

Instalação e utilização

1. Equipamento mínimo recomendado: 486 DX4-100MHZ, 16 MB de memória RAM disponível, Kit Multimídia com CD-ROM 8x, Windows 95 e Microsoft Word 97
2. Inserir o CD-ROM no drive apropriado de seu computador.
3. Aguardar alguns instantes para o carregamento da página inicial (este tempo pode variar de acordo com o desempenho de cada computador), caso isso não aconteça, execute o arquivo 'INSTALA' na raiz do CD. Em seguida você vai ter acesso ao início da apresentação e ... Bom seminário.

*Para acessar os trabalhos contidos nesse CD-ROM, é necessário o Word 97 ou um editor de textos compatível com arquivos '.doc' do Word 97.

Junto com a página 'APRESENTAÇÃO' clique em 'TESTAR' para verificar se os trabalhos serão apresentados corretamente. Caso isso não ocorra, você poderá instalar o Word Viewer 97, que permite visualizar os trabalhos sem ter o Word 97 instalado.

Caso você tenha um editor de textos compatível com documentos do Word 97, clique em procurar para selecionar o executável deste programa. ATENÇÃO: Se o programa escolhido não for compatível com documentos do Word 97, não será possível visualizá-los a partir deste CD.

IMPORTANTE: Para visualizar cada trabalho, seu editor de texto escolhido será inicializado, após concluir sua consulta, é necessário fechar o editor de texto para voltar ao programa.

Informações importantes

1. O conteúdo dos trabalhos e palestras apresentados é de total responsabilidade dos respectivos autores mencionados, que transferiram os direitos de reprodução para a Organização do VI SEMEL e 13º CBECIMAT.
2. É expressamente proibido o uso de imagens e/ou conteúdo, total ou parcial, inclusive neste CD-ROM para qualquer fim.

Ficha técnica

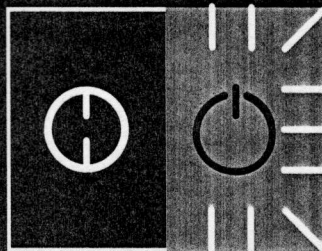
Responsáveis pelo projeto: Carlos Mario Garcia
Kleber Franke Portella
Luiz Eduardo Caron

Criação e Lay out da capa: Marcelo Vieira
Desenvolvimento Técnico: Assessoria Promocional
Ômicron Programação Gráfica

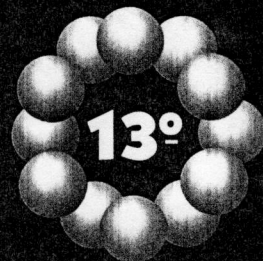
Masterização e reprodução: Novodisc Brasil Ind. Bras.
Código do produto: ASS 102

Produção: Assessoria Promocional (041) 262-9580 - E-MAIL: promocional@bsi.com.br

VI SEMEL



Seminário de Materiais
no Setor Elétrico



CBECIMAT

13º Congresso Brasileiro
de Engenharia e
Ciência dos Materiais

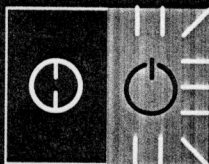
Neste CD-ROM você encontra um programa interativo
com os trabalhos apresentados das seguintes áreas:

- CERÂMICAS
- POLÍMEROS
- COMPÓSITOS
- OUTROS
- METAIS

DEZEMBRO DE 1998
CURITIBA - PR

13º CBECIMAT

VI SEMEL



Seminário de Materiais
no Setor Elétrico



CBECIMAT

13º Congresso Brasileiro
de Engenharia e
Ciência dos Materiais

Patrocínio:



COPEL

CURITIBA
PREFEITURA DA CIDADE

inepar s.a.

Organização:



Apoio:



UFPR

banrisul **FAPESP**

COMPACT
disc
DATA STORAGE
ASS 102

Fabricado por NovoDisc Brasil Indústria Fonográfica Ltda.
Av. Guarapiranga, 1671 - Santo Amaro - São Paulo - SP
C.G.C.: 02.073.607/0001-09

VI SEMEL

13º CBECIMAT



UTILIZAÇÃO DE EQUAÇÃO PREDETERMINADA NA ZONA AFETADA PELO CALOR EM AÇO DE RESISTÊNCIA AMBIENTAL PARA OBTENÇÃO DE PROPRIEDADES MECÂNICAS

G-633m

Samuel Irati Novaes Gomes*
Margarete Aparecida Leme de Andrade*

RESUMO

Foram produzidos por soldagem a arco submerso, cordões de solda em aço USI-SAC-50 de resistência ambiental utilizando aportes de calor de 3,53 ; 3,75; 4,24 e 4,61 kJ/mm.

Realizou-se medidas de dureza na região de granulação grosseira da ZAC utilizando o procedimento de rotina estabelecido por Welland.

Dos resultados obtidos e da equação de carbono equivalente $CE_{II} = C + \frac{Si}{4} + \frac{Mn}{5} + \frac{Cu}{10} + \frac{Ni}{18} + \frac{Cr}{8} + \frac{Mo}{2,5} + \frac{V}{5} + \frac{Nb}{3}$, pode-se estabelecer as velocidades de resfriamento na região de granulação grosseira, dos valores encontrados através dos procedimentos predeterminados de Kluken pode-se estabelecer os valores aproximados do limite de escoamento na região de granulação grosseira para os diferentes aportes de calor.

Dos valores encontrados pode-se concluir que o aço em questão mostrou temperabilidade capaz de alterar significativamente as propriedades da ZAC.

Para os aportes de calor menores, os valores do limite de escoamento estiveram entre 575 MPa a 568 MPa e para os aportes de calor maiores foi encontrado um único valor de 495 MPa.

ABSTRACT

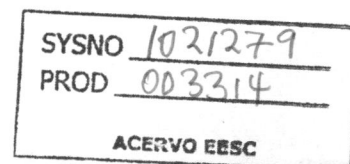
An environmental resistant USI-SAC-50 steel was welded by submerged arc welding process using heat inputs of 3.53, 3.75, 4.24 and 4.61 kJ/mm. Hardness measurements in the coarse grained reheated region, GGRR, were made using the Welland proposed routine. From the obtained results, the equivalent carbon value calculated from equation,

$CE_{II} = C + \frac{Si}{4} + \frac{Mn}{5} + \frac{Cu}{10} + \frac{Ni}{18} + \frac{Cr}{8} + \frac{Mo}{2,5} + \frac{V}{5} + \frac{Nb}{3}$, and applying the

Kluken procedures it was possible to establish the cooling rate and the yield stress in the GGRR. It was possible to conclude that the weldments HAZ were significantly affected by the steel hardenability. For 3.53 and 3.75 kJ/mm heat inputs the calculated yield stresses were found to be in the range of 568 and 575 MPa. In the other cases the yield stresses data were 495 MPa.

1024279
1205 99

* Departamento de Engenharia de Materiais - EESC/USP
Av. Dr. Carlos Botelho, 1465
13560-250 - São Carlos - SP
Fone (016) 273-9576 - Fax (016) 273-9590
E-mail: irati@sc.usp.br





INTRODUÇÃO

A produção de aços com uma concepção mais moderna para uso em construção de pontes, tubulações, navios e construção civil tem alcançado excelentes combinações entre a resistência mecânica e tenacidade. Estes aços denominados de alta resistência e baixa liga (ARBL) têm baixos teores de carbono (em torno de 0,08%) que em combinação com os elementos microligantes, tais como nióbio, vanádio, titânio, cobre, níquel, molibdênio e cromo mostram bom desempenho apesar do baixo teor de carbono. Isto ocorre porque muitos elementos de liga favorecem a temperabilidade e ainda ajudam a produzir precipitados refinados de carbonitreto de nióbio, vanádio e titânio, como também carbeto de cromo e cobre, que aumentam consideravelmente os níveis do limite de escoamento. Estes aços têm elevado potencial de soldabilidade com nenhum ou pouco pré-aquecimento e com menor exigência no controle do procedimento de soldagem, então reduzindo consideravelmente o custo da fabricação.

Embora os aços ARBL sejam produzidos para ter excelentes propriedades, problemas importantes podem ocorrer durante a soldagem na zona afetada pelo calor, decorrentes da temperabilidade e do ciclo térmico imposto durante a soldagem.

Assim que o objetivo do presente trabalho é o de estudar o efeito de quatro ciclos térmicos sobre a região de granulação grosseira da ZAC e suas implicações nas propriedades mecânicas no aço USI-SAC-50. O aço em questão, na sua fabricação em laminados planos, não tem procedimento para o controle e refino da granulação, mas na sua composição os teores do Mn, Cr, Cu e Ni podem influenciar significativamente na temperabilidade.

REVISÃO

A fórmula estabelecida por YURIOKA [1] para estabelecer a correlação entre os resultados experimentais e as previsões calculadas sobre a extensão da região de granulação grosseira, a zona de granulação crítica e com a dureza máxima da zona afetada pelo calor (ZAC) é a que tem mostrado o melhor desempenho. Esta equação relaciona os valores do carbono equivalente para cada aço estabelecido e mais o tempo de resfriamento que determina o processo de soldagem para caracterizar as propriedades da ZAC.

Somando-se a este fator o trabalho de AKSELSSEN et al. [2] desenvolveu para os aços de alta resistência e baixa liga (ARBL) uma relação entre o limite de escoamento σ_E e a dureza máxima H_{max} em que o

$$\sigma_E = 3,1 H_{max} (0,1)^n - 80 \quad (1) \quad \text{sendo}$$

$$n = 0,065 (At_{8/5})^{0,17} \quad (2)$$

Como estabelecido pela equação de YURIOKA [1] e as equações (1) e (2), as propriedades mecânicas da ZAC são afetadas pela composição química do aço e a submissão térmica do procedimento da soldagem.

Baseados nestas equações predeterminadas KLUKEN et al. [3] utilizando sete aços ARBL para aplicação em regiões árticas estabeleceram resultados que permitiram a elaboração de gráficos interpretativos. Estes gráficos mostram o Carbono Equivalente, CE, em função do tempo de resfriamento, que com os valores da dureza máxima, foi possível estabelecer o valor do limite de escoamento nas regiões de granulação grosseira da ZAC.

Neste estudo comparativo mostraram que cada um dos aços têm seu intervalo específico dos parâmetros de soldagem, a fim de ajustar os critérios para homologação das

propriedades essenciais, tenacidade e resistência mecânica. A escolha de um aço para projetos específicos de fabricação para um alto nível de aceitação e mínimas condições de reparos, o intervalo dos parâmetros de soldagem aceitáveis devem ser cuidadosamente estabelecidos e entendidos.

As conclusões finais estabeleceram que os resultados indicaram que o uso de equações predeterminadas para considerar um mínimo de pré-aquecimento e aporte de calor necessário para especificar a fabricação de aços para aplicação em regiões árticas foi de segurança.

No procedimento da soldagem a arco submerso é o que impõe o maior aporte de calor e consequentemente a maior influência no desempenho da região de granulação grosseira da ZAC.

Isto faz com que nos aços ARBL problemas importantes podem ocorrer durante a soldagem na ZAC. De acordo com SPANOS et al. [4] e LAU et al. [5] na ZAC as fases existentes no aço podem transformar em austenita e os precipitados poderão tornar-se coalescidos ou dissolver durante o aquecimento. Então a austenita durante o resfriamento poderá transformar-se em martensita, ferrita ou em alguma outra morfologia de bainita com novas precipitações e distribuição de precipitados.

Estas mudanças poderão prejudicar as propriedades mecânicas do aço na região localizada de granulação grosseira da ZAC.

Assim que, de acordo com BERSCH [6], o presente trabalho tem por finalidade estudar o desempenho das propriedades mecânicas na região de granulação grosseira da ZAC, em aço de resistência ambiental para diferentes ciclos térmicos. O procedimento terá como orientação principal a sistemática utilizada por KLUKEN et al. [3].

MATERIAIS E MÉTODOS

O aço utilizado neste trabalho é o USI-SAC-50, com características de resistência ambiental. A composição química dos principais elementos em porcentagem em peso é C: 0,1%, Si: 0,439%, Mn: 1,325%, Cr: 0,523%, Ni: 0,172% e Cu: 0,374%. Foram soldadas chapas com 25mm de espessura com 120mm de largura e 550mm de comprimento. Efetuou-se um chanfro em V, com ângulo de 50° ao longo do comprimento, o vértice do chanfro foi substituído por uma base plana de 3mm de comprimento a uma profundidade de 10mm.

As condições de soldagem utilizadas estão mostradas na tabela I, com a extensão do eletrodo de 32.0mm, usando o processo de soldagem a arco submerso.

Tabela I – Condições de Soldagem Utilizadas

Solda	Tensão V	Corrente A	V.D.* mm/min	Aporte de Calor kJ/mm
1	25	600	195	4,61
2	25	600	209	4,24
3	25	600	240	3,75
4	25	600	255	3,53

V.D* - Velocidade de deslocamento

Os consumíveis foram somente para o enchimento do chanfro e estabelecer os aportes de calor.

As áreas totais da ZAC foram medidas por sistema ótico, utilizando análise de imagem. As micrografias da região de granulação grosseira foram interpretadas com aumento de 500X. As medidas da dureza, com carga 10kg, foram obtidas pelo método Vickers utilizando o procedimento WELLAND [7].

RESULTADOS

Na tabela II estão representados os valores das áreas da ZAC para todos os quatro aportes de calor em ordem decrescente, como mostrado na tabela I. A tabela II também mostra a média de quinze medidas de dureza para três corpos de prova, retirados ao longo do cordão de solda, medidas estas tomadas na região de granulação grosseira.

Tabela II – Área da ZAC e média da dureza para os diferentes aportes de calor

Soldas	Área da ZAC mm ²	Dureza HV ¹⁰
Chapa base	---	333
1	184	251
2	176	251
3	149	273
4	145	281

A figura 1 mostra as micrografias das microestruturas encontradas. Figura 1a, chapa base como recebida, e figuras 1b, 1c, 1d e 1e, da região de granulação grosseira próximas a linha de fusão com aumento 200X para todas as condições de soldagem utilizadas.

Nota-se que para os aportes de calor maiores 1 e 2, as microestruturas mostram-se semelhantes, enquanto que para os aportes de calor menores, 3 e 4, as microestruturas são diferenciadas e mais refinadas com relação as microestruturas obtidas com maior aporte de calor.

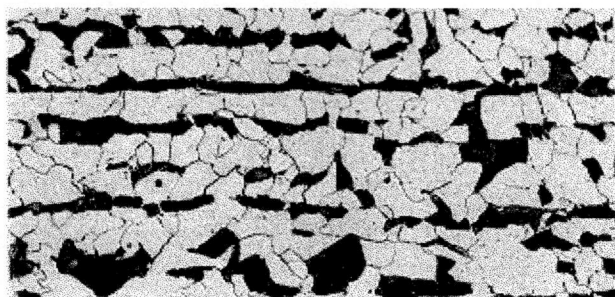
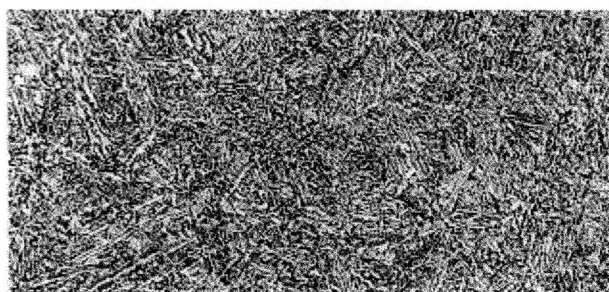
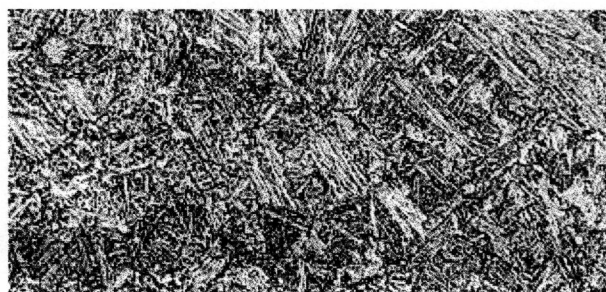
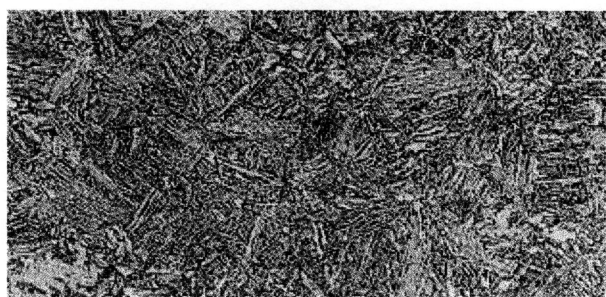
**1a****1b****1c****1d****1e**

Figura 1- Figura 1a: Chapa base como recebida; Figura 1b, 1c, 1d e 1e: Microestruturas produzidas com os aportes de calor 1, 2, 3 e 4 respectivamente. 200X. Ataque Nital 2,0%



DISCUSSÃO

Na tabela II estão mostrados os valores das áreas da ZAC para todos os aportes de calor utilizados, tabela I. Nota-se que as áreas da ZAC estão perfeitamente coerentes com os aportes de calor calculados. Para o aporte de calor mais alto, maior foi a área da ZAC e a medida que os valores dos aportes de calor vão diminuindo as áreas da ZAC foram se tornando menores. Isto mostra que o ajuste dos parâmetros de soldagem para a preparação dos cordões de solda foram bem correspondidos pelo equipamento de soldagem e que as dimensões da chapa do aço em questão foram bem sensíveis às mudanças no aporte de calor.

A figura 1, mostra as micrografias da chapa base e da região de granulação grosseira da ZAC, próximas da linha de fusão do cordão de solda, para todas as condições de soldagem utilizadas.

A figura 1a é a da chapa base como recebida, nota-se que as microestruturas existentes são de ferrita e perlita com uma textura alinhada, característica de chapa laminada com possibilidade de existência de tensão interna.

As figuras 1b e 1c, são as da ZAC, obtidas com o maior aporte de calor, mostram uma microestrutura proveniente de um tamanho de grão austenítico bem coalescido. Mostram uma microestrutura na sua totalidade de ferrita acicular com alguma ferrita poligonal e ferrita de segunda fase alinhada.

As figuras 1d e 1e, obtidas na região de granulação grosseira da ZAC para os menores aportes de calor, são provenientes de grãos de austenita anterior menor, mostram feixes de bainita finamente distribuídas, para um refino menor nas microestruturas obtidas com menor aporte de calor.

As microestruturas da região de granulação grosseira da ZAC estão de acordo com as interpretações estabelecidas por SPANOS et al. [4] e BHADESHIA [8].

Na tabela II nota-se o resultado da medida da dureza na região de granulação grosseira da ZAC, observa-se que os valores são menores ao da chapa base como recebida e que os valores encontrados crescem com a diminuição do aporte de calor.

Com relação a chapa base pode-se afirmar que a porcentagem da perlita foi significativa em influenciar no valor mais alto da dureza como também a possibilidade de ocorrer tensões internas devido a morfologia da textura. Quanto ao aumento da dureza na ZAC, está relacionado com as mudanças na microestrutura existente, como também no refino das mesmas decorrente da diminuição dos aportes de calor.

Para a determinação dos valores de limite de escoamento na ZAC, utilizou-se os resultados estabelecidos por KLUKEN et al. [3], mostrados na figura 2, obtidas através de equações predeterminadas.

Para isto utilizou-se a equação seguinte para o cálculo do Carbono Equivalente.

$$C_{E_{II}} = \%C + \frac{\%Si}{24} + \frac{\%Mn}{5} + \frac{\%Cu}{10} + \frac{\%Ni}{18} + \frac{\%Cr}{5} + \frac{\%Mo}{2,5} + \frac{\%V}{5} + \frac{\%Nb}{3}$$

A partir dos resultados da análise química do aço USI-SAC-50, o valor calculado do equivalente é de 0,57%.

Introduzindo este valor na parte (a) da figura 2, juntamente com os valores das medidas da dureza, tabela II, pode-se interpolar as retas e com isto determinar as velocidades de resfriamento na ZAC, para os diferentes aportes de calor. Nota-se que para os dois aportes de calor maiores, a velocidade de resfriamento foi a mesma, próxima de 28°C/s, já para os aportes de calor menores, estas velocidades são de 31°C/s e 40°C/s respectivamente.

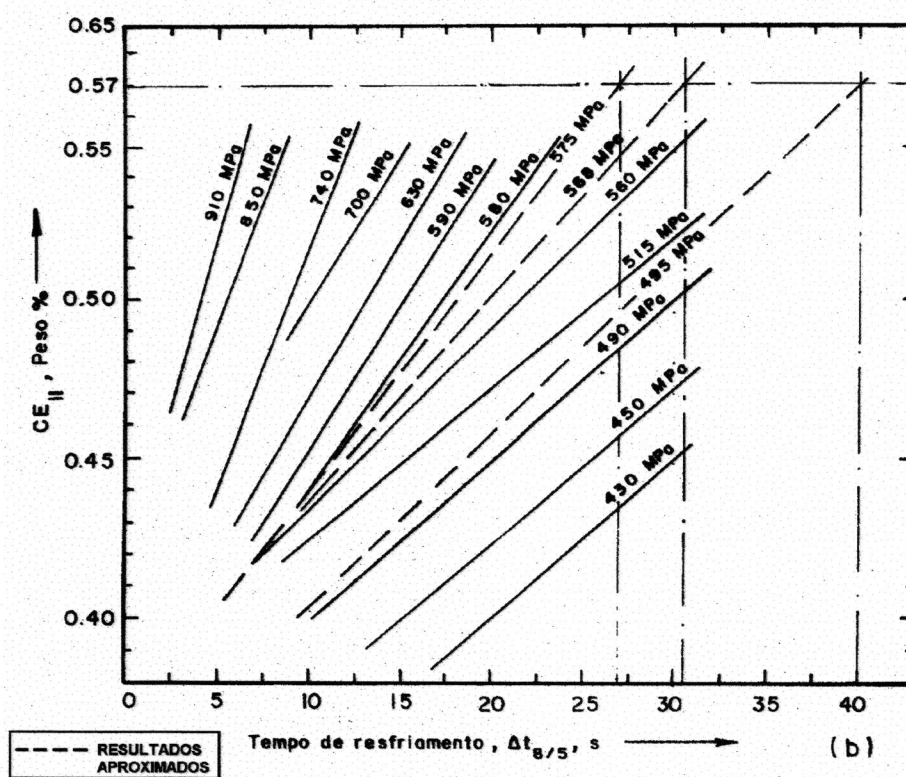
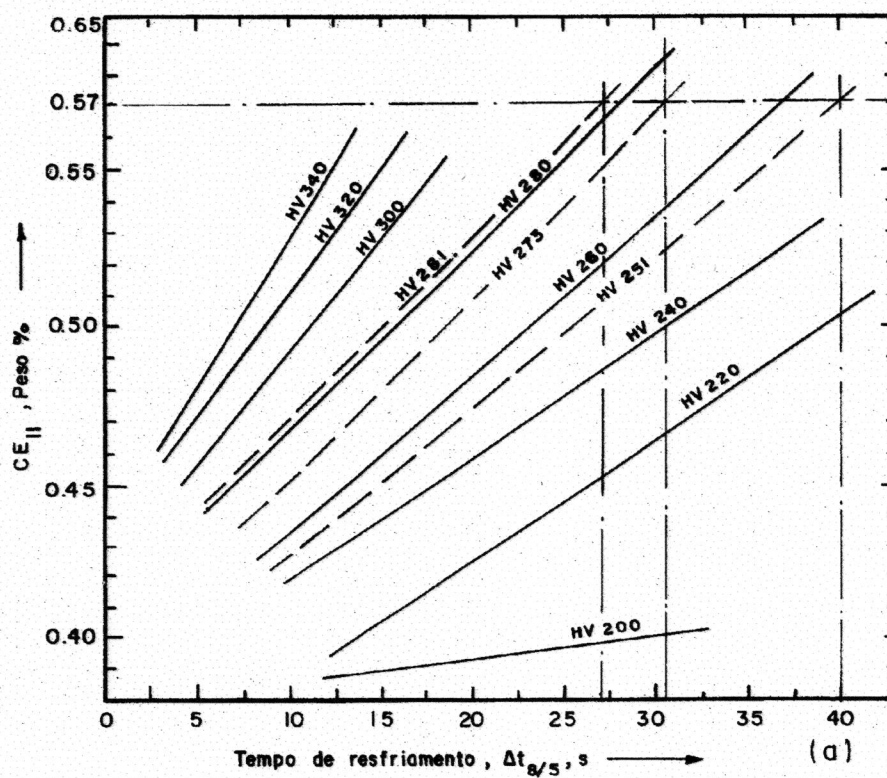


Figura 2 – Análise das durezas e limite de escoamento σ_E , a partir do CE e $\Delta t_{8/5}$ (resultados de acordo com KLUKEN et al. 1992)



Transferindo os valores das velocidades de resfriamento para a parte (b) da figura 2, juntamente com o carbono equivalente 0,57%, os valores interpolados para o limite de escoamento na ZAC da região de granulação grosseira é aproximadamente de 495 MPa para o maior aporte de calor o de 568 MPa e 575 MPa para as ZAC com menor aporte de calor. Isto mostra que a utilização de equações predeterminadas para avaliar propriedades de tração em regiões que apresentam dificuldades experimentais são eficientes, desde que o aço em questão tenha temperabilidade suficiente para alterar sua microestrutura de acordo com o ciclo térmico que é submetido.

CONCLUSÕES

- (a) Os aportes de calor foram eficientes em alterar as microestruturas na região de granulação grosseira da ZAC
- (b) As medidas das durezas foram compatíveis com as alterações nas microestruturas
- (c) O uso de equação predeterminada foi eficiente em determinar os valores do limite de escoamento na região de granulação grosseira da ZAC.
- (d) A temperabilidade do aço USI-SAC-50, com as dimensões da chapa base foram bem estabelecidas para as alterações impostas pelos ciclos térmicos.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a FAPESP, Proc. 95/9788-0; ao CNPq Proc. 352.755/96-2 e as empresas Citral-Villares e USIMINAS

REFERÊNCIAS

- [1] Yurioka, N., Ohkitas, S., and Tamehiro, H., AWRI Symposium on Pipeline welding in the 80: s', pp.1-15, 1981.
- [2] Anselsen, O.M., Rorvik, G.; Onsien, M.I., and Grong ϕ , *Welding Journal*, v.68, n.9, p.356-362, 1984.
- [3] Kluken, A.O., Ibarra, S., Liu, S., and Olson, D., Proceeding of 11th International Conference ASME, v.3-A, Materials Engineering, p.1-7, 1992.
- [4] Spanos, G., Fonda, R.W., Vandermeer, R.A., Matuszeski, A., *Met. And Mat. Trans. A.*, v.26A, p.3277-3293, 1995.
- [5] Lau, T.W., Wang, G.R., North, T.H., *Materials Science and Technology*, v.5, p.575-583, 1984.
- [6] Borsch, B., Proceeding of an International Conference, p.271-283, Rome, Italy, p.9-12, Nov. 1976.
- [7] Welland, W.G., *Welding Journal*, v.68, n.3, p.35-60, 1984
- [8] Bhadeshia, H.K.D.H., *The Institute of Materials*, London, U.K., 1992.