



2ª SEMANA INTERNACIONAL DAS ENGENHARIAS DA FAHOR

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



ANÁLISE PRÁTICA DE PENETRAÇÃO DE SOLDA EM AÇO 1045

Fabiana Camila Simon (FAHOR) fs000792@fahor.com.br

Marcelo Ioris (FAHOR) mi001024@fahor.com.br

Tiago Perin (FAHOR) tp000722@fahor.com.br

Valtair de Jesus Alves (FAHOR) valtair@fahor.com.br

Resumo

A soldagem é o mais importante processo para união de metais na indústria. Devido à sua importância, torna-se cada vez mais conveniente a criação de métodos de controle de qualidade da solda aliados a qualificação de operadores, análise das características dos materiais e sua soldabilidade. Este trabalho apresenta uma análise prática realizada em cinco amostras de aço SAE1045, com o intuito de verificar a penetração da solda através de diferentes parâmetros de soldagem em um mesmo material. A análise revelou que a amostra que melhor apresentou penetração da solda foi a amostra com regulagem 6 no aparelho de solda, demonstrando 5 mm de penetração. Verificou-se que desta forma que a alteração nos parâmetros de soldagem interferem de forma significativa a soldagem da peça. Aliado a isso, pode-se destacar diversos fatores que condicionam a qualidade da solda, tais como operador qualificado, a inexistência de trincas, a fusão adequada do material e a altura do cordão.

Palavras chave: Aço SAE 1045, Solda, Penetração da solda.

1. Introdução

De acordo com Rodrigues (2005), o processo de soldagem tem recebido nos últimos anos grande interesse devido sua versatilidade, sendo considerada atualmente um método muito importante na união de metais para a construção de peças e estruturas.

Para Marques (2005), a soldagem é o mais importante processo de união de metais utilizado atualmente na indústria. Este método, tem importante aplicação desde a indústria microeletrônica até a fabricação de navios ou estruturas compostas por centenas de toneladas, tendo sua aplicação desde estruturas simples até estruturas com elevado grau de responsabilidade.

A soldagem abrange um grande número de diferentes processos utilizados na fabricação e recuperação de peças. Soldagem pode ser definida como sendo o processo de união de metais por fusão, ou ainda, a operação que visa obter a união de duas ou mais peças assegurando na junta a continuidade das propriedades físicas e químicas (MARQUES, 2005).

Segundo Marques (2005), atualmente mais de 50 diferentes processos



2ª SEMANA INTERNACIONAL DAS ENGENHARIAS DA FAHOR

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



de soldagem tem utilização industrial visto que a soldagem é o mais importante método para se obter a união permanente de metais.

Este trabalho consiste em uma análise prática da soldagem de 3 amostras de aço 1045 com diferentes parâmetros de soldagem. Através desta análise, procura-se verificar particularidades de soldagem do aço 1045 quanto às modificações dos parâmetros de soldagem e sua interferência na qualidade da solda e em suma, na penetração da solda. Pretende-se verificar com este trabalho, qual amostra apresentou maior penetração da solda, tratando-se neste caso de uma análise unicamente para fins comparativos, pois outros fatores como operador, trincas de soldagem, fusão do material, também interferem neste processo.

2. Revisão da Literatura

2.1. Soldabilidade

A American Welding Society (AWS) relata que soldabilidade defini-se como “a capacidade de uma material ser soldado nas condições de fabricação impostas por uma estrutura específica projetada de forma adequada e de se comportar adequadamente em serviço”.

Segundo Batalha (2003), a soldabilidade de um material é definida pela formação da junção permanente por solda entre dois materiais para um determinado processo de soldagem. A Figura 1 ilustra os fatores de influência na soldabilidade.

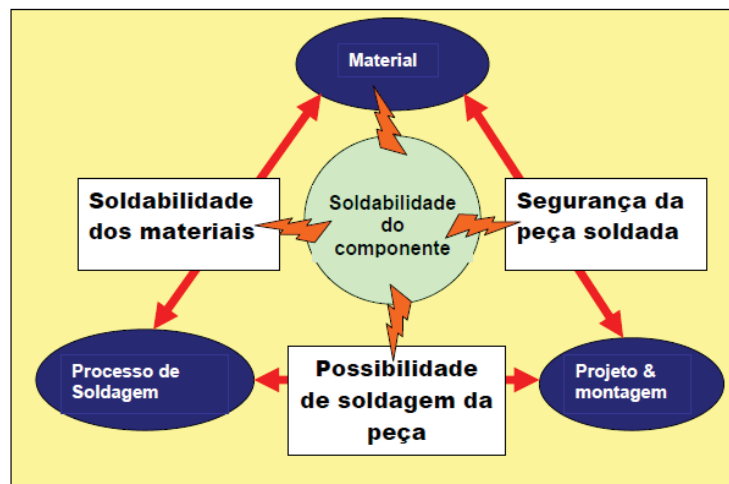


Figura 1 – Fatores de influencia na soldabilidade. Fonte: Batalha (2003)

Outro ponto importante que vem de encontro á soldabilidade refere-se à energia de soldagem, a qual segundo Zeemann (2003) é a quantidade de calor adicionada a um material por unidade de comprimento, geralmente representada pela letra E (J/mm).

Ainda Zeemann (2003) complementa que os processo de elevada



2ª SEMANA INTERNACIONAL DAS ENGENHARIAS DA FAHOR

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



energia são processos em que uma grande quantidade de calor é adicionada, devido às faixas de corrente e tensão elevadas. Por exemplo, solda de arco submerso. A principal característica que distingue os processos de soldagem é a intensidade da fonte de calor.

2.2. Características dos aços

De acordo com Fortes (2005), os aços podem ser classificados:

- Aço carbono;
- Aço de baixa liga;
- Aços de média liga; e
- Aços de alta liga.

Fortes (2005) comenta que o aço é basicamente uma liga de ferro e carbono, tendo os seus níveis de resistência através da adição de carbono. Os aços carbono podem ser classificados como segue:

- Baixo carbono- até 0,14% carbono;
- Aço doce- de 0,15% até 0,29% carbono;
- Aço de médio carbono- de 0,30% até 0,59% carbono;
- Aço de alto carbono- de 0,60% até 2,00 % carbono.

Os aços de baixo carbono e doce são os grupos mais produzidos devido sua relativa resistência e boa soldabilidade.

Segundo a norma SAE e demais norma, os aços possuem uma nomenclatura padrão, onde os primeiros dois dígitos indicam os principais elementos de liga do aço e o seu teor aproximado de carbono. Os dois (ou três) últimos dígitos indicam o valor médio aproximado da faixa de carbono do aço, mas em alguns casos essa regra não é seguida para informar a quantidade de enxofre, cromo, fósforo e outros elementos (2011).

Segundo Azevedo (2002), o Aço 1045 é classificado como aço para construção mecânica constituído de 0,45% de Carbono. São geralmente utilizados no estado de fornecimento sem qualquer tratamento térmico, porém para que se obtenha melhores características, dependendo do processo, recorrem-se a tratamentos térmicos convencionais, como recozimento e têmpera. Como o carbono já se destaca com grande representatividade na composição desse material, e sendo o elemento que mais afeta a soldabilidade do aço, deve-se considerar também o nível de tensão atuante na região da solda, principalmente em peças com espessuras mais elevadas.

O maior problema de soldabilidade destes aços é a formação de trincas induzidas pelo hidrogênio, principalmente na zona termicamente afetada (ZTA). Outros problemas mais específicos incluem a perda de tenacidade na ZTA, ou na zona fundida, e a formação de trincas de solidificação (em peças

contaminadas ou na soldagem com aporte térmico elevado). Ainda, em função de uma seleção inadequada de consumíveis ou de um projeto ou execução incorretos, podem ocorrer problemas como porosidade, mordeduras, falta de fusão e corrosão (MODENESI, 2001).

2.3. Classificação dos processos de soldagem

De acordo com Fogagnolo (2001) a primeira classificação dos processos de soldagem se referem ao método dominante para produzir a união, como pode ser observado na Figura 2.

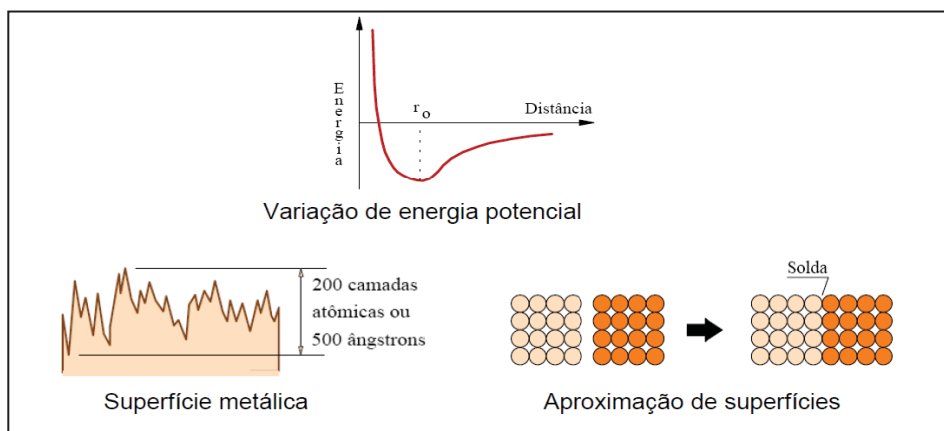


Figura 2 – Formação de uma junta soldada. Fonte: Fogagnolo (2001)

A Figura 3 ilustra o método de produção da união soldada de acordo com Fogagnolo (2001).

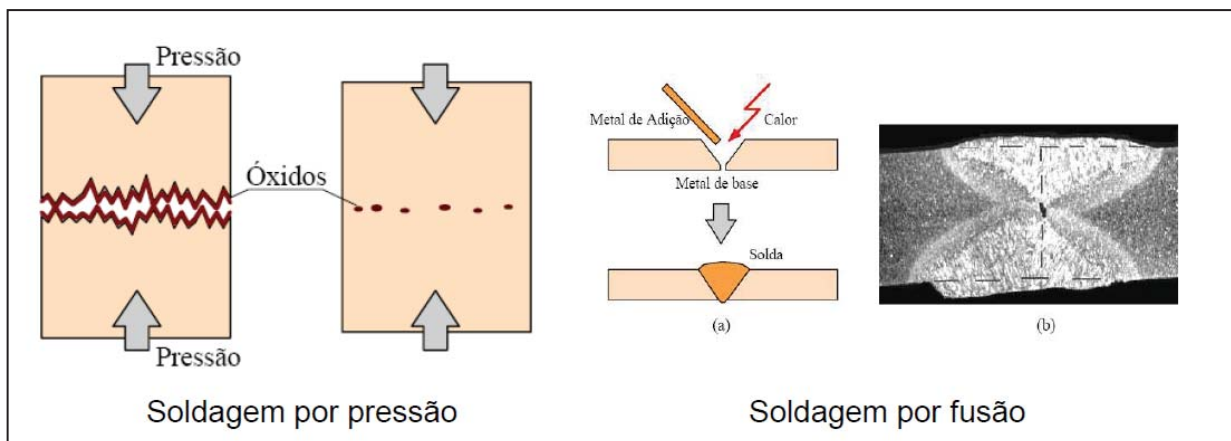


Figura 3 – Classificação de acordo com o método de produção da união. Fogagnolo (2001)

2.4. Cordão de solda

Segundo Fortes (2005), as características do cordão de solda são altura e largura, conforme é mostrado na Figura 4. Essas características são



importantes para garantir que a junta de solda seja adequadamente preenchida com um mínimo de defeitos. Se a altura do cordão de solda for muito grande, torna-se muito difícil depositar os passes de solda subsequentes com boa fusão. Quanto mais protuberante e estreito for o cordão de solda, maior a probabilidade de ocorrer falta de fusão.

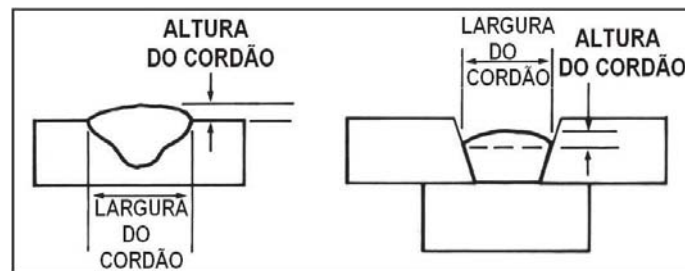


Figura 4 – Características do cordão de solda. Fonte: Fortes (2005).

Para Fortes (2005), alterar o tamanho do cordão de solda deve ser mudado a quantidade de metal de solda depositado por unidade de comprimento linear da solda. A corrente e a velocidade de soldagem são os parâmetros mais influentes no controle do tamanho do cordão de solda. Uma diminuição na velocidade de soldagem resultará num aumento da largura e da altura do cordão de solda, aumentam ou diminuem conjuntamente.

Ainda Fortes (2005), a extensão do eletrodo e a técnica de soldagem empregada (puxando ou empurrando) também afetam essas características, mas apenas até certo limite.

2.5. Perfil Incorreto da Solda

Segundo Modenesi (2001), o perfil de uma solda é importante, pois variações bruscas facilitam o aparecimento de trincas. O perfil do cordão pode ser inadequado quando: Facilita o aprisionamento da escória entre os passes de soldagem; acumulam resíduos, prejudicando a resistência da corrosão da estrutura; há dimensões incorretas. Na Figura 5 estão representados alguns exemplos de perfis inadequados de solda.

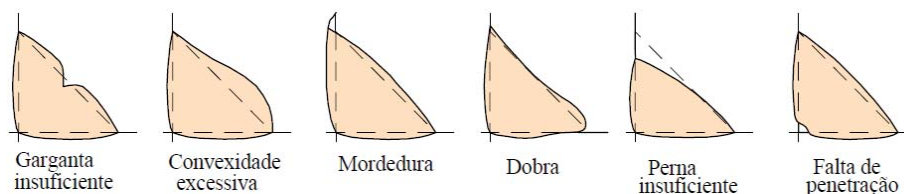


Figura 5 – Perfis inadequados de solda. Fonte: Modenesi (2001).

De acordo com Fortes (2005), existem alguns fatores que podem ocorrer na solda:

- Trincas na solidificação;
- Trincas induzidas por hidrogênio no metal de solda;
- Porosidade;
- Inclusões de escória ou outras;
- Trincas de cratera;
- Falta de fusão; e
- Perfil de cordão desfavorável

Modenesi (2001) apresenta a seguir (Figura 6) algumas ilustrações referentes estes possíveis problemas na solda abordados acima.

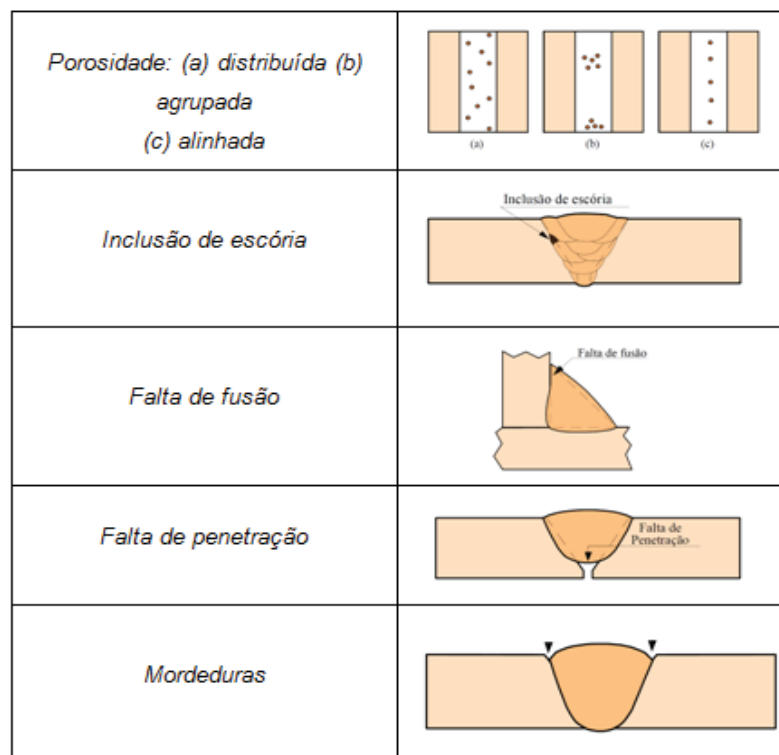


Figura 6 – Possíveis problemas na solda. Fonte: Adaptado de Modenesi (2001)

2.6. Solda MIG/ MAG

De acordo com Fogagnolo (2001) o processo de soldagem MIG/MAG pode ser definido como soldagem por fusão, utilizando-se do calor do arco elétrico formado entre um eletrodo metálico consumível e a poça. Neste processo, tanto o arco quanto a poça são protegidos contra a contaminação pela atmosfera por um gás ou mistura de gases.

Quanto às aplicações, Fogagnolo (2001) comenta que o processo MIG é



2ª SEMANA INTERNACIONAL DAS ENGENHARIAS DA FAHOR

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



utilizado para a soldagem:

- Aços-carbono;
- Aços de baixa, média e alta liga;
- Aços inoxidáveis;
- Alumínio;
- Magnésio; e
- Cobre e suas ligas.

Fogagnolo (2001) comenta ainda que a polaridade mais indicada para a soldagem MIG/MAG é a polaridade inversa CC+. Com o uso da polaridade direta (CC-), ocorre a repulsão da gota causada pelas forças dos jatos de plasma e de vapor metálico. A gota é empurrada para cima e em seguida desviada de sua trajetória, o que torna instável a transferência do metal.

De acordo com Fogagnolo (2002), a tensão do arco é caracterizada como a tensão entre a extremidade do arame e da peça, conforme pode ser visto na Figura 7.

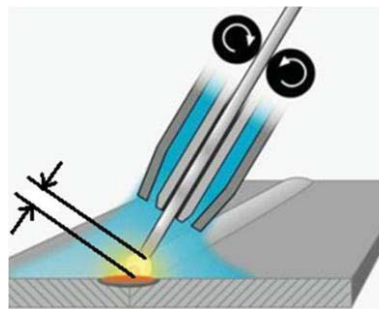


Figura 7 – Tensão do arco. Fonte: Fogagnolo (2001)

Desta forma, devido as quedas de tensão encontradas no sistema de soldagem, a tensão do arco não pode ser lida de forma direta no voltímetro da fonte. A tensão do arco é diretamente proporcional ao comprimento do arco, desta forma, quanto maior o comprimento, maior a tensão do arco. A tensão de soldagem afeta diretamente o formato do cordão de solda (FOGAGNOLO, 2002).

De acordo com a Figura 8, a corrente de soldagem pode ser medida na saída da fonte (amperagem) no momento de realização da solda.

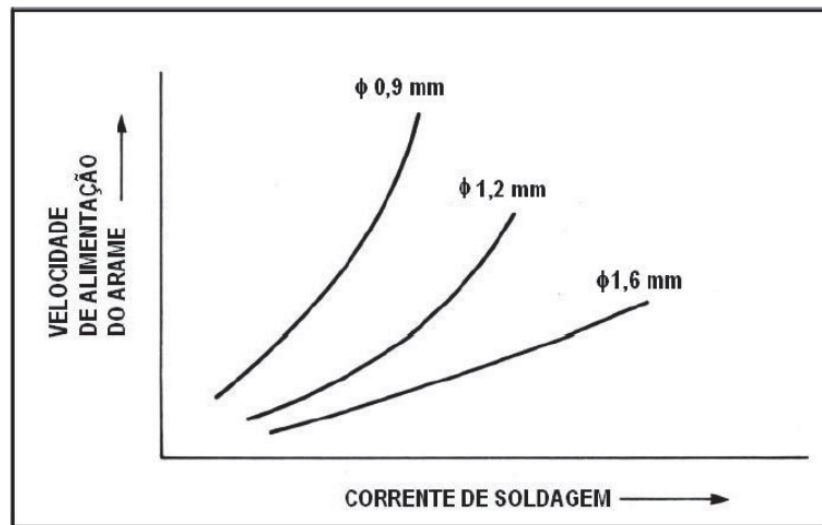


Figura 8 – Característica de queima. Fonte: Fogagnolo (2011).

A corrente de soldagem de acordo com a Figura 8 está diretamente relacionada à velocidade de alimentação do arame, no processo de soldagem MIG/MIG.

Cada arame possui um intervalo de corrente que está relacionado com o diâmetro do eletrodo. Eletrodos que possuem maiores diâmetros, automaticamente requer e maiores correntes para uma determinada velocidade de alimentação.

2.7 Análise de penetração da solda

Segundo Fortes (2005), a penetração de solda é a distância que a linha de fusão se estende abaixo da superfície do material soldado.

A penetração da solda é diretamente proporcional à corrente de soldagem, se ocorrer um aumento ou uma diminuição na corrente, consequentemente aumentará ou diminuirá a penetração da solda. Entretanto, tem sido observado que a corrente de soldagem pode variar sem alterar a velocidade de alimentação do arame (FORTES, 2005).

Modenesi (2008) também afirma que as soldas podem ser definidas por penetração total ou parcial. A penetração total apresenta melhor comportamento mecânico, porém, é de execução mais difícil. Esta penetração está associada às soldas em juntas de topo e ângulo, assim, quando o desempenho destas não for necessário, o melhor é de se trabalhar com soldas de penetração parcial. A penetração parcial tem menor resistência e é de fácil execução, ilustrada na Figura 9.

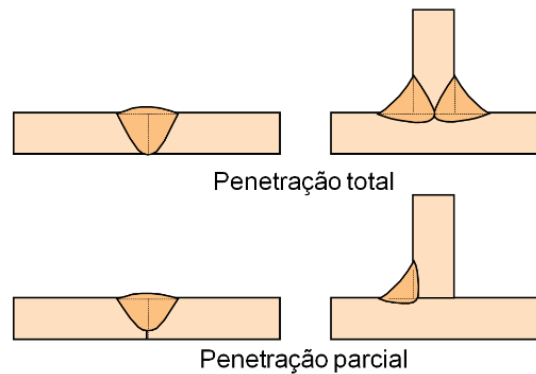


Figura 9 – Tipos de penetração em juntas de soldagem. Fonte: Modenesi (2008).

3. Métodos e Técnicas

No presente trabalho a metodologia consiste em um estudo experimental a fim de se realizar um estudo comparativo de diferentes parâmetros de soldagem nas amostras de aço 1045. Para o estudo, foram utilizadas 4 (quatro) amostras de aço 1045, onde o estudo propõe uma análise do comportamento da solda mantendo a mesma velocidade de arame, variando-se a amperagem ou corrente. A chave seletora estava na regulagem 2 do aparelho para a soldagem das amostras. No quadro 1 podem ser visualizados os parâmetros de soldagem.

Amostra	Material	Solda	Velocidade do arame (mm/min)	Arame de Solda (mm)	Posição de soldagem	Tipo de solda	Regulagem: Posição do aparelho
1	Aço 1045	MIG/MAG	11	0,8	Plano	Topo	8
2	Aço 1045	MIG/MAG	11	0,8	Plano	Topo	7
3	Aço 1045	MIG/MAG	11	0,8	Plano	Topo	6
4	Aço 1045	MIG/MAG	11	0,8	Plano	Topo	Amostra descartada

Fonte: Própria.

Quadro 1 – Configurações do teste.

Conforme pode ser observado, as amostras 1, 2, 3 e 4 correspondem às



2ª SEMANA INTERNACIONAL DAS ENGENHARIAS DA FAHOR

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



mesmas configurações de teste, exceto no que se refere à posição do aparelho. A amostra 4 teve que ser descartada pois no momento da soldagem a solda não conseguia penetrar no material e a mesma acabou quebrando. As amostras foram soldadas de acordo com o especificado no Quadro 1.

4. Resultados e discussões

Segundo Fortes (2005), existe uma relação entre a tensão do arco e a corrente de soldagem para os gases de proteção mais comuns empregados na soldagem MIG/MAG dos aços carbono. A tensão do arco desta forma é aumentada com o aumento da corrente de soldagem a fim de proporcionar a melhor operação. Na Figura 10 pode ser visualizada a relação entre a tensão do arco e a corrente de soldagem.

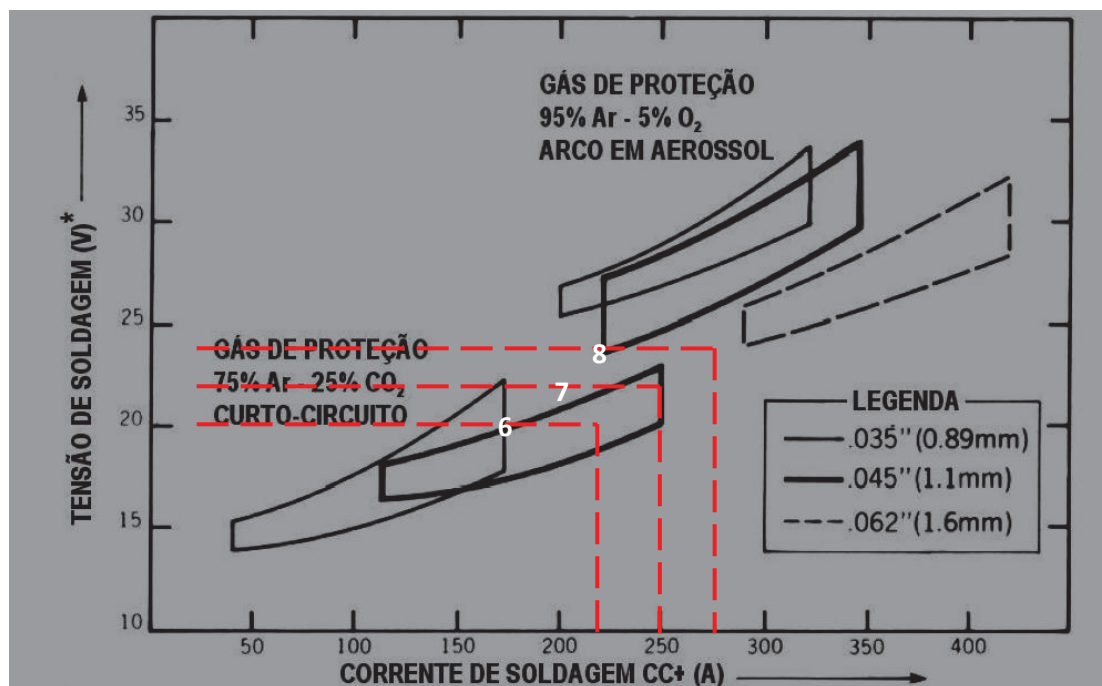


Figura 10 – Relação entre a tensão do arco e a corrente de soldagem. Fonte: adaptado de Fortes (2005)

Através da relação exposta no gráfico acima (Figura 13), pode-se observar que com a regulagem do aparelho em 6, temos uma tensão de 20V e uma amperagem de 200A. Para a regulagem 7 do aparelho de solda, temos uma estimativa aproximada de 22V e uma amperagem de 230A. Para a regulagem 8 do aparelho de solda, temos uma tensão aproximada de 24 V e a amperagem equivalente a 260A.

A seguir são apresentadas as considerações referentes a cada amostra

analisada. A Figura 11 apresenta o total de amostras analisadas no processo de soldagem.



Figura 11 – Amostras. Fonte: Autores

A Figura 12 apresenta as dimensões que compreendem as amostras, sendo que todas possuem as mesmas medidas.

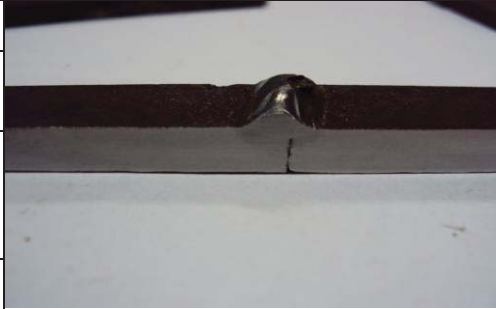


Figura 12 – Amostras. Fonte: Autores

A análise visual aplicada a cada amostra soldada pode ser visualizado a seguir, assim como a inspeção de medição realizada para a verificação da

penetração de solda na peça e também características do cordão de solda.

Amostra 1a

<i>Amostra 1a</i>		
Regulagem do aparelho	Posição 8	
Cordão até a superfície	3 mm	
Penetração da solda até a zona temperada	3 mm	
Amperagem	200A	

Fonte: Própria.

Quadro 2 – Amostra 1 a.

A amostra 1 a apresentou dificuldade de penetração da solda, penetração caracterizada como parcial, desalinhamento da solda e falta de fusão.

Amostra1b

<i>Amostra 1b</i>		
Regulagem do aparelho	Posição 8	
Cordão até a superfície	2 mm	
Penetração da solda até a zona temperada	2 mm	
Amperagem	200A	

Fonte: Própria.

Quadro 3 – Amostra 1 b.

A amostra 1 b apresentou penetração caracterizada como completa ou total, solda alinhada e possível trinca na solda.




2ª SEMANA INTERNACIONAL DAS ENGENHARIAS DA FAHOR

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



Amostra 2a

<i>Amostra 2a</i>		
Regulagem do aparelho	Posição 7	
Cordão até a superfície	2 mm	
Penetração da solda até a zona temperada	3 mm	
Amperagem	230°	

Fonte: Própria.

Quadro 4 – Amostra 2 a.

A amostra 2 a apresentou dificuldade de penetração da solda, penetração caracterizada como parcial, desalinhamento da solda, formação de trinca na solda e falta de fusão.

Amostra 2b

<i>Amostra 2b</i>		
Regulagem do aparelho	Posição 7	
Cordão até a superfície	3 mm	
Penetração da solda até a zona temperada	4 mm	
Amperagem	230A	

Fonte: Própria.

Quadro 5 – Amostra 2 b.

A amostra 2 b apresentou boa penetração da solda, penetração caracterizada como completa ou total, alinhamento da solda e formação de trinca na solda.

Amostra 3 a

Obs: Um dos lados da amostra 3 obteve problemas na soldagem foi desconsiderado;

Amostra 3a		
Regulagem do aparelho	Posição 6	
Cordão até a superfície	4 mm	
Penetração da solda até a zona temperada	5 mm	
Amperagem	260A	

Fonte: Própria.

Quadro 6 – Amostra 3 a.

A amostra 3 a apresentou penetração caracterizada como completa ou total, desalinhamento da solda, formação de trinca na solda e cordão de solda muito alto.

5. Considerações finais

No contexto atual, destaca-se que um número cada vez maior de organizações, por intermédio de seus processos, vem buscando alternativas para buscarem a excelência, procurando, constantemente, desenvolverem instrumentos para controlarem seus processos, reduzirem desperdícios, aumentarem a satisfação de seus colaboradores e alcançar maior estabilidade.

Pode-se notar que a utilização correta de parâmetros de solda mostra a consistência na solda, desta forma realizou-se a soldagem nas amostras na posição 6, 7 e 8 da máquina de solda, sendo que a posição 6 com aproximadamente 20 Volts e 200 Amperes foi a que teve maior penetração 5 mm, correspondente a amostra 3. Destaca-se que a penetração da solda na amostra 3 caracteriza-se como total. Devido possíveis falhas durante a soldagem, a amostra apresentou cordão excessivamente alto e também formação de trincas, porém no que se refere à penetração da solda, a mesma foi a que melhor correspondeu as expectativas. A amostra 2 b também teve boa penetração de solda, com 4 mm.

Por fim, destaca-se que o controle no processo de solda, desde sua implantação, torna-se um instrumento de dinamismo, fundamental e indispensável para a busca da operacionalidade, bem como o alcance das metas. Verifica-se que desta forma que a alteração nos parâmetros de soldagem interferem de forma significativa a soldagem da peça. Aliado a isso,



pode-se destacar diversos fatores que condicionam a qualidade da solda, tais como operador, a inexistência de trincas, a fusão adequada do material e a altura do cordão.

Referências

ANDRADE, W. S. **Estudo da técnica de dupla camada na soldagem de aço AISI 1045**. Trabalho de conclusão de curso. - Universidade Federal de Sergipe. Sergipe, São Cristovão, 2011.

AWS, **Welding Hand book, Materials and Application – Part1**, American Welding Society, 8ª Edição, Vol. 3, 1996.

AZEVEDO, A. G. L. **Aplicação de técnica da dupla camada na soldagem do aço ABNT 1045**. Dissertação - Universidade Federal do Ceará, Ceará, Fortaleza. 2002

BATALHA, G. F. **Processos de Fabricação: Junção, Soldagem e Brasagem**. (2003). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo.

FOGAGNOLO J. **Introdução a processos de soldagem**. UNICAMP. (2001). Disponível em: <<ftp://ftp.fem.unicamp.br/pub/Fogagnolo/apostila%20de%20soldagem.pdf>>. Acesso em: Julho, 2012.

FORTES C. ESAB. **Metalurgia da soldagem**. (2005). Disponível em: <http://www.esab.com.br/br/por/Instrucao/biblioteca/upload/1901104rev0_ApostilaSoldagemMIGMAG.pdf>. Acesso em: Julho, 2012.

MARQUES P. **Soldagem. Fundamentos e tecnologia**. Ed.3. Editora UFMG. 2002.

MODENESI, P. J., **Descontinuidades**. (2001). Disponível em: <<http://www.demet.ufmg.br/grad/disciplinas/emt019/descontinuidades.pdf>>. Acessado em: 01 Jul 2012.

MODENESI, P. J., **Terminologia**. (2008) Disponível em: <<http://www.demet.ufmg.br/grad/disciplinas/emt019/terminologia.pdf>> Acessado em: 01 Jul 2012.

RODRIGUES L. **Análise e Otimização de parâmetros na soldagem com aram tubular**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós graduação em engenharia Mecânica. Universidade Federal de Itajubá. (2005)

ZEEMANN, A. **Infosolda**. Disponível em: <www.infosolda.com.br/new_site/getFile.php?t=d&i=100>. Acessado em: 01 Jul 2012.