



## 2ª SEMANA INTERNACIONAL DAS ENGENHARIAS DA FAHOR

Horizontina - RS - Brasil  
22 a 26 de Outubro de 2012



### ANÁLISE METALGRÁFICA DA SOLDAGEM MAG ENTRE OS AÇOS DISSIMILARES ASTM A36 E AISI 4140

Rafael Luciano Dalcin (FAHOR) [rd000522@fahor.com.br](mailto:rd000522@fahor.com.br)

Richard Thomas Lermen (FAHOR) [richard@fahor.com.br](mailto:richard@fahor.com.br)

#### Resumo

O principal objetivo do presente trabalho foi desenvolver e aplicar diferentes procedimentos de soldagem para unir o aço baixa liga AISI 4140 com o aço estrutural ASTM A36. Os estudos foram conduzidos utilizando a técnica de soldagem de múltiplas camadas, onde nove corpos de prova foram desenvolvidos através dos seguintes experimentos: inicialmente, três corpos de prova foram soldados com um, dois e três passes sem pré-aquecimento e pós-aquecimento; em sequência, outros três corpos de prova foram soldados com apenas pré-aquecimento (300 °C) e até três passes; por fim, utilizando pré-aquecimento (300 °C) e pós-aquecimento (724 °C), mais três corpos de prova foram soldados com um, dois e três passes. Através da análise das macrografias dos corpos de prova observou-se que os seis primeiros experimentos apresentaram uma zona afetada pelo calor (ZAC) significativa, porém com pequena variação de tamanho devido à quantidade de cordões de solda. Os experimentos realizados com pré-aquecimento e pós-aquecimento apresentaram ZAC muito pequenas. Portanto, foi realizada a soldagem dos aços dissimilares (AISI 4140 e ASTM A36) com minimização dos efeitos térmicos através da utilização da técnica de multipasses, pré-aquecimentos e pós-aquecimentos.

**Palavras-chave:** Soldagem MAG; Aço baixa liga AISI 4140; Aço estrutural ASTM A36; Zona afetada pelo calor.

#### 1. Introdução

O aço baixa liga AISI 4140 tem problemas na soldagem devido ao elevado índice de carbono existente na estrutura cristalina do material. Portanto, o procedimento de soldagem do aço AISI 4140, devido à formação de martensita na zona afetada pelo calor, contempla um tratamento térmico pós-soldagem para aliviar as tensões e melhorar a tenacidade desta zona. Este tratamento térmico, torna-se inviável muitas vezes devido a alguns fatores como tamanho da peça, reparo no campo e custo. A técnicas de utilizar várias camadas de solda tem sido pesquisada no sentido de se evitar este tratamento térmico e garantir boas propriedades mecânicas da peça soldada.



## 2ª SEMANA INTERNACIONAL DAS ENGENHARIAS DA FAHOR

Horizontina - RS - Brasil  
22 a 26 de Outubro de 2012



Durante os processos de soldagem em que há um elevado gradiente de temperatura, podem surgir zonas afetadas pelo calor que tem suas características metalúrgicas modificadas nas proximidades do cordão de solda, no qual apresenta algumas características que podem tornar a união frágil (ANDRADE, 2011). A finalidade do estudo é alterar o mínimo possível as características dos materiais, minimizar o tempo de processo e eliminar o tratamento térmico posterior. Sendo assim, este estudo pretende responder a seguinte questão: É possível realizar a soldagem de um aço de baixa liga 4140 com um aço estrutural ASTM A36 sem tratamento térmico posterior?

O objetivo do experimento é realizar um estudo microestrutural da junta soldada composta por um aço baixa liga AISI 4140 com o aço estrutural ASTM A36 pelo processo de soldagem MAG e verificar o comportamento do conjunto sem tratamento térmico posterior.

## 2. Revisão da Literatura

A revisão da literatura contempla resultados referentes a soldabilidade do aços em questão e descreve as técnicas de soldagem utilizadas na união do aço baixa liga AISI 4140 com o aço estrutural ASTM A36 pelo processo de soldagem MAG além de descrever os fatores metalúrgicos que afetam a soldabilidade. Também, um breve comentário referente a importância do pré-aquecimento na soldagem e as vantagens de eliminar o tratamento pós-soldagem foi feito.

### 2.1 Soldabilidade do aço AISI 4140 com o aço ASTM A36

Os aços estruturais ASTM A36 são aços de baixo carbono, os quais apresentam boa soldabilidade e pouca variação de dureza após a soldagem. Os aços AISI 4140 são aços de baixa liga e apresentam teores de carbono mais elevado do que os aços estruturais, portanto, tem maior temperabilidade que os aços de baixo carbono, tornando sua soldabilidade bem menor (WAINER; BRANDI; MELLO, 2004).

Modenesi (2001) destaca que o maior problema de soldabilidade destes aços é a formação de trincas induzidas pelo hidrogênio, principalmente na zona afetada pelo calor (ZAC). Além disso, outros problemas mais específicos incluem a perda de tenacidade na ZAC ou na zona fundida e a formação de trincas de solidificação. Podem ocorrer também, em função de uma seleção inadequada de consumíveis ou de um projeto ou execução incorretos, problemas de porosidade, mordeduras, falta de fusão, corrosão, etc. Um tratamento térmico após soldagem para o alívio de tensões ou até mesmo recozimento é usualmente recomendado.



## 2.2 Técnicas de soldagem para o aço AISI 4140 com o aço ASTM A36

A soldagem com passe único é dividida basicamente em três regiões: zona fundida (ZF) constituída pelo metal fundido, zona de ligação (ZL), constituída por uma estreita região onde ocorre uma fusão parcial do metal base junto à zona fundida e zona afetada pelo calor (ZAC), região do metal base que sofreu alterações microestruturais causadas pelo calor da soldagem (METALS HANDBOOK, 1990). Para facilitar o entendimento a Figura 1 apresenta estas diversas regiões da solda. Devido à taxa de resfriamento e de solidificação da soldagem, os elementos de liga e as impurezas podem segregar para as regiões interdendríticas ou intercelulares e para o centro da solda, resultando numa composição química localmente heterogênea. Com isso, o comportamento da transformação do metal de solda pode ser bastante diferente do metal base (AGUIAR, 2001).

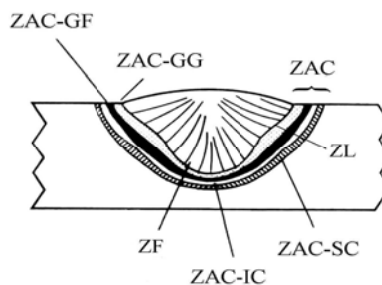


Figura 1 - Zona de uma solda com passe único. Fonte: Metals Handbook, 1990.

A técnica da dupla camada utiliza um método controlado de deposição, de modo que a segunda camada promova o refino e a redução da dureza da ZAC gerada pela primeira camada. O efeito desta técnica vai depender principalmente dos parâmetros de soldagem utilizados na deposição das camadas. Segundo Bueno (1999) a primeira camada produz inicialmente certo grau de refino, sendo dependente da sequência de deposição. Já a segunda camada penetra na primeira promovendo um refino da região de grãos grosseiros da ZAC da primeira camada (BUENO, 1999).

Conforme Metals Handbook (1990), com a soldagem multipasses, o refino parcial da microestrutura pelo passe subsequente aumenta a heterogeneidade na microestrutura e nas propriedades mecânicas da peça soldada. Como consequência, a reaustenitização e o aquecimento subcrítico podem ter um profundo efeito nas subseqüentes estruturas e propriedades da ZAC. A diminuição da tenacidade está relacionada com pequenas regiões dentro da zona afetada pelo calor com grãos grosseiros (ZAC-GG) que possuem ductilidade limitada e baixa resistência à clivagem, conhecidas como zonas frágeis localizadas (ZFL). Estas zonas são constituídas por várias outras zonas como a ZAC-GG inalterada, zona da ZAC-GG reauecida intercriticamente (ZAC-GGRI) e zona da ZAC-GG reauecida subcriticamente (ZAC-GGRS).



Nas adjacências da zona de ligação, as ZFL podem estar alinhadas e este alinhamento proporciona um caminho fácil para a propagação de trincas.

### **2.3 Fatores metalúrgicos que afetam a soldabilidade**

Durante o processo de soldagem dos aços existem vários fatores metalúrgicos que podem afetar a soldabilidade: temperabilidade, microestruturas do metal de solda, microestruturas da zona afetada pelo calor.

A temperabilidade é usada como um indicador de soldabilidade, como um guia para a seleção de materiais e processos de forma a evitar um excessivo endurecimento, o qual podem causar trincas na ZAC. Aços com alta temperabilidade proporcionam uma elevada fração volumétrica de martensita na ZF e na ZAC e essa microestrutura é altamente susceptível à trincas induzidas por hidrogênio (AGUIAR, 2001).

Já a microestrutura do metal de solda é principalmente controlada pela composição química e a taxa de resfriamento. Um dos principais parâmetros que afetam a microestrutura do metal de solda é a adição de elementos de liga que influenciam a microestrutura pelo aumento da temperabilidade, por exemplo, inibindo a transformação da ferrita de contorno de grão pelo controle da quantidade de oxigênio no metal de solda que afetará a composição e distribuição de inclusões não metálicas (ARAÚJO, 2006).

Zamin (2010) destaca que durante os processos de soldagem nos aços carbono, a zona afetada pelo calor (ZAC) sofre aquecimento acima da temperatura crítica de austenitização, alterando as propriedades mecânicas e estruturais já existentes. Portanto, esta região deverá ser resfriada de modo que se evite a formação de microconstituíntes frágeis, minimizando-se, assim, as alterações das propriedades mecânicas originais. A transformação de fase ocorrida durante o resfriamento conduzirá a uma estrutura ferrítica com regiões de martensita, ou ainda bainita grosseira, dependendo da taxa de resfriamento e do tipo de aço.

### **2.4 Importância do pré-aquecimento na soldagem**

O pré-aquecimento consiste em aquecer o metal base acima da temperatura ambiente antes da soldagem e tem como objetivo principal a prevenção de nucleação de trincas na zona de fusão e na zona afetada pelo calor. Os principais efeitos do pré-aquecimento são: menor tendência à formação da martensita devido à diminuição do tempo de resfriamento, redução da dureza obtida na zona afetada pelo calor, diminuição das tensões e distorções residuais e permitir que o hidrogênio tenha possibilidade de se difundir, reduzindo a tendência à fissuração a frio (BARBOSA, 2007).

Barbosa (2007) enfatiza que a temperatura de pré-aquecimento não deve ser excessiva, devendo ser apenas a necessária para evitar a obtenção da estrutura martensítica. O pré-aquecimento pode ser realizado em um forno com



controle de temperatura ou através de maçarico. As temperaturas de pré-aquecimento são recomendadas em função do teor de carbono ou do carbono equivalente e da espessura da liga a ser soldada.

## 2.5 Soldagem sem tratamento térmico posterior

Os aços temperáveis, durante o processo de soldagem, apresentam estruturas martensíticas não revenidas de elevada dureza e baixa tenacidade que, associadas às tensões residuais, podem gerar trincas. Como prevenção, realiza-se um tratamento térmico para aliviar as tensões internas e melhorar as propriedades mecânicas. A soldagem destes aços sem tratamento térmico posterior constitui um recurso atrativo, pois elimina os tratamentos térmicos, que, em geral, são caros e demorados devido ao tempo de permanência no forno podendo, ainda apresentar dificuldades quando realizadas em grandes estruturas ou necessita-se fazer a montagem e reparo no campo (AZEVEDO, 2002).

## 3. Métodos e Técnicas

Os materiais utilizados como corpos de prova foram construídos a partir de barras redondas do aço baixa liga AISI 4140 com diâmetro e comprimento de 22,225 e 150 mm, respectivamente, e chapas retangulares do aço estrutural ASTM A36 com dimensões 12,7 x 50 x 150 mm. A Figura 2 mostra um desenho esquemático do dispositivo fixador utilizado para prender as peças do aço ASTM A36 com o aço AISI 4140.

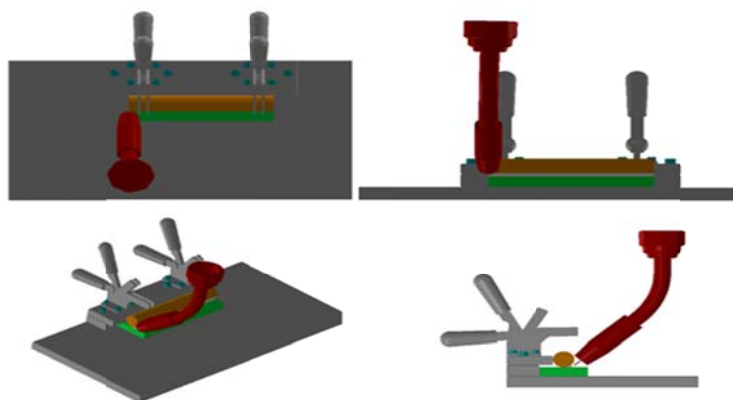


Figura 2 - Dispositivo de solda para posicionamento das peças.

As soldagens foram realizadas através de uma fonte de potência SMASHWELD 250 – ESAB, onde diferentes parâmetros foram ajustados. O arame AWS ER70S-6 foi utilizado como consumível. Um forno (mufla) da marca LAVOISIER foi utilizado para a realização de pré-aquecimento e pós aquecimento.

Os experimentos foram realizados utilizando a técnica de soldagem com passe único, dois passes e três passes. Os cordões de solda foram realizados em forma de junta de filete em “T”, posição plana, onde o arame foi posicionado num ângulo de 45° entre as duas chapas, 90° em relação ao eixo da solda. A distância do bico de contato à peça foi de 20 mm. As soldas foram aplicadas em apenas um lado da junta. A velocidade de alimentação do arame manteve-se constante em 11,7 metros/min e os parâmetros de soldagem são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Parâmetros utilizados na soldagem dos corpos de prova.

Corpo de Prova		Corrente (A)	Tensão (V)	Velocidade de Soldagem (mm/min)	Vazão do Gás (litros/min)	Cateto da Solda (mm)
Amostras 1, 4 e 7	1° Camada	200	21	1	14	12
Amostras 2, 5 e 8	1° Camada	200	21	0,47	14	12
	2° Camada	200	21	0,35	14	12
Amostra 3, 6 e 9	1° Camada	200	21	0,25	14	12
	2° Camada	200	21	0,31	14	12
	3° Camada	200	21	0,25	14	12

Um total de nove corpos de prova (amostras) foram desenvolvidos. As amostras 1, 2 e 3 foram realizadas sem pré-aquecimento e pós-aquecimento. As amostras 4, 5 e 6 foram feitas apenas com pré-aquecimento de 50 minutos à 300 °C. Por fim, as amostras 7, 8 e 9 foram realizadas utilizando pré-aquecimento de 50 minutos à 300 °C, pós-aquecimento de 60 minutos à 727 °C e resfriamento lento (dentro do forno).

Após a soldagem dos corpos de prova, os mesmos foram cortados, lixados, polidos e atacados com nital 3%. As macrografias da secção transversal do cordão foram realizadas através de uma máquina fotográfica digital.

#### 4. Resultados e discussões

As Figuras 3(01), 3(02) e 3(03) apresentam, respectivamente, as macrografias das amostras soldadas com uma camada, duas camadas e três camadas de solda sem tratamento térmico anterior e posterior. As três amostras apresentaram boa fusão, porém com relação a penetração as amostras apresentaram maior penetração no aço ASTM A36 e pouca



## 2ª SEMANA INTERNACIONAL DAS ENGENHARIAS DA FAHOR

Horizontina - RS - Brasil  
22 a 26 de Outubro de 2012



penetração no aço AISI 4140. A ZAC no aço AISI 4140 ficou mais visível e, possivelmente frágil devido ao alto índice de carbono existente na composição química do aço AISI 4140 e também pelo fato da alta taxa de resfriamento. Também, observa-se que o tamanho da ZAC diminui com o aumento do número de cordões de solda (passes).



Figura 3 - Macrografia dos corpos de prova soldados sem pré-aquecimento e sem pós-aquecimento. (01) Um cordão de solda, (02) dois cordões de solda e (03) três cordões de solda.

As Figuras 4(01), 4(02) e 4(03) apresentam, respectivamente, as macrografias das amostras soldadas com uma camada, duas camadas e três camadas de solda com pré-aquecimento e sem tratamento térmico posterior. Nestas amostras pode-se observar que o tamanho da ZAC diminui com o aumento do número de cordões de solda (passes). Também, algumas discontinuidades (falta de penetração – Figura 4(01) e excesso de convexidade – Figura 4(03)) podem ser observadas nestas macrografias.

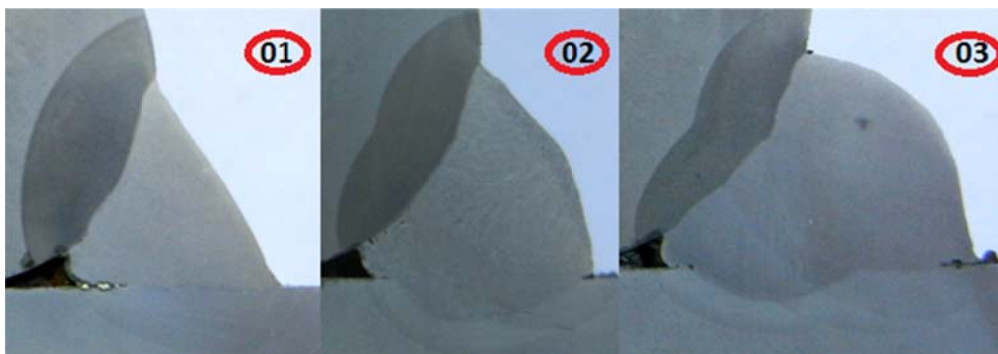


Figura 4 - Macrografia dos corpos de prova soldados com pré-aquecimento e sem pós-aquecimento. (01) Um cordão de solda, (02) dois cordões de solda e (03) três cordões de solda.

As Figuras 5(01), 5(02) e 5(03) apresentam, respectivamente, as macrografias das amostras soldadas com uma camada, duas camadas e três

camadas de solda com pré-aquecimento e pós-aquecimento. Nestas amostras observa-se uma possível extinção da ZAC e, conseqüentemente, eliminação de uma região frágil da solda.



Figura 5 - Macrografia dos corpos de prova soldados com pré-aquecimento e pós-aquecimento. (01) Um cordão de solda, (02) dois cordões de solda e (03) três cordões de solda.

Os experimentos que utilizaram uma camada de solda serviram inicialmente para produzir um certo grau de refino na ZAC. Já aqueles em que foram aplicados duas camadas de solda, a segunda camada penetrou na primeira promovendo refino da região dos grãos grosseira da ZAC resultantes da primeira camada. O procedimento da terceira camada consistiu em realizar o revestimento da solda (amanteigamento) para reduzir a zona dura da camada anterior.

## 5. Conclusões

De acordo com os resultados obtidos nos experimentos e análises dos resultados, as seguintes conclusões podem ser obtidas:

- Foi realizada a soldagem de dois aços dissimilares (AISI 4140 e ASTM A36) sem tratamento térmico posterior e anterior;
- As peças soldadas com mais de um cordão de solda e sem tratamento posterior apresentaram menor ZAC.
- As peças soldadas com pós-aquecimento apresentaram uma ZAC muito pequena para todas as peças.

## Referências

AGUIAR, W. M. (2001) - **Soldagem do aço ABNT 4140 sem Tratamento Térmico Posterior**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Ceará. Fortaleza.





ANDRADE, W. S. (2011) - **Estudo da técnica de dupla camada na soldagem de aço AISI 1045**. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal de Sergipe. São Cristóvão.

ARAÚJO, M. R. V. DE. (2006) - **Caracterização microestrutural do metal de solda depositado por arco submerso em chapas de aço-carbono estrutural**. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual Paulista. Ilha Solteira.

AZEVEDO, A. G. L. DE. (2002) - **Aplicação da Técnica da Dupla Camada na Soldagem do Aço ABNT 1045**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Ceará. Fortaleza.

BARBOSA, R. P. (2007) - **Tecnologia Mecânica: Metalurgia da Soldagem e Soldabilidade dos Materiais**. Material de Apoio. Centro Universitário do Leste de Minas Gerais. Coronel Fabriciano.

BUENO, E. R. (1999) - **Desenvolvimento do Procedimento de Soldagem do AISI 4140 sem Tratamento Térmico Posterior**. Dissertação de Mestrado. Florianópolis.

METALS HANDBOOK (1990) - **Properties and Selection: Irons Steels and High Performance Alloys**. 10 ed. Ohio: American Society for Metals, v.1.

MODENESI, P. J. (2001) - **Soldagem de Ligas Metálicas**. Material de apoio do Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Universidade Federal de Minas Gerais.

WAINER, E.; BRANDI, S. D.; MELLO, F. D. H DE. (2004) **Soldagem: Processos e Metalurgia**. Editora Edgard Blücher LTDA. São Paulo.

ZAMIN, P. V. (2010) - **Estudo do ciclo térmico na zona afetada pelo calor produzida pelo processo de soldagem MAG**. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre.