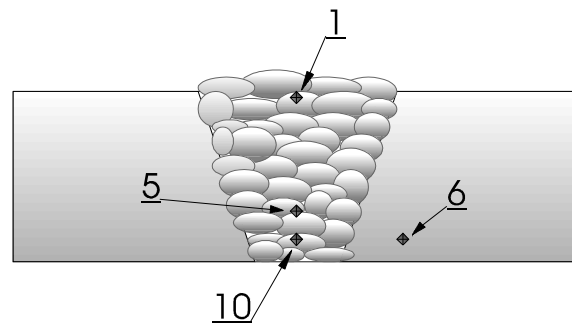


Figura 6 - Localização dos pontos onde foram realizados os ensaios de dureza.