

ANÁLISE MICROESTRUTURAL DA LENTE DE SOLDA E DA ZTA NA SOLDAGEM A PONTO POR RESISTÊNCIA ELÉTRICA DE ARMAÇÕES TRELIÇADAS ¹

Microestrutura de juntas soldadas por Resistência Elétrica

Monica Costa Rezende ²
Yelson Duboc do Natal ³

Resumo

Amostras de juntas de solda de armações treliçadas, soldadas por resistência elétrica sob diferentes condições foram analisadas suas metalografias visando relacionar os tipos de microestrutura encontrados com a incidência de rupturas na ZTA (Zona Termicamente Afetada) das treliças. Observou-se que com potências de soldagem mais baixas ocorreram com maior frequência estruturas martensíticas, de maior fragilidade. A ocorrência de ferrita acicular favorece o material, visto que se trata de uma estrutura muito tenaz. Houve maior crescimento de grão da ZTA quando se usou potências de soldagem mais altas. Além da caracterização microestrutural as rupturas nas juntas soldadas podem ser decorrentes da influência de outras variáveis tais como: a variação de composição química e presença de segregações, vida útil do eletrodo ou variação da área de contato entre vergalhões quando estes não se encontram de maneira alinhada corretamente.

Palavras-chave: Juntas de solda; Treliça; Caracterização microestrutural.

ANALYSIS MICROSTRUCTURAL FROM FUSION ZONE AND HAZ IN RESISTANCE SPOT WELDING OF TRUSSES' FRAMES MICROSTRUCTURE OF WELDED JOINT BY ELETRIC RESISTANCE

Abstracts

Samples of welded joint of trusses's frames, welded by electric resistance under different conditions were analyzed yours metallography seeking to relate the microstructure's types found with the incidence of ruptures in HAZ (Heat Affected Zone) of the trusses. It was observed that with lower welding potencies happened more frequently structures of martensite, so fragility. The occurrence of acicular ferrite favors the material, because it is a very tenacious structure. There was larger growth of grain of HAZ when it was used higher welding potencies. Besides the microstructure's characterization the ruptures in the welded joint can be caused buy the influence of another varied such as: the variation of chemical composition and presence of segregations, useful life of the electrode or variation of the contact area among rods when they are not in an aligned way correctly.

Key words: Welded joint; Trusses; Microstructure's characterization.

¹ *Contribuição técnica ao 63º Congresso Anual da ABM, 28 de julho a 1º de agosto de 2008, Santos, SP, Brasil*

² *Aluna de graduação do curso de Engenharia Metalúrgica da UFF e estagiária da Votorantim Metais – Unidade Aço*

³ *Engenheiro Metalurgista, MSc - professor da Universidade Federal Fluminense - UFF*

1 INTRODUÇÃO

Na produção de aços longos os fabricantes têm procurado, cada vez mais, aumentar o valor agregado de seus produtos, através da fabricação de estruturas já prontas para a aplicação.

Um exemplo disso é a produção de estruturas treliçadas. As armações treliçadas permitem substituir o uso de lajes pré moldadas comuns e das lajes maciças, racionalizando a execução de serviço e organização do canteiro de obras, reduzindo o uso de fôrmas e escoramentos. Além claro de evitar perdas de tempo e de material. A fase mais crítica do processo de fabricação é a Soldagem a Ponto por Resistência Elétrica – SPRE, isto porque a qualidade da junta soldada é que vai determinar a rigidez de toda a estrutura.

O objetivo deste trabalho é analisar a microestrutura da Lente de Solda e da Zona Termicamente Afetada – ZTA e determinar suas influências na estrutura, buscando encontrar as melhores condições de soldagem que proporcionem soldas de melhor qualidade.

2 FUNDAMENTOS DA FABRICAÇÃO DE ARMAÇÕES TRELIÇADAS

O processo de fabricação das treliças é feito através da SPRE, onde as superfícies sobrepostas são unidas pelo calor gerado pela resistência do material à passagem de corrente elétrica.⁽¹⁾

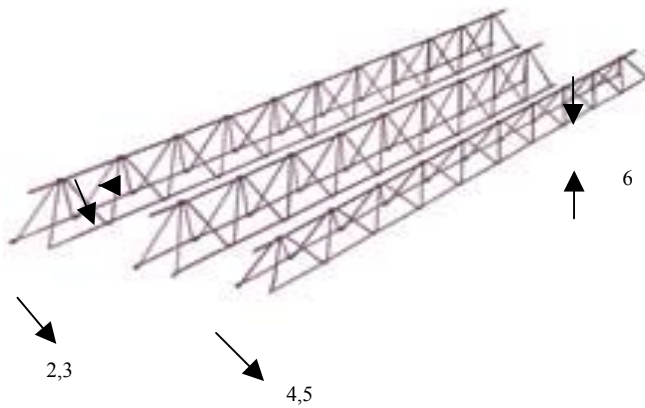
O calor gerado é calculado através da equação:

$Q = i^2 \cdot t \cdot R$, onde i = corrente (A), t = tempo de soldagem (s) e R = resistência do material (Ohms).

A operação deve desenvolver calor suficiente para fundir uma região entre as superfícies em contato, gerando uma lente de solda. Para isso é exigida uma combinação correta desses parâmetros. A densidade de corrente ($\rho = i / A$) que passa através dos eletrodos é tanto maior quanto menor for a área de contato eletrodo/vergalhão. Com o desgaste do eletrodo esta área de contato aumenta, diminuindo assim a densidade de corrente, por isso os eletrodos não devem exceder o tempo de vida útil.

A junta soldada decorrente desse processo, apresenta duas regiões bem distintas: uma região fundida (Lente de Solda) e uma região afetada pelo calor (ZTA).

Para a fabricação das treliças são utilizadas cinco barras de vergalhões CA60 nervurados de diâmetros e composições diferentes, dependendo da posição que estes irão ocupar na armação. Os aços usados nos vergalhões são fabricados em Aciaria com Forno Elétrico a Arco (FEA) e variam da especificação SAE 1006 à SAE 1012, conforme apresentação na Tabela 1, e os diâmetros variam de 4,20 mm a 7,0 mm. As partes que compõem a treliça estão indicadas na Figura 1.



1 – Banzo Superior
 2 – Banzo Inferior Esquerdo
 3 – Banzo Inferior Direito
 4 – Sinuzóide Esquerdo

5 – Sinuzóide Direito
 6 – Juntas Soldadas.

Figura 1 – Armação Treliçada

3 Procedimento Experimental

As juntas analisadas no estudo foram àquelas situadas na região superior, onde há a ocorrência de rupturas e onde se encontra o vergalhão de maior diâmetro, conforme mostrado na Figura 2.



Figura 2 – Vista Superior da Treliça

Durante a fabricação das treliças variou-se a potência da máquina de solda, com o objetivo de verificar o efeito deste parâmetro na microestrutura da Lente de Solda e da ZTA. Foram utilizados dois níveis de potência e para cada nível foram retiradas três amostras para análise metalográfica.

A análise metalográfica foi realizada a partir de cortes longitudinais e transversais das juntas soldadas. Após o embutimento das amostras, estas foram lixadas, polidas com Alumina e atacadas com o reagente Nital 3%. As observações metalográficas foram feitas em microscópio óptico com aumentos de 100 a 1.000X.

4 RESULTADOS

4.1 Metal Base

Primeiramente foi analisado o Metal Base, ou seja, o material em que a microestrutura não apresentou nenhuma alteração devido ao calor de soldagem. Observa-se nas Figuras 3, 4 e 5 que os grãos apresentam-se alongados, o que é típico de uma estrutura de vergalhão laminado a frio. A microestrutura observada é composta basicamente de ferrita e perlita.

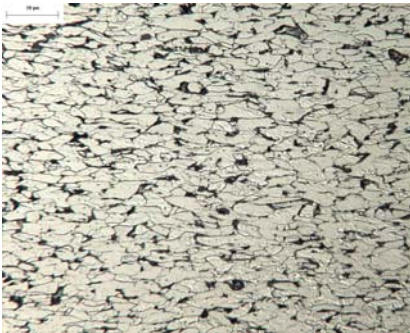


Figura 3 – Ferrita e perlita.
Aumento 200X

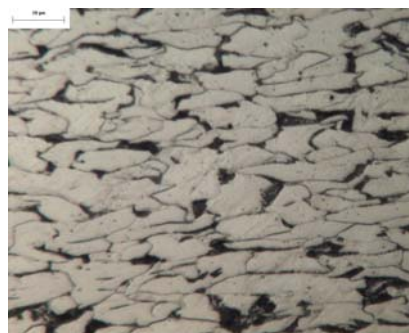


Figura 4 – Ferrita e perlita.
Aumento 500X

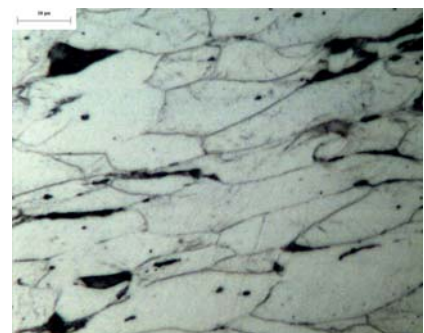


Figura 5 – Ferrita e perlita.
Aumento 1.000X

4.2 Região Termicamente Afetada

A região adjacente ao Metal Base é a região afetada pelo calor, onde se verifica a presença de microestruturas variadas e diferentes tamanhos de grãos, dependendo da localização na região. As Figuras 6, 8 e 10 apresentam as microestruturas observadas em amostras soldadas com alta potência. As Figuras 7, 9 e 11 apresentam as mesmas regiões em amostras soldadas em baixa potência. A microestrutura encontrada é um agregado ferrita e carbonetos.

Alta Potência

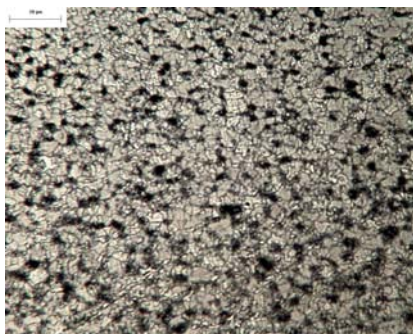


Figura 6– ferrita e perlita esboroadada:
Aumento 200X

Baixa Potência



Figura 7– ferrita e perlita esboroadada:
Aumento 200X

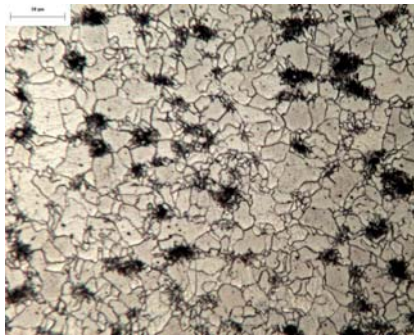


Figura 8 – ferrita e perlita esboroadas:
Aumento 500X

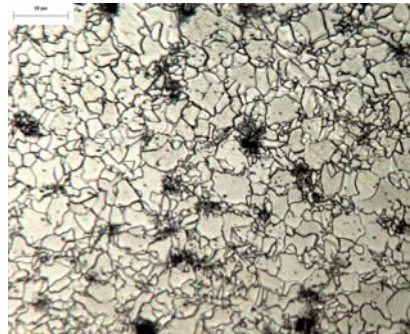


Figura 9– ferrita e perlita esboroadas:
Aumento 500X

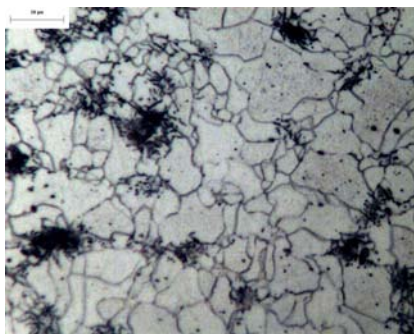


Figura 10– ferrita e perlita esboroadas:
Aumento 1.000X

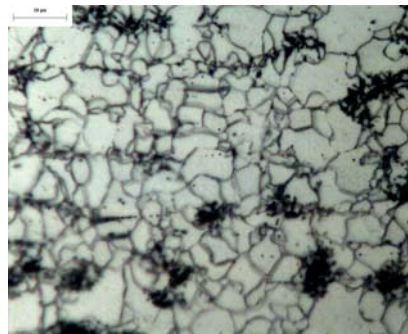


Figura 11– ferrita e perlita esboroadas:
Aumento 1.000X

4.3 Lente de Solda

Região em que o material se funde. As Figuras 12, 14 e 16 referem-se à microestrutura de amostras soldadas a alta potência e as Figuras 13, 15 e 16 à microestrutura de baixa potência. A microestrutura observada é martensita, agregados ferrita carbonetos, ferrita primária e ferrita acicular.

Alta Potência

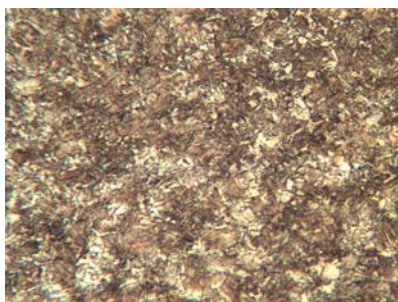


Figura 12 – ferrita, agregados e martensita:
Aumento 200X

Baixa Potência

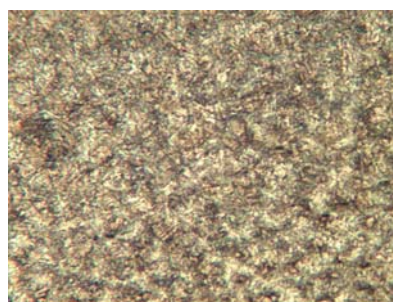


Figura 13 - ferrita, agregados e martensita:
Aumento 200X

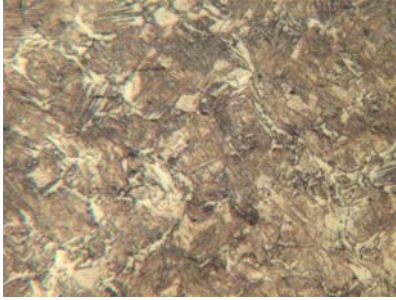


Figura 14 – ferrita, agregados e martensita:
Aumento 500X



Figura 15 - ferrita, agregados e martensita:
Aumento 500X

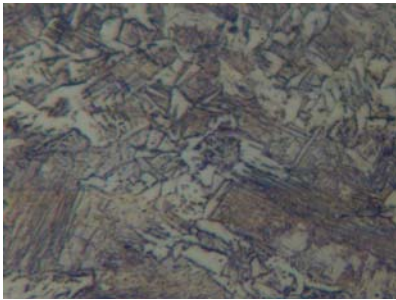


Figura 16 – ferrita, agregados e martensita:
Aumento 1.000X

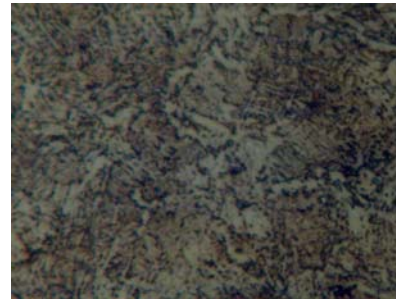


Figura 17 - ferrita, agregados e martensita:
Aumento 1.000X

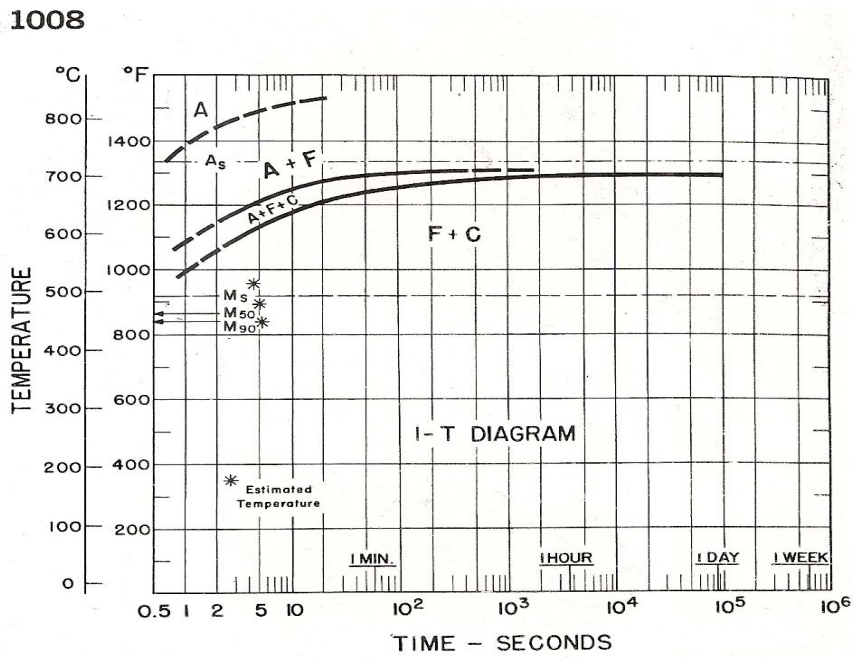


Figura 18 – Curva de transformação para um aço com 0,08% C. ⁽³⁾

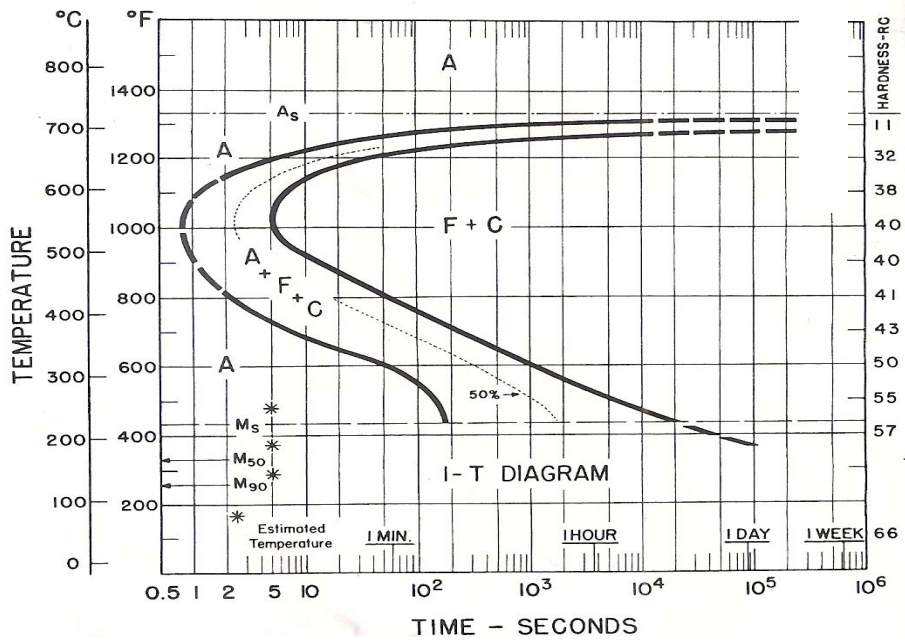


Figura 19 – Curva de transformação para um aço com 0,80 % C ⁽³⁾

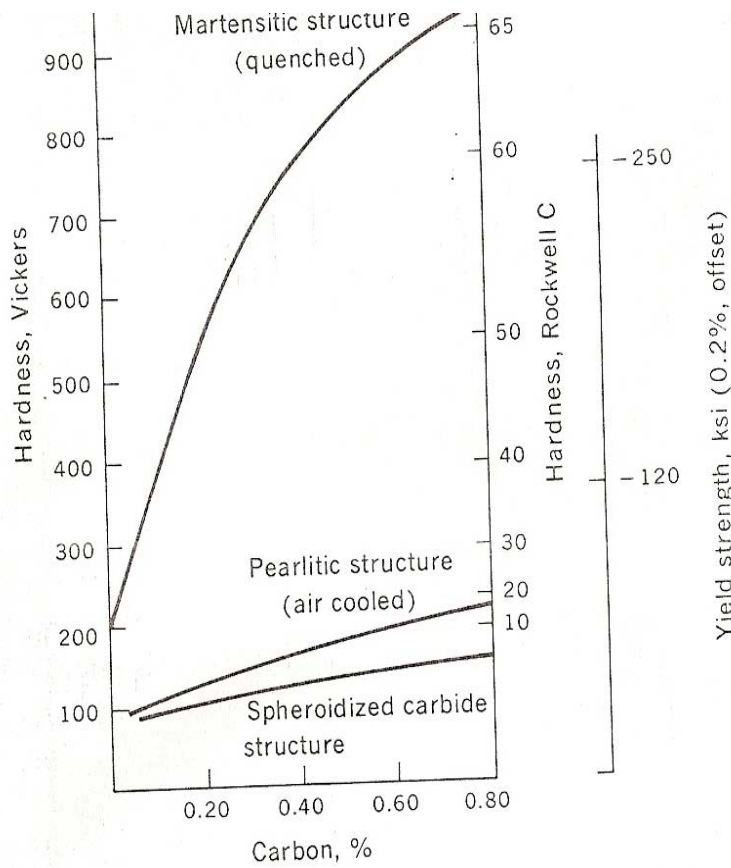


Figura 20 - Efeito do carbono na dureza do aço ⁽⁴⁾

Tabela 1 - Composição dos aços segundo Norma SAE J403.⁽⁵⁾

AÇOS CARBONO				
SAE/AISI	COMPOSIÇÃO QUÍMICA (%)			
	C	Mn	P máx.	S máx.
1005	0,06 máx.	0,35 máx.	0,030	0,050
1006	0,08 máx.	0,25 - 0,40	0,030	0,050
1008	0,10 máx.	0,30 - 0,50	0,030	0,050
1010	0,08 - 0,13	0,30 - 0,60	0,030	0,050
1012	0,10 - 0,15	0,30 - 0,60	0,030	0,050
1015	0,13 - 0,18	0,30 - 0,60	0,030	0,050
1016	0,13 - 0,18	0,60 - 0,90	0,030	0,050
1017	0,15 - 0,20	0,30 - 0,60	0,030	0,050
1018	0,15 - 0,20	0,60 - 0,90	0,030	0,050
1020	0,18 - 0,23	0,30 - 0,60	0,030	0,050

Observação: Tabela com composição até aço SAE 1020

5 DISCUSSÃO

Na região de Lente de Solda, foi observada uma grande quantidade de martensita e ferrita primária, sendo que a quantidade dessas microestruturas varia de acordo com a potência. Para baixa potência foi observado mais martensita e para alta potência menos martensita. Isso pode ser explicado porque em baixa potência tem-se um resfriamento mais rápido, logo maior formação de martensita.

A martensita é uma fase frágil tanto quanto maior for o teor de carbono. A composição do aço é muito importante porque as características da transformação da austenita influenciam a incidência de fissuração. Quanto maior o teor de carbono menor é a temperatura M_s , a temperatura de início de formação da martensita. Assim, nos aços com teor de carbono mais elevado, a relaxação das tensões de têmpera é mais difícil do que no caso da martensita começar a formar-se a temperaturas mais elevadas. Ainda, quanto mais baixa for a temperatura M_s , maior é a variação de volume durante a transformação e, por conseguinte, maiores serão as tensões de deformação resultantes.⁽²⁾ A temperatura M_s é apresentada em um diagrama de transformação isotérmica que mostra a curva de transformação para um aço 1008 na figura 18, comparando com um aço 1080, figura 19. Portanto, a martensita de baixo carbono, que é o caso dos vergalhões em questão, não é tão frágil quanto a de médio e alto carbono, porém para diminuir a incidência dessa microestrutura é recomendável a utilização de potência mais alta.

A microdureza medida nesta região foi em média 400 HV, compatível com a dureza de um aço baixo carbono, conforme figura 20.

A ocorrência de ferrita acicular favorece o material, pois esta é uma estrutura muito tenaz, que dificulta a propagação da trinca. A ferrita primária tem uma tenacidade média, não sendo responsável por fragilização.

Comparando as microestruturas encontradas na Lente de Solda, os tipos de ferrita em questão é com certeza desejável por ser tenaz, porém os carbonetos são responsáveis pela resistência do material. A composição química é extremamente importante para que não aconteça um excesso de precipitação carbonetos e segregações que podem comprometer a qualidade da solda.

Na ZTA foi observada a presença de um agregado, ferrita poligonal e perlita. A perlita parece se “desmanchar” na estrutura entre os grãos de ferrita, adquirindo um formato globulizado, que tende a diminuir a resistência. Foi notada uma importante diferença no tamanho de grão quando comparadas as amostras com alta e baixa potência. Em alta potência o material vai se manter em temperatura mais alta por mais tempo, possibilitando maior aumento do tamanho de grão. Esta ocorrência pode fragilizar a ZTA, visto que quanto menor o grão mais tenaz é o material. Ressaltando que as ocorrências de rupturas das treliças acontecem na ZTA.

6 CONCLUSÃO

Com o resultado das análises pode-se concluir que:

- 1 – Do ponto de vista da Lente de Solda, utilizar alta potência vai evitar maior ocorrência de formação de estrutura martensítica, microestrutura que fragiliza o material, embora seja uma martensita de baixo carbono.
- 2 – Do ponto de vista da ZTA, utilizar baixa potência favorece o material, pois com uma baixa potência os grãos se apresentam mais refinados, tornando a estrutura mais tenaz.
- 3 – Considerando que o aparecimento de rupturas se dá na ZTA da junta soldada conclui-se que a utilização de menor potência diminuiria as rupturas da armação treliçada.
- 4 – Durante o processamento do material pôde-se constatar rupturas mesmo com níveis “ótimos” de potência. Outros fatores podem ser responsáveis pelas rupturas, como possível variação na composição química e presença de segregações; o desgaste excessivo do eletrodo ou a variação da área de contato entre os vergalhões quando estes não estão posicionados de maneira alinhada.

Agradecimentos

A autora gostaria de externar seus sinceros agradecimentos à Votorantim Metais que permitiu a apresentação deste trabalho realizado a partir de seus produtos, em especial à engenheira de processos Claudine Guimarães Leite Cardoso, que tanto contribuiu para a realização do mesmo. Também não posso deixar de citar a UFF pela utilização dos equipamentos que complementaram a preparação das amostras para as análises metalográficas.

Referências

- 1 MARQUES, P.V. Tecnologia da Soldagem. Belo Horizonte, MG: O lutador. 1991
- 2 CHIAVERINI, V. Aços e Ferros Fundidos. 5. ed. São Paulo, SP: Associação Brasileira de Metais, 1982
- 3 USS. Isothermal Transformation of austenite in a Wide Variety of Steel. 3rd ed. Pittsburgh, PA: 1965
- 4 SHEWMON, P.G. Transformation in Metals. New York, NY: McGraw-Hill, 1969
- 5 Tabela SAE 403J adquirida na página de Internet:
http://www.favorit.com.br/produtos/constrmec/aocarbono/demais/comp_quim_1.html