

Capítulo XII

Soldagem de Juntas em Aresta por Plasma, TIG e MIG/MAG

12.1. Objetivo

Neste capítulo procurou-se avaliar os processos de soldagem TIG e MIG/MAG aplicados em juntas em aresta de aço ao carbono com 1,5 mm de espessura e comparar os resultados com os obtidos utilizando o processo de soldagem a plasma. Além disso, para completar a comparação entre os processos Plasma e TIG, verificou-se também qual a influência da distância tocha-peça sobre a soldagem.

12.2 Soldagem dos corpos de prova e avaliação dos resultados

12.2.1 Soldagem TIG

Para a soldagem TIG foram adotados os seguintes parâmetros:

- Corrente de soldagem: 140 A;
- Eletrodo: EW-Th2 com 1,6 mm de diâmetro;
- Distância eletrodo-peça: 2 mm;
- Limpeza das chapas por jateamento de areia.

A princípio foi realizada uma série de testes posicionando a tocha em ângulo de ataque de 90° (tocha reta) e utilizando Argônio puro como gás de proteção, que é a condição mais popular para o processo TIG. Os resultados para esta série (série 30-1) são mostrados na Tabela 12.1.

Tabela 12.1: Resultados da série de testes 30-1 (TIG utilizando Ar)

Teste	Velocidade (mm/min)	Comprimento do cordão (mm)	Aceitabilidade do cordão
30-1-1	500	280	100%
30-1-2	700	280	60% (irregularidades)
30-1-3	600	280	100%
30-1-4	600	280	100%
30-1-5	600	280	100%

Teste	Velocidade (mm/min)	Comprimento do cordão (mm)	Aceitabilidade do cordão
30-1-6	600	280	100%
30-1-7	600	280	100%

Constantes: Gás de Proteção: Ar puro a uma vazão de 10 l/min; Diâmetro do eletrodo: 1,6 mm; Distância eletrodo-peça: 2 mm; Ângulo da ponta do eletrodo: $\approx 60^\circ$; Retardo: 1,5 s; Rampa de velocidade: 2,5 s; Ângulo de ataque: 90° ; Corrente de soldagem: 140 A.

O limite superior da velocidade foi de 600 mm/min, como mostraram os testes 30-1-3 ao 30-1-7. O aspecto do cordão de solda obtido com esta velocidade é mostrado na Figura 12.1. Além do aspecto não totalmente satisfatório, a velocidade limite foi considerada insatisfatória.



Figura 12.1: Aspecto do cordão obtido com TIG na velocidade limite de 600 mm/min

A próxima série de testes (série 30-2) foi realizada ainda com a utilização de Argônio puro como gás de proteção, porém posicionando a tocha em um ângulo de ataque de 105° , como forma de tentar aumentar o limite da velocidade de soldagem. A Tabela 12.2 mostra os resultados para esta série de testes, bem como os parâmetros utilizados.

Tabela 12.2: Resultados da série de testes 30-2 (TIG utilizando Ar)

Teste	Velocidade (mm/min)	Comprimento do cordão (mm)	Aceitabilidade do cordão
30-2-1	500	280	100%
30-2-2	700	280	100%
30-2-3	1000	280	40% (irregularidades)
30-2-4	900	280	80% (irregularidades)
30-2-5	800	280	70% (irregularidades)
30-2-6	700	280	100%
30-2-7	700	280	100%

Constantes: Gás de Proteção: Ar puro a uma vazão de 10 l/min; Diâmetro do eletrodo: 1,6 mm; Distância eletrodo-peça: 2 mm; Ângulo da ponta do eletrodo: $\approx 60^\circ$; Retardo: 1,5 s; Rampa de velocidade: 2,5 s; Ângulo de ataque: 105° ; Corrente de soldagem: 140 A.

A imposição do ângulo de ataque de 105° não possibilitou um aumento significativo na velocidade limite de soldagem, que de 600 passou para apenas 700 mm/min. Além disso, os cordões continuaram com formas irregulares, semelhantes aos cordões obtidos na série de testes anterior, como mostra a Figura 12.2.



Figura 12.2: Aspecto do cordão obtido com TIG na velocidade limite de 700 mm/min

Na próxima série de testes (série 30-3) foi utilizada a mistura A50 comercial como gás de proteção, mantendo-se ainda o ângulo de ataque em 105° . A intenção foi verificar se a adição do aditivo A ao processo, aliada ao ângulo de ataque, causaria efeito semelhante ao obtido na soldagem a plasma de aço ao carbono, ou seja, um aumento na velocidade limite de soldagem e uma maior estabilidade do processo. A Tabela 12.3 mostra os resultados para esta série de testes, bem como os parâmetros utilizados.

Tabela 12.3: Resultados da série de testes 30-3 (TIG utilizando Mistura A50 comercial)

Teste	Velocidade (mm/min)	Comprimento do cordão (mm)	Aceitabilidade do cordão
30-3-1	500	280	100%
30-3-2	700	280	100%
30-3-3	1000	280	100%
30-3-4	1300	280	100%
30-3-5	1500	280	50% (irregularidades)
30-3-6	1400	280	100%
30-3-7	1400	280	100%
30-3-8	1400	280	100%
30-3-9	1400	280	100%

Constantes: Gás de Proteção: mistura A50 comercial a uma vazão de 10 l/min; Diâmetro do eletrodo: 1,6 mm; Distância eletrodo-peça: 2 mm; Ângulo da ponta do eletrodo: $\approx 60^\circ$; Retardo: 1,5 s; Rampa de velocidade: 2,5 s; Ângulo de ataque: 105° ; Corrente de soldagem: 140 A.

O limite superior da velocidade de soldagem aumentou para 1400 mm/min, como mostraram os testes 30-3-6 ao 30-3-9. Apesar da velocidade limite de soldagem alcançada ter sido a mesma que fora obtida com a utilização do processo a plasma, o aspecto do cordão de solda continuou ainda com forma irregular, perdendo em qualidade para os obtidos com o processo Plasma, fato ilustrado pela Figura 12.3.

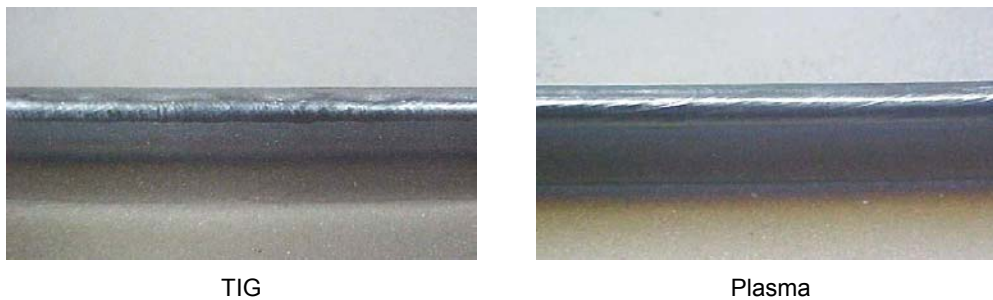


Figura 12.3: Aspecto dos cordões a 1400 mm/min obtidos com o processo TIG e Plasma

12.2.2 Soldagem MIG/MAG

Para a soldagem MIG/MAG foram impostos os seguintes parâmetros:

- Corrente de soldagem: 140 A;
- Arame: AWS-A5 18-93 com 0,9 mm de diâmetro;
- Distância bico de contato-peça: 10 mm;
- Gás de proteção: C-20 (80 % de Ar e 20% de CO₂) a 12 l/min;
- Limpeza das chapas por jateamento de areia.

De início, foram feitos testes sobre chapas planas com o intuito de se ajustar uma tensão de soldagem e uma velocidade de alimentação que proporcionassem uma corrente de soldagem de 140 A (que vem sendo utilizada nos testes com o processo a plasma), no modo de transferência metálica por curto-circuito e, é claro, que fornecesse um cordão de boa qualidade. Após a realização de alguns testes, obteve-se um cordão de bom aspecto gerado por curto-circuito a uma corrente de 140 A, com os seguintes parâmetros:

- Tensão de soldagem: 19 V;
- Velocidade de alimentação: 5,8 m/min;
- Velocidade de soldagem: 700 mm/min.

Uma vez encontrada uma condição favorável de soldagem, deu-se início aos testes sobre as juntas em aresta de aço ao carbono. Na primeira série de testes (série 31-1), a velocidade de soldagem foi variada mantendo-se a tocha em ângulo de ataque de 90° (tocha reta). Os resultados para esta série são mostrados na Tabela 12.4 e o aspecto característico dos cordões obtidos é ilustrado na Figura 12.4.

Tabela 12.4: Resultados da série de testes 31-1 (MIG/MAG com ângulo de ataque de 90°)

Teste	Velocidade (mm/min)	Comprimento do cordão (mm)	Aceitabilidade do cordão
31-1-1	700	280	0% (irregularidades)
31-1-2	400	280	0% (irregularidades e excesso de fusão)
31-1-3	1000	280	0% (irregularidades)

Constantes: Gás de Proteção: Ar com 20% de CO₂ a uma vazão de 12 l/min; Diâmetro do arame: 0,9 mm; Distância bico de contato-peça: 10 mm; Tensão de soldagem: 19 V; Velocidade de alimentação: 5,8 m/min; Corrente de soldagem: 140 A.

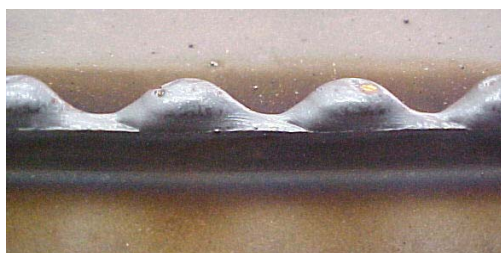


Figura 12.4: Aspecto dos cordões obtidos com MIG/MAG na série de testes 31-1

Como pode ser verificado através da Tabela 12.4 e da Figura 12.4, os resultados utilizando o processo MIG/MAG com a tocha em ângulo de ataque de 90° foram bastante ruins. É interessante ressaltar que as irregularidades ocorridas nestes testes são bastante semelhantes às ocorridas quando da soldagem a plasma no início do presente trabalho (defeitos em forma de serra ou “costas de dragão”).

Como forma de tentar tornar o processo menos instável, e assim conseguir cordões de boa aceitabilidade, a tocha de soldagem na série de testes 31-2 foi posicionada em ângulo de ataque de 75°, ou seja, puxando o cordão de solda. Os resultados para esta série de testes são mostrados na Tabela 12.5 e o aspecto dos cordões de solda resultantes é ilustrado pela Figura 12.5.

Tabela 12.5: Resultados da série de testes 31-2 (MIG/MAG com ângulo de ataque de 75°)

Teste	Velocidade (mm/min)	Comprimento do cordão (mm)	Aceitabilidade do cordão
31-2-1	1000	280	0% (irregularidades)
31-2-2	1300	280	0% (irregularidades)
31-2-3	1600	280	0% (irregularidades)

Constantes: Gás de Proteção: Ar com 20% de CO₂ a uma vazão de 12 l/min; Diâmetro do arame: 0,9 mm; Distância bico de contato-peça: 10 mm; Tensão de soldagem: 19 V; Velocidade de alimentação: 5,8 m/min; Corrente de soldagem: 140 A.



Figura 12.5: Aspecto dos cordões obtidos com MIG/MAG na série de testes 31-2

Nota-se que com a imposição de um ângulo de ataque de forma a puxar o cordão, mantidos os demais parâmetros de soldagem constantes, exceto a velocidade, não proporcionou bons resultados, não alterando em praticamente nada o aspecto dos cordões obtidos em relação aos da série de testes anterior.

Como nova medida para tentar estabilizar o processo de soldagem, foi realizada a série de testes 31-3. A tocha de soldagem desta vez foi posicionada em um ângulo de ataque de 105°, ou seja, de forma a empurrar o cordão de solda. Vale lembrar que esta mesma medida foi adotada com sucesso quando da utilização dos processos Plasma e TIG. Os resultados e o aspecto dos cordões de solda obtidos são mostrados na Tabela 12.6 e na Figura 12.6, respectivamente.

Tabela 12.6: Resultados da série de testes 31-3 (MIG/MAG com ângulo de ataque de 105°)

Teste	Velocidade (mm/min)	Comprimento do cordão (mm)	Aceitabilidade do cordão
31-3-1	1000	270	10% (irregularidades)
31-3-2	700	260	0% (irregularidades)
31-3-3	1200	280	0% (irregularidades)
31-3-4	1500	280	30% (irregularidades)
31-3-5	1700	280	50% (irregularidades)
31-3-6	2000	280	50% (irregularidades)
31-3-7	2500	280	50% (irregularidades e falta de fusão)

Constantes: Gás de Proteção: Ar com 20% de CO₂ a uma vazão de 12 l/min; Diâmetro do arame: 0,9 mm; Distância bico de contato-peça: 10 mm; Tensão de soldagem: 19 V; Velocidade de alimentação: 5,8 m/min; Corrente de soldagem: 140 A.



Figura 12.6: Aspecto dos cordões obtidos com MIG/MAG (testes 31-2-5, 31-2-6 e 31-2-7)

Nota-se que houve apenas uma pequena melhora nos resultados obtidos, o que ocorreu em velocidades de soldagem mais elevadas. Apesar disso, as irregularidades continuaram presentes, embora terem ocorrido em menor frequência e amplitude se comparadas às ocorridas nas séries 31-1 e 31-2.

Como nova tentativa de alcançar melhores resultados, foi realizada a série de testes 31-4, na qual os parâmetros de tensão e velocidade de alimentação foram ajustados em 17 V e 3 mm/min, respectivamente, de forma a fornecer uma corrente de soldagem da ordem de 90 A. Para garantir a veracidade dos parâmetros utilizados, tanto a corrente, quanto a tensão de soldagem, foram monitoradas por um sistema de aquisição de dados. Com a aquisição dos dados verificou-se que os valores reais não fugiram muito dos valores ajustados na fonte de soldagem. A corrente eficaz foi de 82 A e a média 72 A, enquanto a tensão eficaz foi de 17,4 V e a média foi de 16,5 V.

Com a utilização de uma corrente de soldagem mais baixa, esperava-se conseguir eliminar as irregularidades ocorrentes nos cordões de solda quando a corrente foi ajustada em 140 A. Os resultados obtidos para série de testes 31-4 são mostrados na Tabela 12.7.

Tabela 12.7: Resultados da série de testes 31-4 (MIG/MAG com ângulo de ataque de 105°)

Teste	Velocidade (mm/min)	Comprimento do cordão (mm)	Aceitabilidade do cordão
31-4-1	700	280	95% (falta de fusão)
31-4-2	500	280	100%
31-4-3	900	280	90% (falta de fusão)
31-4-4	500	280	100%
31-4-5	600	280	100%
31-4-6	600	280	100%

Constantes: Gás de Proteção: Ar com 20% de CO₂ a uma vazão de 12 l/min; Diâmetro do arame: 0,9 mm; Distância bico de contato-peça: 10 mm; Tensão de soldagem: 17,4 V; Velocidade de alimentação: 3 m/min; Corrente de soldagem: 82 A.

A tentativa de soldar utilizando uma corrente de soldagem mais baixa funcionou. As irregularidades foram eliminadas, sendo possível obter cordões de solda com total conformidade a velocidades de soldagem de até 600 mm/min, como é ilustrado pela Figura 12.7. Vale ressaltar que o aspecto e a textura dos cordões de solda obtidos foram inferiores aos obtidos nos cordões produzidos pelo processo de soldagem a plasma.

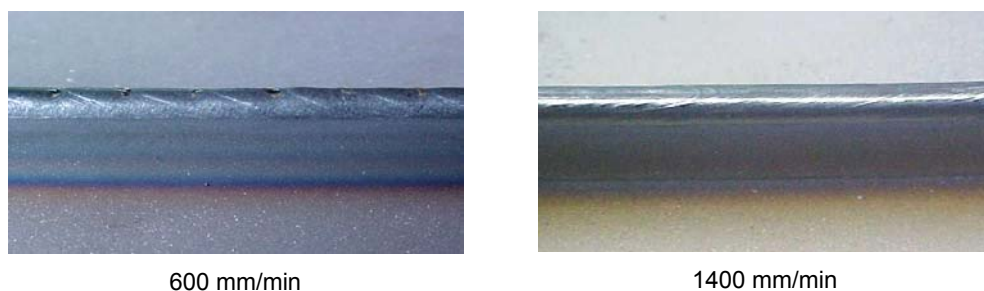


Figura 12.7: Aspecto dos cordões obtidos pelo processo MIG/MAG e pelo processo Plasma

Considerando o fato de que a corrente de soldagem utilizada foi bem mais baixa (82 A) em relação à corrente que tem sido utilizada nos testes com o processo a plasma (140 A), é razoável considerar como boa a produtividade da soldagem de aço ao carbono em juntas em aresta pelo processo MIG/MAG.

12.2.3 Variação da distância tocha-peça

A fim de verificar a influência da variação da distância tocha-peça na soldagem de aço ao carbono em juntas em aresta utilizando os processos Plasma e TIG, foram realizados alguns testes.

Na primeira série de testes (série 32-1), foi utilizado o processo Plasma com os parâmetros de soldagem que vem sendo utilizados com sucesso até então à exceção da distância tocha-peça, que foi variada na faixa de 2 a 5,5 mm (segundo a AWS (1991), o valor máximo utilizado para a distância tocha-peça é de cerca de 6 mm). A Tabela 12.8 mostra os resultados bem como os parâmetros de soldagem utilizados.

Tabela 12.8: Resultados da série de testes 32-1 (Plasma com a mistura A50 comercial)

Teste	Distância tocha-peça (mm)	Comprimento do cordão (mm)	Aceitabilidade do cordão de solda
32-1-1	2	280	100%
32-1-2	3,5	280	100%
32-1-3	4,5	280	100%
32-1-4	5,5	280	100%

Constantes: Gás de Proteção: mistura A50 comercial a uma vazão de 10,6 l/min; Gás de Plasma: mistura A50 comercial a uma vazão de 0,7 l/min; Diâmetro do eletrodo: 5 mm; Afastamento do eletrodo: 0,8 mm; Ângulo da ponta do eletrodo: $\approx 33^\circ$; Retardo: 2 s; Rampa de velocidade: 3 s; Ângulo de ataque: 105° ; Corrente de soldagem: 140 A; Velocidade de soldagem: 1200 mm/min.

Na segunda série de testes (série 32-2) foi utilizado o processo TIG. Os parâmetros de soldagem foram semelhantes aos usados para o processo Plasma e a distância tocha-peça (eletrodo-peça) também foi variada na faixa de 2 a 5,5 mm. A Tabela 12.9 mostra os resultados bem como os parâmetros de soldagem utilizados.

Tabela 12.9: Resultados da série de testes 32-2 (TIG com a mistura A50 comercial)

Teste	Distância tocha-peça (mm)	Comprimento do cordão (mm)	Aceitabilidade do cordão
32-2-1	2	280	100%
32-2-2	3,5	280	100%
32-2-3	4,5	280	100%
32-2-4	5,5	280	100%

Constantes: Gás de Proteção: mistura A50 comercial a uma vazão de 10 l/min; Diâmetro do eletrodo: 1,6 mm; Ângulo da ponta do eletrodo: $\approx 60^\circ$; Retardo: 2 s; Rampa de velocidade: 3 s; Ângulo de ataque: 105° ; Corrente de soldagem: 140 A; Velocidade de Soldagem: 1200 mm/min.

Apesar da variação imposta na distância tocha-peça, o aspecto dos cordões de solda não sofreu nenhuma modificação, tendo ocorrido total conformidade (100 % de aceitabilidade) em todos os testes, tanto no processo Plasma como no processo TIG. Isso, de certa forma, contraria o que é referenciado correntemente na literatura especializada (Richardson, 1991 e AWS, 1991), que diz que o processo de soldagem TIG tende a ser menos tolerante a variações na distância tocha-peça que o processo Plasma. Isso pode realmente ser verídico, mas esta tendência não ocorreu nas condições de soldagem aqui empregadas.

12.3 Conclusões

A partir das séries de testes realizadas, chegou-se às seguintes conclusões:

- Comparado ao Plasma, o processo de soldagem TIG mostrou-se também eficiente na soldagem de aço ao carbono em juntas em aresta, desde que seja utilizada a mistura A50 comercial como gás de proteção e imposto um ângulo de ataque de forma que a tocha empurre o cordão (105°);
- Apesar da velocidade limite na soldagem TIG ter sido a mesma que foi obtida para a soldagem a plasma, os cordões de solda obtidos apresentaram qualidade, no que diz respeito ao aspecto, inferior ao proporcionado pelo processo Plasma;
- A soldagem pelo processo MIG/MAG de aço ao carbono em juntas em aresta se mostrou bastante instável para correntes elevadas (140 A). No entanto, utilizando correntes mais baixas (82 A), a irregularidade foi eliminada, mas a produtividade é menor em relação à alcançada com o processo Plasma;
- A variação da distância tocha-peça, dentro dos limites testados, não alterou em nada a soldabilidade de aço ao carbono em juntas em aresta, tanto para o processo Plasma como para o processo TIG.

A Figura 12.8 ilustra de forma resumida os resultados apresentados neste capítulo em relação ao comparativo entre os processos de soldagem.

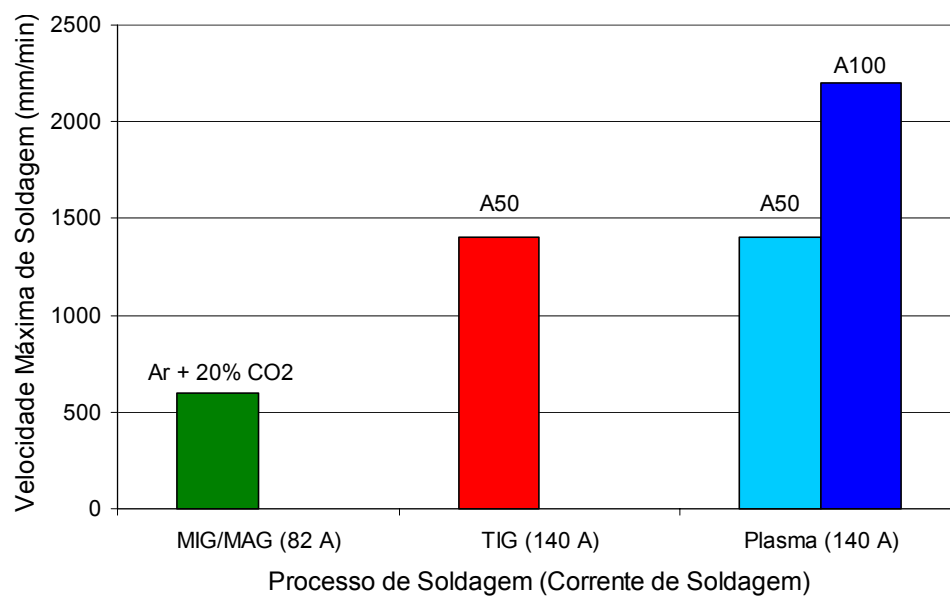


Figura 12.8: Velocidade máxima de soldagem para os processos testados (juntas em aresta)

Capítulo XIII

Avaliação Metalúrgica e Mecânica de Juntas Soldadas com Aditivo A

13.1. Objetivo

Este capítulo apresenta uma avaliação do comprometimento metalúrgico e mecânico de uma junta em aresta de aço carbono para estampagem, soldada pelo processo a plasma com adição do aditivo A na mistura gasosa utilizada.

Os resultados alcançados até o presente momento, no tocante à soldagem de aço carbono pelo processo a plasma, mostram melhorias na penetração e na fluidez da poça de fusão, o que possibilitou aumentar significativamente a velocidade de soldagem em relação ao procedimento convencional (que usa Argônio puro como gás de proteção e de plasma), elevando assim a produtividade. No entanto, devido à elevada solubilidade e difusão do aditivo A no metal fundido, problemas de fragilização e formação de trinca podem aparecer. A avaliação de um possível aumento da susceptibilidade desta junta à trinca foi feita através de análise microestrutural e de microdureza. Já a avaliação da fragilização foi feita através de ensaios de tração e por meio de um ensaio de estampabilidade.

13.2 Procedimento Experimental

13.2.1 Amostras para micrografia e microdureza

Foram avaliadas a microestrutura e a microdureza de juntas em aresta soldadas pelo processo a plasma utilizando a máxima velocidade de soldagem com as misturas A70 e A100. A Tabela 13.2 mostra os parâmetros de soldagem utilizados para cada amostra.

Tabela 13.1: Parâmetros utilizados para a soldagem das amostras

Amostra	Velocidade de soldagem (mm/min)	Comprimento do cordão (mm)	Mistura gasosa
1	1700	280	A70
2	2200	280	A100

Constantes: Diâmetro do eletrodo: 5 mm; Afastamento do eletrodo: 0,8 mm; Ângulo da ponta do eletrodo: $\approx 33^\circ$; Distância da tocha à peça: 3,5 mm; Retardo: 1,5 s; Rampa de velocidade: 2,5 s; Ângulo de ataque: 105° ; Corrente de soldagem: 140 A.

Após a realização das soldas, as juntas foram cortadas, embutidas e preparadas metalograficamente com ataque Nital 2% para análise microestrutural qualitativa e posterior verificação de microdureza. A Figura 13.1 ilustra a junta em aresta e a Figura 13.2 a amostra embutida e detalhe da região soldada.

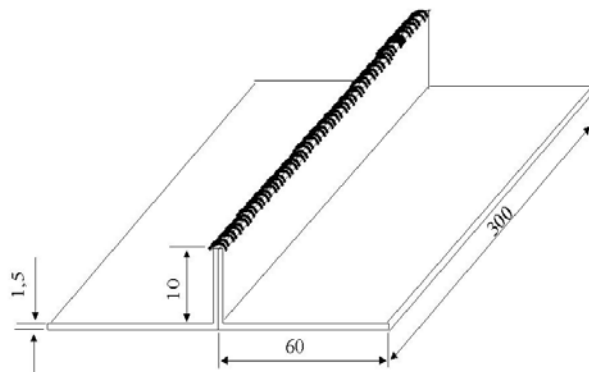
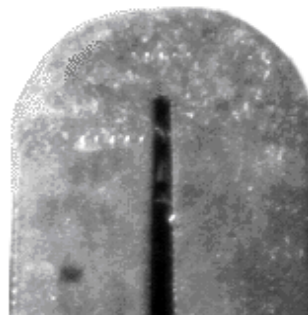


Figura 13.1: Junta em aresta (dimensões em mm)



Amostra embutida



Região soldada

Figura 13.2: Amostra de cordão embutida e detalhe da região soldada

Para a análise micrográfica, foi utilizado o aparelho Leitz - Metallovest. Os resultados da análise qualitativa das microestruturas resultantes, tanto para a mistura A70, quanto para a A100, foram os seguintes:

- Microestrutura na ZF: predominantemente Ferrita poligonal, com presença de Ferrita de segunda fase alinhada e Ferrita de segunda fase não alinhada;
- Microestrutura na ZAC: Ferrita poligonal com pequena presença de perlita nos contornos de grãos, com crescimento de grão no sentido do metal de base (ZAC grosseira), em relação a Ferrita poligonal do Metal Base.
- Microestrutura no MB: Ferrita poligonal com pequena presença de perlita nos contornos de grãos, típica de aço normalizado com teor de carbono baixo.

As Figuras 13.3, 13.4 e 13.5 mostram as micrografias das 3 regiões analisadas.

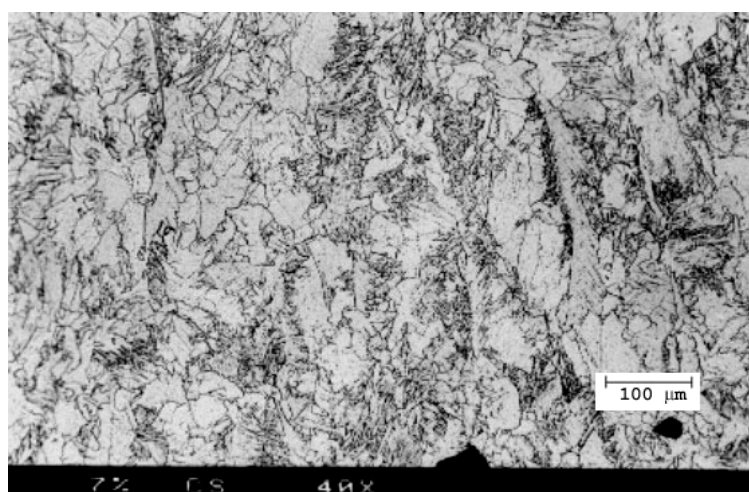


Figura 13.3: Micrografia da ZF (mistura A70)

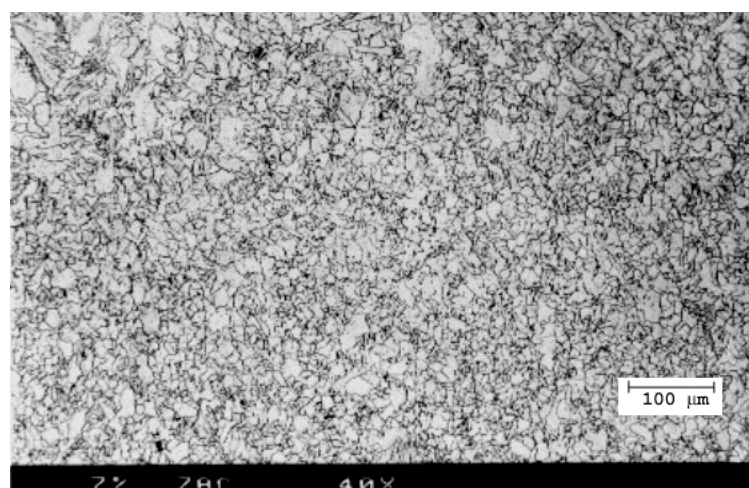


Figura 13.4: Micrografia da ZAC (mistura A70)

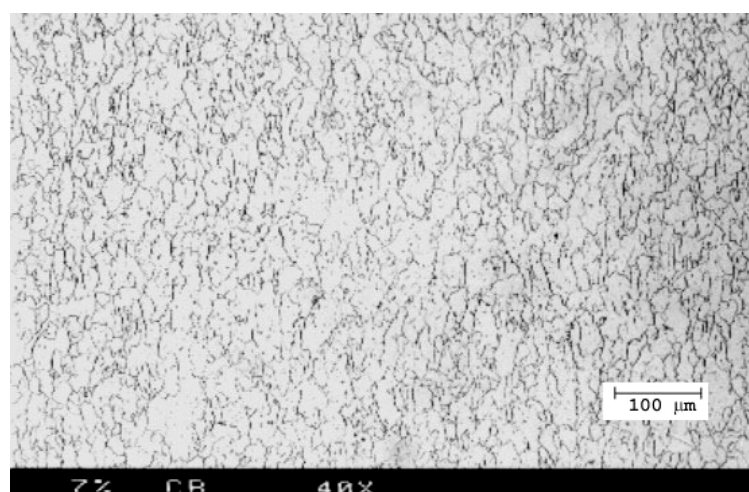


Figura 13.5: Micrografia do Metal de Base

Para os testes de microdureza, utilizou-se o aparelho Leica VMHT Mot e uma carga de 100 g durante 15 s em cada endentação. A carga de 100 g foi utilizada para possibilitar uma melhor visualização do perfil de impressão.

Na amostra retirada do corpo de prova feito com a mistura A100 e velocidade de soldagem de 2200 mm/min, foram feitas 15 indentações, 5 na ZF, 5 na ZAC e 5 no MB. Já na amostra retirada do corpo de prova soldado com a mistura A70 e velocidade de soldagem de 1700 mm/min, foram feitas 10 indentações, 5 na ZF e 5 na ZAC. A Tabela 13.2 mostra os resultados dos testes de microdureza para a amostra soldada com a mistura A100 e a Tabela 13.3 para a amostra soldada com a mistura A70. As indentações podem ser vistas nas Figuras 13.6 e 13.7.

Tabela 13.2: HV₁₀₀ para a amostra soldada com a mistura A100 a 2200mm/min

Endentação	ZF	ZAC	MB
1	HV 179	HV 138	HV 128
2	HV 176	HV 133	HV 120
3	HV 188	HV 133	HV 121
4	HV 171	HV 136	HV 129
5	HV 176	HV 140	HV 132
Média	HV 178	HV 136	HV 126
Desvio padrão	6,28	3,08	5,24

Tabela 13.3: HV₁₀₀ para a amostra soldada com a mistura A70 a 1700 mm/min

Endentação	ZF	ZAC
1	HV 178	HV 130
2	HV 176	HV 146
3	HV 174	HV 147
4	HV 176	HV 137
5	HV 180	HV 142
Média	HV 177	HV 140
Desvio padrão	2,28	7,02

Os resultados mostram que a ZF, independente do teor de aditivo A usado nos gases de plasma e proteção ou da velocidade de soldagem, 2200 mm/min e 1700 mm/min, mantém a mesma dureza, em torno de HV 180. Esta igualdade de dureza é compatível com as microestruturas resultantes, constituídas de Ferrita Poligonal, de segunda fase alinhada e não alinhada, e bem abaixo dos valores considerados críticos para formação de trinca provocada pelo aditivo A. A ZAC também mostrou resultados semelhantes para ambas as condições de soldagem, em torno de HV 140, valor ainda menor do que para a ZF, indicando não haver susceptibilidade à trinca, além de mostrar que mesmo o aumento da velocidade de soldagem (de 1700 para 2200 mm/min) não foi suficiente para produzir microestruturas frágeis neste tipo de aço e com essa espessura.

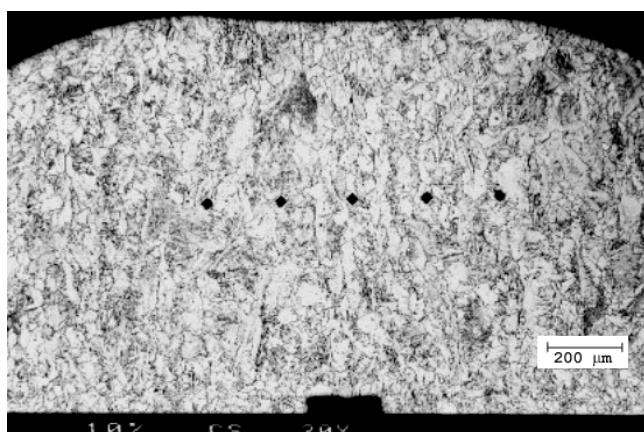


Figura 13.6: Micrografia da ZF mostrando as indentações (mistura A100)

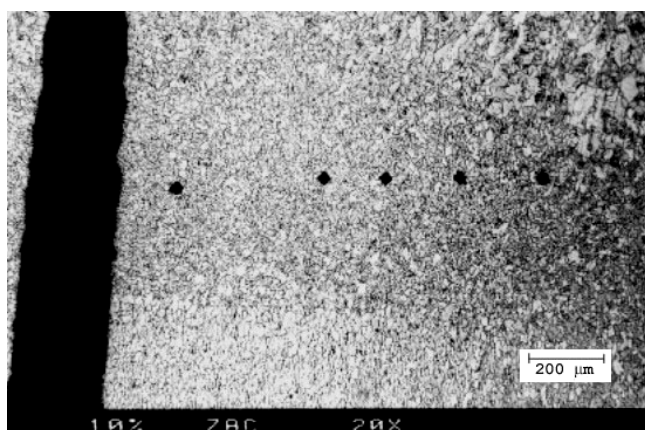


Figura 13.7: Micrografia da ZAC e detalhe das indentações (mistura A100)

13.2.2 Ensaio de tração

Primeiramente foram soldadas duas chapas com junta de topo pelo processo a plasma com a máxima velocidade de soldagem para duas composições gasosas diferentes quanto ao teor de aditivo A (mistura A50 e mistura A100). Além da junta de topo proporcionar menor perda de calor (menor velocidade de resfriamento) em relação à junta de aresta, a velocidade de soldagem para as juntas de topo é menor (menor velocidade de resfriamento) comparativamente às velocidades máximas conseguidas em juntas em aresta. Ambos os fatos resultam em uma condição menos propensa à formação de microconstituintes mais resistentes (menor velocidade de resfriamento implica em microconstituintes mais macios, de menor resistência). A Tabela 13.4 mostra os parâmetros de soldagem e as misturas gasosas utilizadas para a confecção dos corpos de prova para o ensaio de tração.

Tabela 13.4: Parâmetros utilizados para a soldagem das chapas para ensaio de tração

Chapa	Velocidade de soldagem (mm/min)	Comprimento do cordão (mm)	Mistura gasosa
1	600	280	A50
2	800	280	A100

Constantes: Gás de Proteção: mistura A50 comercial a uma vazão de 10,6 l/min; Gás de Plasma: mistura A50 comercial a uma vazão de 0,7 l/min; Diâmetro do eletrodo: 5 mm; Afastamento do eletrodo: 1,5 mm; Ângulo da ponta do eletrodo: $\approx 33^\circ$; Distância da tocha à peça: 1,5 mm; Retardo: 3 s; Rampa de velocidade: 1 s; gás de purga: Ar a 2 l/min.

Após a soldagem, a partir de cada uma das chapas foram confeccionados três corpos de prova para ensaios de tração de acordo com a norma ASME QW-462. A Figura 13.8 mostra as dimensões do corpo de prova segundo a norma utilizada. Já a Figura 13.9 mostra o tipo de junta utilizada para a confecção das chapas soldadas e um corpo de prova pronto para o teste de tração.

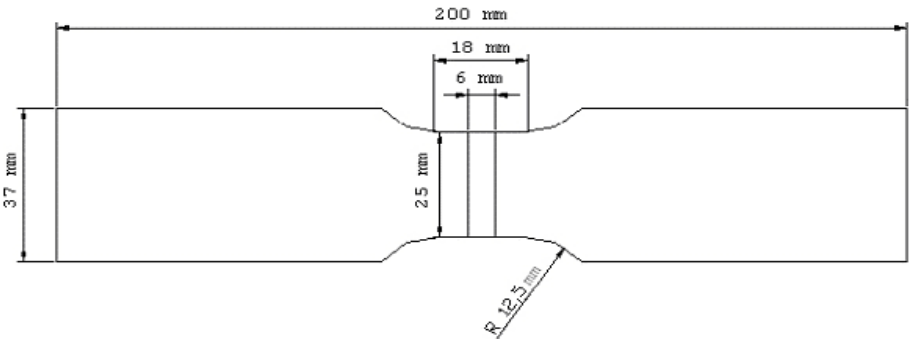


Figura 13.8: Dimensões do corpo de prova para tração

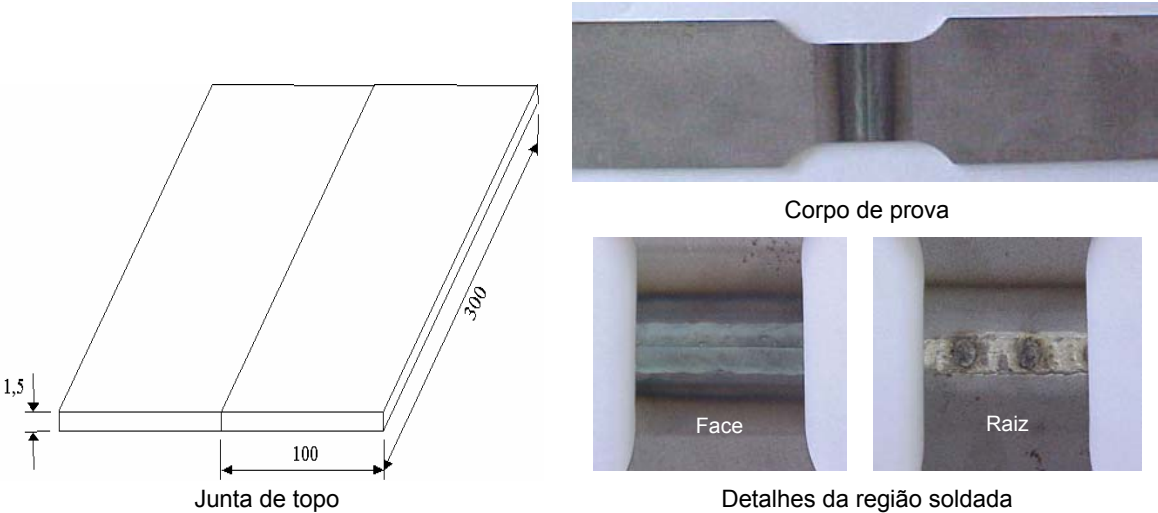


Figura 13.9: Junta de topo (dimensões em mm) e corpo de prova para tração

As Tabelas 13.5 e 13.6 mostram os resultados obtidos a partir dos ensaios de tração para os corpos de prova soldados com as misturas A50 e A100, respectivamente, onde os corpos

de prova 1-1,1-2 e 1-3 foram retirados da chapa 1 e os corpos e prova 2-1,2-2 e 2-3 da chapa 2. Todas as fraturas ocorreram fora da região soldada e apresentaram aparência dúctil, caracterizada pela estricção e ângulo de fratura. A Figura 13.10 mostra um corpo de prova fraturado e o local da fratura (fora da região soldada). Pode-se verificar que a maior velocidade de soldagem e o maior teor de aditivo A (corpo de prova soldado com a mistura A100) aumentou ligeiramente o limite de resistência do material, sem, no entanto fragilizar a região soldada (a fratura ainda se deu no metal de base). Os gráficos de força versus deformação, bem como maiores detalhes dos resultados do ensaio de tração seguem no Anexo I.

Tabela 13.5: Corpo de prova soldado com a mistura A50 a 600mm/min

Corpo de prova	Força Máxima (Kgf)	Força de escoamento (Kgf)	Tensão de ruptura (MPa)	Tensão de escoamento (MPa)
1-1	1444	246,4	380,7	64,97
1-2	1460	254,3	385,2	67,09
1-3	1450	270,2	382,9	71,37
Média	1451	256,9	382,9	67,81
Desvio Padrão	8,207	12,14	2,217	3,261
Mínimo	1444	246,4	380,7	64,97
Máximo	1460	270,2	385,2	71,37

Tabela 13.6: Corpo de prova soldado com a mistura A100 a 800mm/min

Corpo de prova	Força Máxima (Kgf)	Força de escoamento (Kgf)	Tensão de Ruptura (MPa)	Tensão de escoamento (MPa)
2-1	1548	305,0	407,5	80,26
2-2	1530	277,8	403,3	73,24
2-3	1544	279,1	406,3	73,47
Média	1541	287,3	405,7	75,66
Desvio Padrão	9,650	15,31	2,178	3,993
Mínimo	1530	277,8	403,3	73,24
Máximo	1548	305,0	407,5	80,26

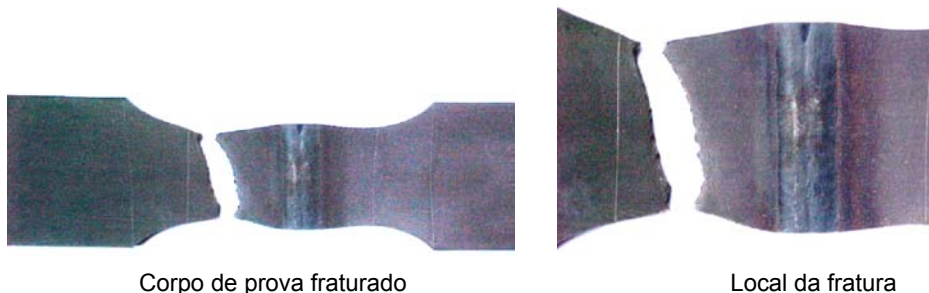


Figura 13.10: Corpo de prova fraturado e detalhe do local da fratura

13.2.3 Ensaio de estampabilidade (improvisado)

De forma a complementar a verificação de uma possível fragilização na região soldada, foi improvisado um teste de estampabilidade (a infra-estrutura disponível para realização de ensaios não permitiu a realização de testes padronizados). Os corpos de prova foram retirados de chapas soldadas em junta de topo, à máxima velocidade de soldagem e utilizando as misturas A50 e A100 (mesmas chapas utilizadas para os testes de tração). A Figura 13.11 mostra as dimensões do corpo de prova utilizado.

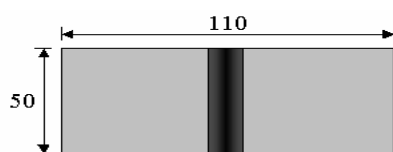


Figura 13.11: Dimensões em milímetros do corpo de prova para teste de estampabilidade

O teste utilizado foi concebido de forma a submeter os corpos de prova a uma deformação por meio de uma esfera (punção) e de um anel (matriz). A deformação foi aplicada na chapa soldada através da esfera por meio de uma prensa hidráulica manual. A Figura 13.12 mostra o anel e a esfera utilizados no teste, enquanto a Figura 13.13 mostra a sequência de execução do teste.



Figura 13.12: Anel e esfera utilizados no teste de estampabilidade improvisado



Corpo de prova sem deformação

Início da deformação

Posição de maior deformação

Figura 13.13: Sequência de execução do teste de estampabilidade

Primeiramente foi feito um teste em uma chapa sem solda com as mesmas dimensões das chapas soldadas. Este teste foi feito para se ter um padrão de deformação do material na condição mais favorável, ou seja, sem cordão de solda. Após o teste, verificou-se que a chapa resistiu plenamente à deformação. A Figura 13.14 mostra o corpo de prova sem solda após a deformação resultante.

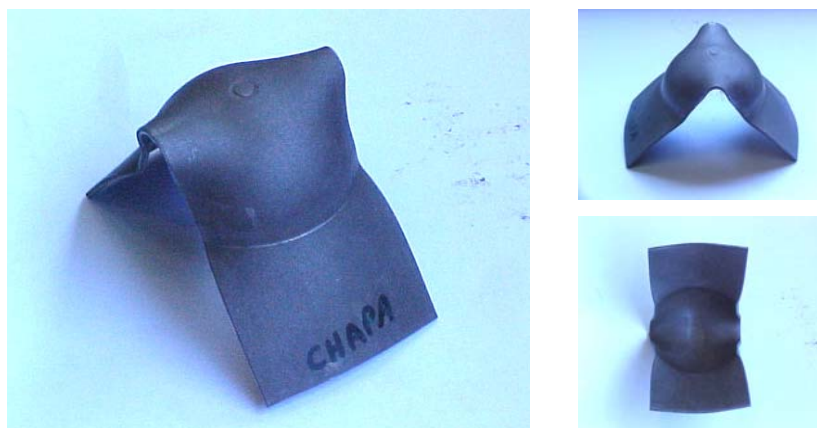


Figura 13.14: Corpo de prova sem cordão de solda deformado

A seguir passou-se aos testes com as chapas soldadas. Para cada mistura foram feitos dois testes, um com a aplicação da carga na face e outro na raiz da solda. Todos os corpos de prova resistiram à deformação, sendo que nenhum deles mostrou estiramento até ruptura, o que permite afirmar, com um pouco mais de certeza, que não houve fragilização da junta. A Figura 13.15 mostra os corpos de prova soldados com as misturas A50 e A100, todos já deformados.



Face e raiz da solda com a mistura A50



Face e raiz da solda com a mistura A100

Figura 13.15: Corpos de prova soldados e já submetidos ao teste de estampabilidade

13.3 Conclusões

Considerando as baixas durezas, a ausência de microconstituintes frágeis, o fato da ruptura por tração ter ocorrido fora da junta soldada e a junta ter suportado a deformação aplicada pelo teste de estampabilidade, conclui-se que o uso do aditivo A nos gases de proteção e de plasma na soldagem de aços comum ao carbono não aumenta a susceptibilidade de formação de trincas e nem fragiliza a solda.

Capítulo XIV

Soldagem de Juntas em Aresta com Chapas de 1 e 2 mm

14.1 Objetivos

Este capítulo tem por objetivo avaliar o processo de soldagem a plasma de aço ao carbono em juntas em aresta com chapas de 2 e 1 mm de espessura e comparar os resultados com os obtidos em juntas de chapas de 1,5 mm. Além disso, a soldabilidade de juntas de topo e sobrepostas, utilizando chapas de 1,5 mm de espessura, foi reavaliada.

14.2 Soldagem dos corpos de prova e avaliação dos resultados

14.2.1 Soldagem de juntas em aresta com chapas de 2 mm

Para a soldagem de juntas em aresta compostas por chapas de 2 mm de espessura utilizou-se, nos testes iniciais, a mistura A50 comercial e uma corrente de soldagem de 170 A, visto que para chapas mais finas (1,5 mm) a corrente de soldagem que vem sendo usada com sucesso é de 140 A. Fixada a corrente, realizou-se a série de testes 33-1, na qual variou-se a velocidade de soldagem em busca do seu limite máximo. Os resultados para esta série de testes, bem como os parâmetros utilizados são mostrados na Tabela 14.1.

Tabela 14.1: Resultados da série de testes 33-1 (chapa de 2 mm e corrente de 170 A)

Teste	Velocidade (mm/min)	Comprimento do cordão (mm)	Aceitabilidade do cordão
33-1-1	800	140	90% (excesso de fusão)
33-1-2	1200	140	100%
33-1-3	1400	140	100%
33-1-4	1800	140	100%
33-1-5	1800	280	30% (irregularidade e falta de fusão)
33-1-6	1600	280	30% (irregularidade e falta de fusão)
33-1-7	1400	280	95% (irregularidade)
33-1-8	1300	280	100%
33-1-9	1300	280	100%
33-1-10	1300	280	100%

Constantes: Gás de Proteção: mistura A50 comercial a uma vazão de 10,6 l/min; Gás de Plasma: mistura A50 comercial a uma vazão de 0,7 l/min; Diâmetro do eletrodo: 5 mm; Afastamento do eletrodo: 0,8 mm; Ângulo da ponta do eletrodo: $\approx 33^\circ$; Distância da tocha à peça: 3,5 mm; Retardo: 1,5 s; Rampa de velocidade: 3,5 s; Ângulo de ataque: 105° (empurrando); Corrente de soldagem: 170 A.

O limite superior da velocidade de soldagem foi de 1300 mm/min, como mostraram os testes 33-1-8 a 33-1-10. A aparência do cordão de solda obtido com esta velocidade foi de ótimo aspecto, como mostra a Figura 14.1.

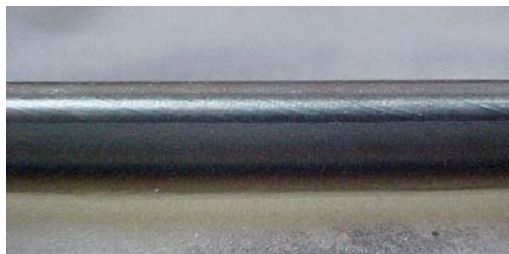


Figura 14.1: Cordão obtido na velocidade de soldagem limite da série 33-1

A próxima série de testes (série 33-2) foi realizada ainda com a utilização da mistura A50 comercial, porém com uma corrente de soldagem de 200 A como forma de tentar aumentar o limite da velocidade de soldagem. A Tabela 14.2 mostra os resultados para esta série de testes, bem como os parâmetros de soldagem utilizados.

Tabela 14.2: Resultados da série de testes 33-2 (chapa de 2 mm e corrente de 200 A)

Teste	Velocidade (mm/min)	Comprimento do cordão (mm)	Aceitabilidade do cordão
33-2-1	1200	140	95% (excesso de fusão)
33-2-2	1400	140	100%
33-2-3	1600	140	100%
33-2-4	1800	140	90% (irregularidades)
33-2-5	1700	140	100%
33-2-6	1700	270	100%
33-2-7	1700	280	70% (irregularidades)
33-2-8	1600	280	90% (irregularidades)
33-2-9	1500	280	100%
33-2-10	1500	280	100%

Constantes: Gás de Proteção: mistura A50 comercial a uma vazão de 10,6 l/min; Gás de Plasma: mistura A50 comercial uma vazão de 0,7 l/min; Diâmetro do eletrodo: 5 mm; Afastamento do eletrodo: 0,8 mm; Ângulo da ponta do eletrodo: $\approx 33^\circ$; Distância da tocha à peça: 3,5 mm; Retardo: 1,5 s; Rampa de velocidade: 4 s; Ângulo de ataque: 105° (empurrando); Corrente de soldagem: 200 A.

A imposição de uma corrente de soldagem mais elevada possibilitou um aumento razoável no limite da velocidade de soldagem, que de 1300 passou para 1500 mm/min. Quanto à aparência, os cordões continuaram com ótimo aspecto, semelhantes aos obtidos na série de testes anterior, na qual foi utilizada uma corrente de soldagem de 170 A. O aspecto dos cordões obtidos no limite da velocidade na série de testes 33-2 é ilustrado na Figura 14.2.



Figura 14.2: Cordão obtido no limite da velocidade de soldagem da série 33-2

14.2.2 Soldagem de juntas em aresta com chapas de 1 mm

Para a soldagem de juntas em aresta compostas por chapas de 1 mm de espessura utilizou-se, nos testes iniciais, a mistura A50 comercial e uma corrente de soldagem de 100 A, visto que a corrente de soldagem utilizada para chapas de maior espessura (1,5 mm) foi de 140 A. Fixada a corrente, realizou-se a série de testes 34-1, na qual variou-se a velocidade de soldagem em busca do seu limite máximo. Os resultados para esta série de testes, bem como os parâmetros utilizados são mostrados na Tabela 14.3.

Tabela 14.3: Resultados da série de testes 34-1 (chapa de 1 mm e corrente de 100 A)

Teste	Velocidade (mm/min)	Comprimento do cordão (mm)	Aceitabilidade do cordão
34-1-1	900	280	0% (irregularidades)
34-1-2	800	140	0% (irregularidades)
34-1-3	1000	140	0% (irregularidades)
34-1-4	500	140	0% (irregularidades)
34-1-5	1500	140	0% (irregularidades e excesso de fusão)

Constantes: Gás de Proteção: mistura A50 comercial a uma vazão de 10,6 l/min; Gás de Plasma: mistura A50 comercial a uma vazão de 0,7 l/min; Diâmetro do eletrodo: 5 mm; Afastamento do eletrodo: 0,8 mm; Ângulo da ponta do eletrodo: $\approx 33^\circ$; Distância da tocha à peça: 3,5 mm; Retardo: 2 s; Rampa de velocidade: 2 s; Ângulo de ataque: 105° (empurrando); Corrente de soldagem: 100 A.

Ocorreram irregularidades nos cordões em toda a faixa de velocidade de soldagem testada. Isso leva a crer que a corrente utilizada pode estar acima do máximo permitido pela junta formada com chapas de 1 mm, para estes parâmetros de soldagem. Vale lembrar que para juntas em aresta formadas por chapas de 1,5 mm, a corrente máxima, acima da qual ocorreram irregularidades em todas as velocidades testadas, ficou entre 160 e 180 A. A Figura 14.3 mostra o aspecto resultante dos cordões para um corrente de soldagem de 100 A aplicada às chapas de 1 mm.



Figura 14.3: Aspecto geral dos cordões de solda resultantes da série 34-1

Como forma de tentar eliminar a ocorrência de irregularidades, para a próxima série de testes (série 34-2), a corrente de soldagem foi reduzida para 80 A. A Tabela 14.4 mostra os resultados para esta série de testes.

Tabela 14.4: Resultados da série de testes 34-2 (chapa de 1 mm e corrente de 80 A)

Teste	Velocidade (mm/min)	Comprimento do cordão (mm)	Aceitabilidade do cordão
34-2-1	800	140	60% (irregularidades e excesso de fusão)
34-2-2	600	140	60% (irregularidades e excesso de fusão)
34-2-3	1000	280	40% (irregularidades)

Constantes: Gás de Proteção: mistura A50 comercial a uma vazão de 10,6 l/min; Gás de Plasma: mistura A50 comercial a uma vazão de 0,7 l/min; Diâmetro do eletrodo: 5 mm; Afastamento do eletrodo: 0,8 mm; Ângulo da ponta do eletrodo: $\approx 33^\circ$; Distância da tocha à peça: 3,5 mm; Retardo: 2 s; Rampa de velocidade: 2 s; Ângulo de ataque: 105° (empurrando); Corrente de soldagem: 80 A.

Houve uma pequena melhora nos resultados, mas ocorreram irregularidades em alguns trechos dos cordões de solda.

Na próxima série de testes (série 34-3), a corrente de soldagem foi reduzida para 60 A como maneira de diminuir ainda mais a ocorrência de irregularidades. A Tabela 14.5 mostra os resultados para esta série de testes.

Tabela 14.5: Resultados da série de testes 34-3 (chapa de 1 mm e corrente de 60 A)

Teste	Velocidade (mm/min)	Comprimento do cordão (mm)	Aceitabilidade do cordão
34-3-1	800	280	40% (irregularidades)
34-3-2	500	140	90% (irregularidades)
34-3-3	500	140	0% (irregularidades)
34-3-4	300	140	40% (irregularidades e excesso de fusão)

Constantes: Gás de Proteção: mistura A50 comercial a uma vazão de 10,6 l/min; Gás de Plasma: mistura A50 comercial a uma vazão de 0,7 l/min; Diâmetro do eletrodo: 5 mm; Afastamento do eletrodo: 0,8 mm; Ângulo da ponta do eletrodo: $\approx 33^\circ$; Distância da tocha à peça: 3,5 mm; Retardo: 2 s; Rampa de velocidade: 2 s; Ângulo de ataque: 105° (empurrando); Corrente de soldagem: 60 A.

A diminuição da corrente de soldagem para 60 A não foi suficiente para eliminar as irregularidades, não ocorrendo grandes melhoras na aceitabilidade dos cordões. Verificou-se que ocorreu pequena abertura da junta durante a soldagem, talvez pelo fato da baixa rigidez

proporcionada pela pequena espessura das chapas, que é de apenas 1 mm. Dessa forma, para a realização da próxima série de testes (série 34-4), além de diminuir a corrente de soldagem para 40 A, deu-se atenção especial à maneira de fixar as chapas no suporte. Ainda como forma de garantir a não abertura da junta durante a soldagem, as chapas foram previamente pré-deformadas (dobradas) como ilustra a Figura 14.4. A Tabela 14.6 mostra os resultados para esta nova série de testes.



Figura 14.4: Forma da junta em aresta depois de feita uma pequena pré-deformação

Tabela 14.6: Resultados da série de testes 34-4 (chapa de 1 mm e corrente de 40 A)

Teste	Velocidade (mm/min)	Comprimento do cordão (mm)	Aceitabilidade do cordão
34-4-1	500	280	70% (abertura da junta no final)
34-4-2	500	280	95% (abertura da junta no final)
34-4-3	700	280	30% (abertura da junta)
34-4-4	600	280	60% (abertura da junta no início e no final)
34-4-5	400	280	100%
34-4-6	300	280	90% (excesso de fusão)
34-4-7	400	280	100%

Constantes: Gás de Proteção: mistura A50 comercial a uma vazão de 10,6 l/min; Gás de Plasma: mistura A50 comercial a uma vazão de 0,7 l/min; Diâmetro do eletrodo: 5 mm; Afastamento do eletrodo: 0,8 mm; Ângulo da ponta do eletrodo: $\approx 33^\circ$; Distância da tocha à peça: 3,5 mm; Retardo: 2 s; Rampa de velocidade: 2 s; Ângulo de ataque: 105° (empurrando); Corrente de soldagem: 40 A.

As medidas adotadas possibilitaram soldar com conformidade e repetibilidade a velocidades de soldagem de até 400 mm/min. A Figura 14.5 mostra o aspecto dos cordões de solda obtidos com esta velocidade de soldagem.



Figura 14.5: Aspecto do cordão obtido na velocidade de soldagem limite da série 34-4

Uma vez que foi possível soldar chapas em conformidade com uma corrente de 40 A, mas desde que utilizando o artifício da pré-deformação nas abas da chapas, para se verificar a possibilidade de soldar esse tipo de junta com conformidade também para correntes de soldagens mais elevadas, fez-se uma nova série de testes (série 34-5) utilizando uma corrente de soldagem de 80 A. A Tabela 14.7 mostra o resultados para esta série de testes.

Tabela 14.7: Resultados da série de testes 34-5 (chapa de 1 mm e corrente de 80 A)

Teste	Velocidade (mm/min)	Comprimento do cordão (mm)	Aceitabilidade do cordão
34-5-1	1000	270	100%
34-5-2	900	270	95% (excesso de fusão)
34-5-3	800	270	95% (excesso de fusão)
34-5-4	700	270	60% (excesso de fusão)
34-5-5	1200	270	100%
34-5-6	1500	270	100%
34-5-7	1700	270	100%
34-5-8	2000	270	95% (falta de fusão)
34-5-9	1800	270	100%
34-5-10	1800	270	100%
34-5-11	1800	270	100%

Constantes: Gás de Proteção: mistura A50 comercial a uma vazão de 10,6 l/min; Gás de Plasma: mistura A50 comercial a uma vazão de 0,7 l/min; Diâmetro do eletrodo: 5 mm; Afastamento do eletrodo: 0,8 mm; Ângulo da ponta do eletrodo: $\approx 33^\circ$; Distância da tocha à peça: 3,5 mm; Retardo: 1 s; Rampa de velocidade: 2 s; Ângulo de ataque: 105° (empurrando); Corrente de soldagem: 80 A.

Os resultados foram bastante satisfatórios. Com a utilização do recurso da pré-deformação, foi possível obter, mesmo a 80 A, cordões de solda em total conformidade a velocidades de até 1800 mm/min. Isso mostra que o uso do processo de soldagem a plasma em chapas finas de aço ao carbono é possível, desde que sejam cumpridos alguns requisitos. Além da limpeza das chapas e da imposição de um ângulo de ataque à tocha de soldagem, é necessário fazer uma pré-deformação nas juntas constituídas de chapas mais finas em virtude da baixa rigidez inerentes a pequenas espessuras. A Figura 14.6 mostra o aspecto dos cordões de solda obtidos no limite da velocidade de soldagem (1800 mm/min) da série de testes 34.5.

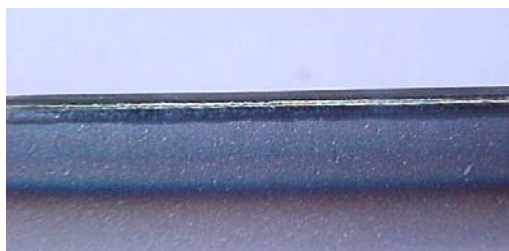


Figura 14.6: Aspecto do cordão obtido no limite da velocidade de soldagem da série 34-5

14.2.3 Reavaliação da soldabilidade de juntas de topo e sobreposta

Como forma de consolidar os resultados obtidos nos capítulos V e VI, foram realizados novos testes em juntas de topo e sobrepostas em chapas de aço carbono com 1,5 mm de espessura utilizando as misturas gasosas A50 e A100. Primeiramente foram realizados testes em juntas de topo (Tabela 14.8) e sobrepostas (Tabela 14.9) com a mistura A50.

Tabela 14.8: Resultados da série de testes 35-1 (junta de topo com a mistura A50)

Teste	Velocidade (mm/min)	Comprimento do cordão (mm)	Aceitabilidade do cordão
35-1-1	500	280	70% (excesso de fusão)
35-1-2	700	280	100%
35-1-3	700	280	90% (irregularidade)
35-1-4	650	280	95% (falta de fusão na raiz)
35-1-5	650	280	95% (irregularidade)
35-1-6	650	280	95% (falta de fusão na raiz)
35-1-7	600	280	100%
35-1-8	600	280	100%
35-1-9	600	280	100%

Constantes: Gás de Proteção: mistura gasosa A50 a uma vazão de 10,6 l/min; Gás de Plasma: mistura gasosa A50 a uma vazão de 0,7 l/min; Diâmetro do eletrodo: 5 mm; Afastamento do eletrodo: 1,5 mm; Ângulo da ponta do eletrodo: $\approx 33^\circ$; Distância da tocha à peça: 1,5 mm; Retardo: 3 s; Rampa de velocidade: 1 s; Ângulo de ataque: 105° (empurrando); Cobre junta: cobre; Gás de Purga: Ar a 2 l/min; Corrente de soldagem: 140 A.

Tabela 14.9: Resultados da série de testes 35-2 (junta sobreposta com a mistura A50)

Teste	Velocidade (mm/min)	Comprimento do cordão (mm)	Aceitabilidade do cordão
35-2-1	500	280	100%
35-2-2	700	280	20% (irregularidade e falta de fusão)
35-2-3	600	280	80% (irregularidades)
35-2-4	500	280	90% (irregularidades)
35-2-5	400	280	100%
35-2-6	400	280	100%
35-2-7	400	280	100%

Constantes: Gás de Proteção: mistura gasosa A50 a uma vazão de 10,6 l/min; Gás de Plasma: mistura gasosa A50 a uma vazão de 0,7 l/min; Diâmetro do eletrodo: 5 mm; Afastamento do eletrodo: 1,5 mm; Ângulo da ponta do eletrodo: $\approx 33^\circ$; Distância da tocha à peça: 1,5 mm; Retardo: 3 s; Rampa de velocidade: 2 s; Ângulo de ataque: 105° (empurrando); Cobre junta: cobre; Gás de Purga: Ar a 2 l/min; Corrente de soldagem: 140 A.

Os limites de velocidade de soldagem obtidos, tanto para junta de topo como para sobreposta, mostram repetibilidade em relação aos testes anteriormente realizados durante o presente trabalho (capítulos V e VI) sob condições e parâmetros de soldagem bem similares. A Figura 14.7 mostra o aspecto dos cordões de solda obtidos com a mistura A50 à máxima velocidade de soldagem para juntas de topo e sobreposta.



Junta de topo



Junta sobreposta

Figura 14.7: Aspecto dos cordões utilizando a mistura A50 para junta de topo e sobreposta

Em seguida foram realizados testes em juntas de topo e sobrepostas utilizando a mistura gasosa A100. As Tabelas 14.10 e 14.11 mostram os resultados para juntas de topo e sobreposta, respectivamente.

Tabela 14.10: Resultados da série de testes 35-3 (junta de topo com a mistura A100)

Teste	Velocidade (mm/min)	Comprimento do cordão (mm)	Aceitabilidade do cordão
35-3-1	1200	140	80% (falta de fusão na raiz)
35-3-2	1000	140	80% (falta de fusão na raiz)
35-3-4	700	140	95% (excesso de fusão)
35-3-5	800	280	100%
35-3-6	900	280	95% (falta de fusão na raiz)
35-3-7	800	280	100%
35-3-8	800	280	100%

Constantes: Gás de Proteção: mistura gasosa A100 a uma vazão de 10,6 l/min; Gás de Plasma: mistura gasosa A100 a uma vazão de 0,7 l/min; Diâmetro do eletrodo: 5 mm; Afastamento do eletrodo: 1,5 mm; Ângulo da ponta do eletrodo: $\approx 33^\circ$; Distância da tocha à peça: 1,5 mm; Retardo: 3 s; Rampa de velocidade: 1 s; Ângulo de ataque: 105° (empurrando); Cobre junta: cobre; Gás de Purga: Ar a 2 l/min; Corrente de soldagem: 140 A.

Tabela 14.11: Resultados da série de testes 35-4 (junta sobreposta com a mistura A100)

Teste	Velocidade (mm/min)	Comprimento do cordão (mm)	Aceitabilidade do cordão
35-4-1	1000	280	100%
35-4-2	1300	280	60%
35-4-3	1200	280	90% (porosidades)
35-4-4	1100	280	90% (porosidades)
35-4-5	1000	280	90% (porosidades)
35-4-6	800	280	95% (porosidades)
35-4-7	800	280	95% (porosidades)
35-4-8	800	140	95% (porosidades)
35-4-9	600	140	100%
35-4-10	600	280	100%
35-4-11	600	280	100%

Constantes: Gás de Proteção: mistura gasosa A100 a uma vazão de 10,6 l/min; Gás de Plasma: mistura gasosa A100 a uma vazão de 0,7 l/min; Diâmetro do eletrodo: 5 mm; Afastamento do eletrodo: 1,5 mm; Ângulo da ponta do eletrodo: $\approx 33^\circ$; Distância da tocha à peça: 1,5 mm; Retardo: 3 s; Rampa de velocidade: 2 s; Ângulo de ataque: 105° (empurrando); Cobre junta: cobre; Gás de Purga: Ar a 2 l/min; Corrente de soldagem: 140 A.

Durante a soldagem das juntas sobrepostas utilizando a mistura A100 (série 35-4) ocorreram porosidades de pequeno diâmetro distribuídas por toda extensão do cordão. Tais porosidades foram facilmente eliminadas diminuindo-se a velocidade de soldagem. Provavelmente a porosidade está relacionada ao tipo de junta que é utilizada, pois durante a soldagem em juntas em aresta nenhum problema relacionado à porosidade foi observado. A Figura 14.8 mostra um cordão de solda com presença de porosidades e a Figura 14.9 o aspecto característico dos cordões de solda obtidos com a mistura A100 no limite da velocidade de soldagem, para juntas de topo e sobreposta.



Figura 14.8: Junta sobreposta com poros (mistura A100 e elevada velocidade de soldagem)



Junta de topo



Junta sobreposta

Figura 14.9: Aspecto dos cordões obtidos com a mistura A100 no limite de velocidade

14.3 Conclusões

O processo a plasma se mostrou bastante viável para a soldagem de juntas em aresta, tanto com chapas de 1 mm, quanto com chapas de 2 mm de espessura, tendo em vista a possibilidade de soldar com ótima produtividade. Também no caso das juntas em aresta constituídas de chapas de 1 ou 2 mm de espessura, para garantir uma boa soldabilidade é necessário tomar as medidas já de praxe com relação à limpeza das chapas, ângulo de ataque da tocha de soldagem e mistura gasosa composta de Argônio e aditivo A. Mais especificamente no caso das chapas de 1 mm, é necessário dispensar atenção especial ao posicionamento e fixação da junta para evitar abertura durante a soldagem.

Com relação aos resultados obtidos para a soldagem de juntas sobrepostas e de topo, confirmou-se que é perfeitamente possível a soldagem a plasma desses tipos de juntas constituídas de aço comum ao carbono, desde que sejam tomados os devidos cuidados com

relação à limpeza das chapas, imposto um ângulo de ataque à tocha de soldagem de forma a empurrar o cordão de solda e utilizada uma mistura gasosa composta de Argônio e aditivo A.

Capítulo XV

Avaliação das Misturas de Argônio com Aditivos A e C

15.1 Objetivo

Este capítulo apresenta uma avaliação do desempenho de misturas compostas por Argônio, aditivo A e aditivo C na soldagem a plasma de aço comum ao carbono.

15.2 Soldagem dos corpos de prova e avaliação dos resultados

15.2.1 Avaliação da mistura C50

Deu-se início a esta nova fase de testes avaliando o efeito do aditivo C no processo de soldagem. Primeiramente, foi realizada uma série de testes (série 36-1) utilizando a mistura C50 (gás de plasma e de proteção) para a soldagem de juntas em aresta. A Tabela 15.1 mostra os resultados para esta série de testes.

Tabela 15.1: Resultados da série de testes 36-1 (mistura C50)

Teste	Velocidade (mm/min)	Comprimento do cordão (mm)	Aceitabilidade do cordão de solda
36-1-1	800	280	10% (irregularidades)
36-1-2	500	280	60% (excesso de fusão)
36-1-3	600	280	70% (excesso de fusão)
36-1-4	800	280	10% (irregularidades)
36-1-5	700	280	80% (excesso de fusão)
36-1-6	800	280	70% (irregularidades)
36-1-7	700	280	80% (excesso de fusão)

Constantes: Gás de Proteção: mistura gasosa C50 a uma vazão de 10,6 l/min; Gás de Plasma: mistura gasosa C50 a uma vazão de 0,7 l/min; Diâmetro do eletrodo: 5 mm; Afastamento do eletrodo: 0,8 mm; Ângulo da ponta do eletrodo: $\approx 33^\circ$; Distância da tocha à peça: 3,5 mm; Retardo: 1 s; Rampa de velocidade: 1,5 s; Ângulo de ataque: 105° (empurrando); Corrente de soldagem: 140 A.

Apesar de terem sido tomados os cuidados já demonstrados essenciais para promover boa soldabilidade (limpeza da junta, ângulo da tocha, etc.), o uso do aditivo C junto ao Argônio não melhorou muito a estabilidade do processo a plasma para a soldagem de aço comum ao carbono, provavelmente pela ausência do aditivo A na mistura gasosa. A velocidade máxima de soldagem obtida, que proporcionou o melhor aspecto de cordão, foi de apenas 700 mm/min.

No entanto, vale ressaltar que apesar da velocidade máxima de soldagem ter sido relativamente baixa, ocorreu, para os mesmos parâmetros de soldagem, uma fusão mais intensa se comparado aos resultados obtidos apenas com Argônio. A Figura 15.1 mostra o aspecto dos cordões de solda obtidos com a mistura C50 à máxima velocidade de soldagem.

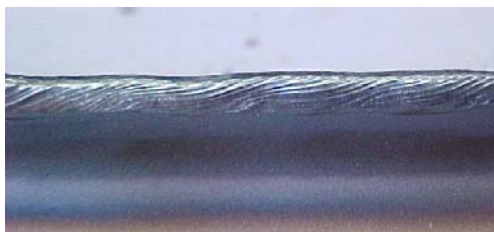


Figura 15.1: Aspecto dos cordões obtidos com a mistura C50 à máxima velocidade

15.2.2 Avaliação da mistura A50C50

Como a utilização do aditivo C parece fornecer um arco mais quente (promoveu fusão mais intensa) e o uso do aditivo A garante a estabilidade necessária ao processo de soldagem, decidiu-se tentar unir essas duas características como forma de aumentar ainda mais a produtividade do processo. Para verificar a viabilidade, então, do uso de uma mistura gasosa tríplice (Argônio com os aditivos A e C), foi realizada uma nova série de testes (série 37-1) utilizando a mistura gasosa A50C50. A Tabela 15.2 mostra os resultados para esta série de testes.

Tabela 15.2: Resultados da série de testes 37-1 (mistura A50C50)

Teste	Velocidade (mm/min)	Comprimento do cordão (mm)	Aceitabilidade do cordão
37-1-1	1000	280	90% (excesso de fusão)
37-1-2	1200	280	100%
37-1-3	1400	280	100%
37-1-4	1600	280	100%
37-1-5	1800	280	100%
37-1-6	2000	280	100%
37-1-7	2500	280	40% (falta de fusão e irregularidade)
37-1-8	2300	280	60% (falta de fusão e irregularidade)
37-1-9	2000	280	100%
37-1-10	2000	280	100%

Constantes: Gás de Proteção: mistura gasosa A50C50 a uma vazão de 10,6 l/min; Gás de Plasma: mistura gasosa A50C50 a uma vazão de 0,7 l/min; Diâmetro do eletrodo: 5 mm; Afastamento do eletrodo: 0,8 mm; Ângulo da ponta do eletrodo: $\approx 33^\circ$; Distância da tocha à peça: 3,5 mm; Retardo: 1 s; Rampa de velocidade: 1,5 s; Ângulo de ataque: 105° (empurrando); Corrente de soldagem: 140 A.

Os resultados foram altamente satisfatórios. Com a utilização da mistura A50C50 foi possível aumentar em muito o limite da velocidade de soldagem. Obteve-se cordões de ótimo aspecto (total conformidade) com velocidades de até 2000 mm/min. Vale lembrar que com a mistura A50 foi possível soldar com total conformidade a velocidades de até 1400 mm/min. Dessa forma, verifica-se, realmente, que a adição do aditivo C junto ao Argônio, desde de que aliada à presença do aditivo A, é extremamente benéfica para a soldagem a plasma de aço comum ao carbono, pois possibilita excelente produtividade sem prejudicar em nada a qualidade dos cordões de solda resultantes. A Figura 15.2 mostra o aspecto dos cordões de solda obtidos à máxima velocidade de soldagem utilizando a mistura A50C50.



Figura 15.2: Aspecto dos cordões obtidos com a mistura A50C50 à máxima velocidade

15.2.3 Avaliação da mistura A100C50

Uma vez que o uso da mistura A50C50 permitiu aumentar a velocidade máxima de soldagem em 600 mm/min, na próxima série de testes, como forma de tentar aumentar ainda mais esta velocidade, utilizou-se a mistura A100C50. Assim, dando continuidade à avaliação, foi realizada a série de testes 38-1, na qual soldou-se juntas em aresta utilizando, tanto para o gás de plasma, como para o de proteção, a mistura A100C50. A Tabela 15.3 mostra os resultados obtidos nesta série de testes.

Tabela 15.3: Resultados da série de testes 38-1 (mistura A100C50)

Teste	Velocidade (mm/min)	Comprimento do cordão (mm)	Aceitabilidade do cordão
3-1-1	2000	280	100%
3-1-2	2300	280	100%
3-1-3	2600	280	100%
3-1-4	3000	280	10% (falta de fusão)
3-1-5	2800	280	90% (falta de fusão)
3-1-6	2600	280	100%
3-1-7	2600	280	100%

Constantes: Gás de Proteção: mistura gasosa A100C50 a uma vazão de 10,6 l/min; Gás de Plasma: mistura gasosa A100C50 a uma vazão de 0,7 l/min; Diâmetro do eletrodo: 5 mm; Afastamento do eletrodo: 0,8 mm; Ângulo da ponta do eletrodo: $\approx 33^\circ$; Distância da tocha à peça: 3,5 mm; Retardo: 1 s; Rampa de velocidade: 2 s; Ângulo de ataque: 105° (empurrando); Corrente de soldagem: 140 A.

Os resultados foram excelentes, sendo possível soldar em total conformidade com velocidades de soldagem de até 2600 mm/min, apesar do aspecto dos cordões ter sido um pouco inferior ao obtido quando se utilizou a mistura gasosa A100 (velocidade máxima de soldagem de 2200 mm/min). A Figura 15.3 mostra o aspecto dos cordões de solda obtidos com a máxima velocidade de soldagem para as misturas A100C50 e A100. Não se partiu para investidas com maiores teores do aditivo C por questões de custo.



Mistura A100C50



Mistura A100

Figura 15.3: Cordões obtidos à máxima velocidade com as misturas A100C50 e A100

15.3 Conclusão

Como mostra a Figura 15.4, o acréscimo do aditivo C em misturas gasosas compostas por Argônio e aditivo A mostrou ser uma opção bastante eficiente para aumentar, de forma significativa, a velocidade máxima de soldagem e, assim, a produtividade do processo de soldagem a plasma “melt-in” quando aplicado em chapas de aço comum ao carbono.

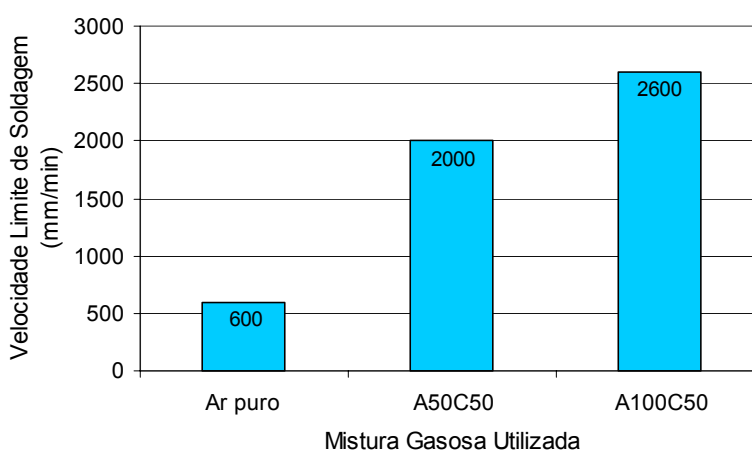


Figura 15.3: Influência dos aditivos A e C na velocidade limite de soldagem

Capítulo XVI

Tolerância de Montagem para Juntas em Aresta e de Topo

16.1 Objetivo

Neste capítulo é feita uma verificação da tolerância de montagem (abertura permissível da junta) de juntas em aresta e de topo, compostas de aço ao carbono, quando submetidas ao processo de união utilizando a soldagem a plasma pela técnica “melt-in”.

16.2 Soldagem dos corpos de prova e avaliação dos resultados

16.2.1 Tolerância de montagem para juntas em aresta

Para verificar a tolerância de montagem das juntas em aresta, ou seja, qual a influência da abertura existente entre essas juntas na soldabilidade, foram realizadas séries de testes nas quais as juntas foram posicionadas de maneira tal que entre elas existissem aberturas de 1 ou 0,5 mm. Para posicionar os corpos de prova com a abertura desejada, foram utilizados nas extremidades das juntas espaçadores de 1 e 0,5 mm, conforme o caso. Estes espaçadores foram colocados durante o posicionamento dos corpos de prova no suporte de fixação e retirados somente após a devida fixação, garantindo dessa forma uma abertura homogênea ao longo de toda a junta. A Figura 16.1 mostra o esquema de utilização dos espaçadores e um corpo de prova já montado com estes espaçadores.

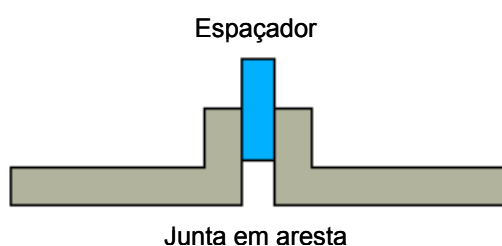


Figura 16.1: Esquema de fixação do espaçador e corpo de prova montado

Primeiramente, através da série de testes 39-1, foram soldadas juntas em aresta montadas com 1 mm de abertura. Para a soldagem destas juntas foram utilizados os mesmos parâmetros de soldagem e demais procedimentos de preparação de junta que têm sido utilizados com sucesso neste presente trabalho, inclusive o uso do gás A50 comercial. Uma vez fixados os parâmetros de soldagem e a abertura da junta (1 mm), variou-se a velocidade de soldagem em busca da máxima velocidade na qual ainda ocorrem cordões em conformidade. A Tabela 16.1 mostra os resultados obtidos na série de testes 39-1.

Tabela 16.1: Resultados da série de testes 39-1 (junta em aresta com abertura de 1 mm)

Teste	Velocidade (mm/min)	Comprimento do cordão (mm)	Aceitabilidade do cordão
39-1-1	1400	280	0% (falta de fusão e irregularidades)
39-1-2	1100	280	10% (falta de fusão e irregularidades)
39-1-3	900	280	90% (falta de fusão)
39-1-4	700	280	100%
39-1-5	700	280	100%
39-1-6	700	280	100%
39-1-7	700	280	100%

Constantes: Gás de Proteção: mistura A50 comercial a uma vazão de 10,6 l/min; Gás de Plasma: mistura A50 comercial a uma vazão de 0,7 l/min; Diâmetro do eletrodo: 5 mm; Afastamento do eletrodo: 0,8 mm; Ângulo da ponta do eletrodo: $\approx 33^\circ$; Distância da tocha à peça: 3,5 mm; Retardo: 1 s; Rampa de velocidade: 3 s; Ângulo de ataque: 105° (empurrando); Corrente de soldagem: 140 A.

Apesar de terem sido tomados os mesmos cuidados essenciais (limpeza da junta, ângulo da tocha, etc.) e utilizada a mistura A50 comercial, uma abertura de 1 mm nas juntas fez com que velocidade máxima de soldagem diminuísse para 700 mm/min, uma queda de 50% se comparado à velocidade máxima (1400 mm/min) obtida com os mesmos parâmetros de soldagem e sem abertura das juntas. Além disso, como mostra a Figura 16.2, o aspecto dos cordões obtidos à máxima velocidade de soldagem com abertura de 1 mm foi bem inferior ao obtido quando a juntas são posicionadas sem abertura.

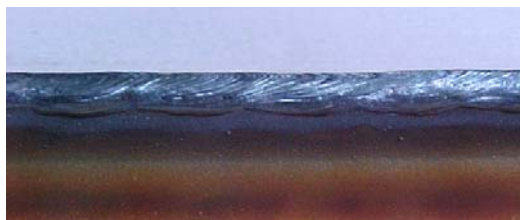


Figura 16.2: Aspecto dos cordões com abertura da junta de 1 mm à máxima velocidade

Dando seqüência à análise da tolerância de montagem permissível para juntas em aresta, foi feita uma nova série de testes (série 39-2) utilizando as mesmas condições da série 39-1, só que desta vez usando uma abertura entre as juntas de apenas 0,5 mm. Uma vez fixados os

parâmetros de soldagem e a abertura da junta (0,5 mm), variou-se a velocidade de soldagem em busca da máxima velocidade na qual ainda ocorrem cordões em conformidade. Os resultados para a série de testes 39-2 são mostrados na Tabela 16.2.

Tabela 16.2: Resultados da série de testes 39-2 (junta em aresta com abertura de 0,5 mm)

Teste	Velocidade (mm/min)	Comprimento do cordão (mm)	Aceitabilidade do cordão
39-2-1	1400	280	80% (falta de fusão e irregularidades)
39-2-2	1200	280	90% (falta de fusão)
39-2-3	1000	280	100%
39-2-4	1000	280	100%
39-2-5	1000	280	100%
39-2-6	1000	280	100%

Constantes: Gás de Proteção: mistura A50 comercial a uma vazão de 10,6 l/min; Gás de Plasma: mistura A50 comercial a uma vazão de 0,7 l/min; Diâmetro do eletrodo: 5 mm; Afastamento do eletrodo: 0,8 mm; Ângulo da ponta do eletrodo: $\approx 33^\circ$; Distância da tocha à peça: 3,5 mm; Retardo: 1 s; Rampa de velocidade: 3 s; Ângulo de ataque: 105° (empurrando); Corrente de soldagem: 140 A.

Com a utilização de uma abertura das juntas de apenas 0,5 mm, a velocidade de soldagem máxima sofreu também redução, só que não tão acentuada quanto quando da utilização de aberturas de 1 mm. A velocidade máxima de soldagem regrediu para 1000 mm/min, o que não deixa de ser um patamar significativo em se tratando de produtividade. Vale lembrar que a velocidade máxima de soldagem obtida com os mesmos parâmetros de soldagem, mas sem utilizar a abertura das juntas, foi de 1400 mm/min. A Figura 16.3 mostra o aspecto dos cordões de solda obtidos à máxima velocidade de soldagem com abertura da junta de 0,5 mm. O aspecto dos cordões foi bastante similar ao obtido na série de testes 39-1 (abertura de 1 mm).

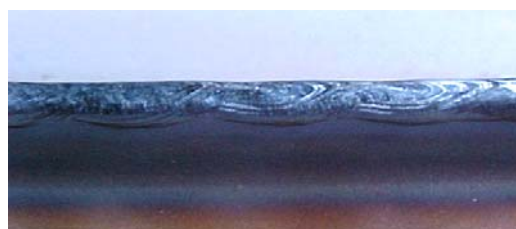


Figura 16.3: Aspecto dos cordões com abertura da junta de 0,5 mm à máxima velocidade

Dessa forma, em se tratando da soldagem a plasma de aço comum ao carbono, é aconselhável que as juntas de topo sejam montadas sempre de maneira a evitar ao máximo a abertura das juntas, tanto na fase de fixação destas juntas, como na fase de soldagem propriamente dita, o que aliado a outras medidas (limpeza da junta, ângulo da tocha, mistura gasosa, etc) garantirá elevada produtividade. A Figura 16.4 mostra a influência da abertura das juntas na velocidade máxima de soldagem para juntas em aresta.

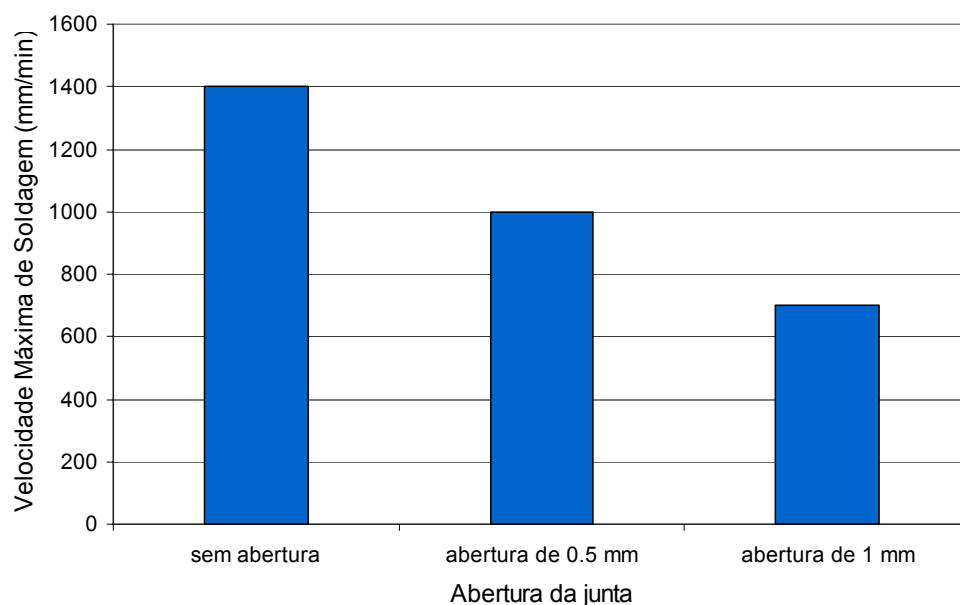


Figura 16.4: Influência da abertura das juntas em aresta na velocidade máxima de soldagem

Esta característica já era esperada para a soldagem a plasma, que é referenciada na literatura (Shneerson, 1986) como um processo de soldagem pouco robusto no que tange à montagem das juntas (sensível a espaçamentos entre as chapas e desalinhamento na altura das arestas). Por outro lado, se for comparado ao processo a plasma em condições normais de aplicação (Argônio como gás de plasma e proteção, sem limpeza da junta e sem inclinação da tocha), pode-se dizer que o procedimento atual permite maior tolerância de montagem para se conseguir a mesma produtividade.

16.2.2 Tolerância de montagem para juntas de topo

Para verificar a tolerância de montagem das juntas de topo, também foram utilizados espaçadores de 1 e 0,5 mm para assegurar que as juntas ficassem posicionadas com aberturas de 1 ou 0,5 mm, conforme o caso. Foram realizadas séries de testes nas quais, assim como para as juntas em aresta, os espaçadores foram colocados durante o posicionamento dos corpos de prova e retirados somente após a devida fixação no suporte, garantindo dessa forma uma abertura homogênea ao longo de toda a junta. A Figura 16.5 mostra o esquema de utilização dos espaçadores e um corpo de prova já montado com estes espaçadores.

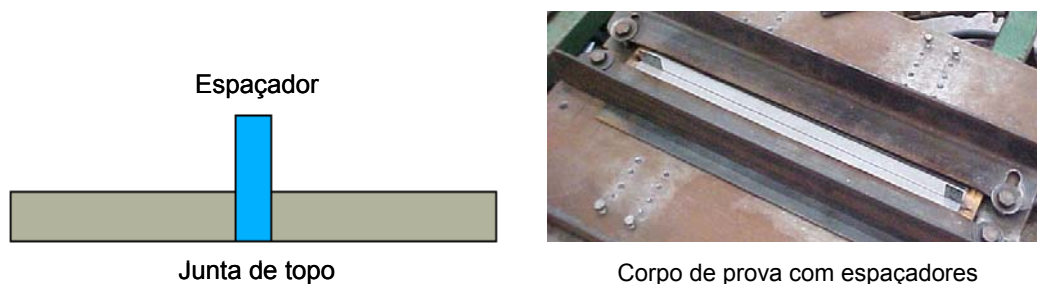


Figura 16.5: Esquema de fixação do espaçador e corpo de prova montado

De início, realizou-se a série de testes 40-1, na qual foram soldadas juntas de topo montadas com 1 mm de abertura. Para a soldagem destas juntas foram mantidos os mesmos parâmetros de soldagem e demais procedimentos de preparação de junta que têm sido utilizados com sucesso neste presente trabalho, inclusive a utilização do gás A50 comercial. Uma vez fixados os parâmetros de soldagem e a abertura da junta (1 mm), variou-se a velocidade de soldagem em busca da máxima velocidade na qual ainda ocorrem cordões em conformidade. A Tabela 16.3 mostra os resultados obtidos na série de testes 40-1.

Tabela 16.3: Resultados da série de testes 40-1 (junta de topo com abertura de 1 mm)

Teste	Velocidade (mm/min)	Comprimento do cordão (mm)	Aceitabilidade do cordão
40-1-1	600	280	0% (abertura da região fundida)
40-1-2	400	280	0% (abertura da região fundida)
40-1-3	200	280	0% (abertura da região fundida)
40-1-4	50	280	0% (abertura da região fundida)

Constantes: Gás de Proteção: mistura A50 comercial a uma vazão de 10,6 l/min; Gás de Plasma: mistura A50 comercial a uma vazão de 0,7 l/min; Diâmetro do eletrodo: 5 mm; Afastamento do eletrodo: 1,5 mm; Ângulo da ponta do eletrodo: $\approx 33^\circ$; Distância da tocha à peça: 1,5 mm; Retardo: 3 s; Rampa de velocidade: 3 s; Ângulo de ataque: 105° (empurrando); Corrente de soldagem: 140 A; Cobre-junta de cobre.

A utilização de aberturas de 1 mm entre as chapas impossibilitou a união das juntas de topo, mesmo a velocidades de soldagens mais baixas, como pode ser verificado na Tabela 16.3. Em toda a extensão das juntas ocorreu abertura da região fundida como ilustra a Figura 16.6.



Figura 16.6: Aspecto característico dos cordões com abertura da junta de topo de 1 mm

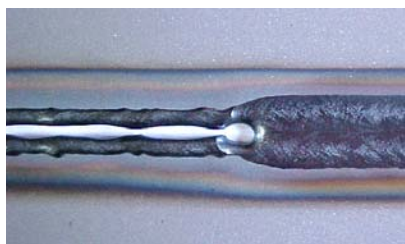
Dando continuidade à análise da tolerância de montagem permissível para juntas de topo, foi feita uma nova série de testes (série 40-2) sob as mesmas condições da série 40-1, só que desta vez usando uma abertura entre as juntas de apenas 0,5 mm. Fixados os parâmetros de soldagem e a abertura da junta (0,5 mm), variou-se a velocidade de soldagem até o limite no qual ainda ocorrem cordões em conformidade. Os resultados para a série de testes 40-2 são mostrados na Tabela 16-4.

Tabela 16-4: Resultados da série de testes 40-2 (junta de topo com abertura de 0,5 mm)

Teste	Velocidade (mm/min)	Comprimento do cordão (mm)	Aceitabilidade do cordão
2-2-1	600	280	20% (abertura da região fundida)
2-2-2	400	280	0% (abertura da região fundida)
2-2-3	200	280	80% (abertura da região fundida)
2-2-4	200	280	60% (abertura da região fundida)
2-2-5	200	280	70% (abertura da região fundida)
2-2-6	100	280	80% (abertura da região fundida)

Constantes: Gás de Proteção: mistura A50 comercial a uma vazão de 10,6 l/min; Gás de Plasma: mistura A50 comercial a uma vazão de 0,7 l/min; Diâmetro do eletrodo: 5 mm; Afastamento do eletrodo: 1,5 mm; Ângulo da ponta do eletrodo: $\approx 33^\circ$; Distância da tocha à peça: 1,5 mm; Retardo: 3 s; Rampa de velocidade: 3 s; Ângulo de ataque: 105° (empurrando); Corrente de soldagem: 140 A; Cobre-junta de cobre.

A utilização de uma abertura das juntas de topo de apenas 0,5 mm também não possibilitou obter soldas com total conformidade a nenhuma velocidade de soldagem, para os parâmetros utilizados. No entanto, a velocidades de soldagem mais baixas (200 mm/min), foi possível soldar comprimentos significativos de cordões com total conformidade, mas sempre após um início em não conformidade; uma vez que os trechos em conformidade ocorreram sempre após cerca de um terço do comprimento total do corpo de prova, provavelmente esta conformidade ocorreu pela dilatação provocada pelo aquecimento da junta, o que fez com que a abertura diminuísse à medida que a soldagem avançava sobre a junta. A Figura 16.7 ilustra a transição do trecho de cordão não conforme para o trecho em conformidade.



Direção de soldagem →

Figura 16.7: Trecho do cordão com abertura da junta de topo de 0,5 mm

Esta impossibilidade de obter cordões conformes utilizando juntas de topo com aberturas (simulando uma montagem ineficiente) confirma que o processo de soldagem a plasma, em geral, é pouco robusto em se tratando da montagem das juntas.

16.3 Conclusão

O posicionamento e montagem das juntas com aberturas, mesmo tão pequenas quanto 1 e 0,5 mm, além de comprometer o aspecto dos cordões, reduz significativamente a velocidade máxima de soldagem (junta em aresta) ou não permite a obtenção de cordões em conformidade qualquer que seja a velocidade de soldagem utilizada (junta de topo). Dessa forma, para se obter elevada produtividade na soldagem a plasma quando aplicada em aço comum ao carbono deve-se, além dos procedimentos de praxe já determinados (limpeza das juntas, ângulo da tocha, mistura gasosa, etc), garantir o posicionamento e montagem das chapas a serem soldadas de forma que não exista abertura alguma entre elas, quer sejam utilizadas juntas em aresta ou de topo.

Capítulo XVII

Soldagem de Juntas de Topo e Sobreposta por Plasma, TIG e MIG/MAG

17.1 Objetivo

Neste capítulo procurou-se avaliar os processos de soldagem MIG/MAG e TIG aplicados a juntas de topo e sobrepostas compostas de chapas com 1,5 mm de espessura de aço comum ao carbono e comparar os resultados com os obtidos utilizando o processo de soldagem a plasma.

17.2 Soldagem dos corpos de prova e avaliação dos resultados

17.2.1 Avaliação do processo de soldagem MIG/MAG para juntas de topo

Para iniciar a avaliação da soldabilidade do processo MIG/MAG aplicado em juntas de topo e sobrepostas constituídas de chapas finas de aço comum ao carbono, foram utilizados os mesmos parâmetros que já haviam sido usados na soldagem MIG/MAG de juntas em aresta (capítulo XII). Vale lembrar que para as juntas em aresta só foi possível alcançar bons resultados com a diminuição da corrente de soldagem de 140 A (valor de referência usado para soldar juntas em aresta pelo processo plasma) para 90 A e utilizando um ângulo de ataque de 105° (empurrando). Dessa forma, os parâmetros de soldagem selecionados para início dos testes foram os seguintes:

- Corrente de soldagem: 90 A (U: 17 V; Va: 3 m/min);
- Arame: AWS A5 18-93 com 0,9 mm de diâmetro;
- Distância bico de contato-peça: 10 mm;
- Gás de proteção: C-20 (Ar + 20% de CO₂) a 12 l/min;
- Ângulo de ataque: 105° (empurrando);
- Limpeza das chapas: por jateamento de areia.

Na primeira série de testes (série 41-1) foram soldadas juntas de topo em busca da velocidade máxima de soldagem na qual ainda ocorrem cordões em total conformidade. A Tabela 17.1 mostra os resultados para esta nova série de testes.

Tabela 17.1: Resultados da série de testes 41-1 (junta de topo com corrente de 90 A)

Teste	Velocidade (mm/min)	Comprimento do cordão (mm)	Aceitabilidade do cordão
41-1-1	300	280	100%
41-1-2	450	280	90% (falta de fusão na raiz)
41-1-3	600	280	80% (falta de fusão na raiz)
41-1-4	800	280	70% (falta de fusão na raiz)
41-1-5	300	280	100%
41-1-6	300	280	100%

Constantes: Gás de Proteção: Ar com 20% de CO₂ a uma vazão de 12 l/min; Diâmetro do arame: 0,9 mm; Ângulo de ataque: 105° (empurrando); Distância bico de contato-peça: 10 mm; Tensão de soldagem: 17 V; Velocidade de alimentação: 3 m/min; Corrente de soldagem: 90 A.

Apesar de se conseguir cordões em total conformidade, os resultados não foram muito satisfatórios quanto à velocidade máxima de soldagem; com uma corrente de soldagem de 90 A, foi possível obter cordões em conformidade (face e raiz) a velocidades de soldagem de até 300 mm/min somente, um valor bem abaixo da velocidade máxima obtida com o processo a plasma (600 mm/min com corrente de soldagem de 140 A). A Figura 17.1 mostra o aspecto dos cordões obtidos à máxima velocidade de soldagem para a corrente de 90 A. Com velocidades de soldagem mais elevadas, não foi possível obter cordões em conformidade, pois ocorreu falta de fusão na raiz como ilustra a Figura 17.2.



Face



Raiz

Figura 17.1: Aspecto dos cordões com corrente de 90 A à máxima velocidade de soldagem



Falta de fusão

Figura 17.2: Raiz do cordão com corrente de 90 A em velocidades de soldagem mais elevada

Já que a utilização de uma corrente de soldagem mais baixa (90 A) não possibilitou boa produtividade, na próxima série de testes (série 41-2) foi utilizada uma corrente de 140 A, tentando-se dessa forma elevar a produtividade do processo MIG/MAG para este tipo de junta.

Os resultados para a série de testes 41-2 são mostrados na Tabela 17.2.

Tabela 17.2: Resultados da série de testes 41-2 (junta de topo com corrente de 140 A)

Teste	Velocidade (mm/min)	Comprimento do cordão (mm)	Aceitabilidade do cordão
41-2-1	600	280	100%
41-2-2	800	280	95% (falta de fusão na raiz)
41-2-3	1000	280	90% (falta de fusão na raiz)
41-2-4	1200	280	80% (falta de fusão na raiz)
41-2-5	1400	280	70% (falta de fusão na raiz)
41-2-6	600	280	100%
41-2-7	600	280	100%

Constantes: Gás de Proteção: Ar com 20% de CO₂ a uma vazão de 12 l/min; Diâmetro do arame: 0,9 mm; Ângulo de ataque: 105° (empurrando); Distância bico de contato-peça: 10 mm; Tensão de soldagem: 19 V; Velocidade de alimentação: 5,8 m/min; Corrente de soldagem: 140 A.

Com o aumento da corrente de soldagem para 140 A foi possível obter cordões em conformidade a velocidades de soldagem de até 600 mm/min. A Figura 17.3 mostra o aspecto dos cordões obtidos a esta velocidade de soldagem, sendo que acima desta velocidade houve falta de fusão na raiz da solda, ocorrência já ilustrada na Figura 17.2. É importante lembrar que, como consta no capítulo XIV, utilizando o processo de soldagem a plasma também para juntas de topo, para uma corrente de 140 A e usando a mistura A50, foi possível obter cordões em total conformidade a velocidades de soldagem de até 600 mm/min, sendo que utilizando a mistura A100 possibilitou alcançar até 800 mm/min.



Face



Raiz

Figura 17.3: Aspecto dos cordões com corrente de 140 A à máxima velocidade de soldagem

17.2.2 Avaliação do processo de soldagem MIG/MAG para juntas sobrepostas

Para a avaliação inicial da soldabilidade pelo processo MIG/MAG de juntas sobrepostas constituídas de chapas finas de aço comum ao carbono, foram utilizados os seguintes parâmetros de soldagem:

- Corrente de soldagem: 90 A (U: 17 V; Va: 3 m/min);
- Arame: AWS A5 18-93 com 0,9 mm de diâmetro;
- Distância bico de contato-peça: 10 mm;
- Gás de proteção: C-20 (Ar + 20% de CO₂) a 12 l/min;
- Ângulo de ataque: 105° (empurrando);
- Ângulo de trabalho: 75°;
- Limpeza das chapas: por jateamento de areia.

Definidos estes parâmetros, na primeira série de testes (série 42-1) foram soldadas juntas sobrepostas novamente em busca da velocidade máxima de soldagem na qual ainda ocorreriam cordões em total conformidade. A Tabela 17.3 mostra os resultados obtidos para a série de testes 42-1.

Tabela 17.3: Resultados da série de testes 42-1 (junta sobreposta com corrente de 90 A)

Teste	Velocidade (mm/min)	Comprimento do cordão (mm)	Aceitabilidade do cordão
42-1-1	300	280	80% (falta de fusão)
42-1-2	400	280	80% (falta de fusão)
42-1-3	500	280	70% (falta de fusão)
42-1-4	200	280	100%
42-1-5	200	280	100%
42-1-6	200	280	100%

Constantes: Gás de Proteção: Ar com 20% de CO₂ a uma vazão de 12 l/min; Diâmetro do arame: 0,9 mm; Ângulo de ataque: 105° (empurrando); Ângulo de trabalho: 75°; Distância bico de contato-peça: 10 mm; Tensão de soldagem: 17 V; Velocidade de alimentação: 3 m/min; Corrente de soldagem: 90 A.

O fato de se utilizar uma corrente de soldagem de 90 A não proporcionou bons resultados. Apesar do ótimo aspecto dos cordões, como ilustra a Figura 17.4, só foi possível obter total conformidade a velocidades de soldagem de até 200 mm/min. Para velocidades de soldagem acima desse limite ocorreu falta de fusão.

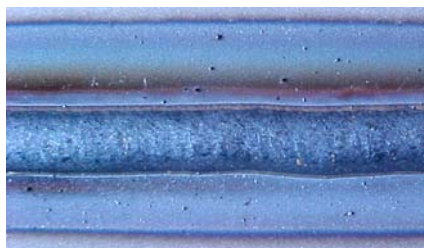


Figura 17.4: Aspecto dos cordões em conformidade obtidos na série 42-1

A ocorrência de falta de fusão foi verificada por meio de um esforço aplicado de tal forma a forçar a separação de uma chapa da outra na região soldada. Para a realização do “teste de ruptura”, as chapas soldadas foram devidamente fixadas em uma morsa e o esforço para provocar uma possível separação foi feito por meio de uma alavanca. Se ocorresse separação das chapas no cordão de solda, considerava-se como falta de fusão. Por outro lado, se houvesse rompimento (rasgamento) em uma das chapas, considerava-se como solda em conformidade. A Figura 17.5 ilustra o esquema do “teste de ruptura” executado e a Figura 17.6 mostra um corpo de prova reprovado por falta de fusão após a realização do referido teste.

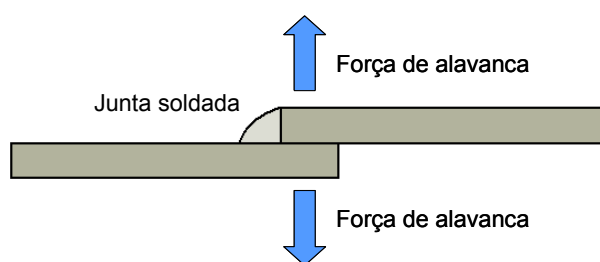


Figura 17.5: Esquema do “teste de ruptura” utilizado na avaliação das juntas sobrepostas



Figura 17.6: Corpo de prova reprovado por falta de fusão (baixa penetração)

Como forma de tentar aumentar a velocidade máxima de soldagem na qual ainda ocorreriam cordões em total conformidade, foi feita uma nova série de testes (série 42-2) na qual a tensão de soldagem e a velocidade de alimentação foram respectivamente ajustadas em 19 V e 5,8 m/min, resultando, dessa forma, em uma corrente de soldagem de 140 A. A Tabela 17.4 mostra os resultados para série de testes 42-2.

Tabela 17.4: Resultados da série de testes 42-2 (junta sobreposta com corrente de 140 A)

Teste	Velocidade (mm/min)	Comprimento do cordão (mm)	Aceitabilidade do cordão
42-2-1	600	280	100%
42-2-2	700	280	100%
42-2-3	800	280	100%
42-2-4	900	280	90% (falta de fusão)
42-2-5	800	280	100%

Teste	Velocidade (mm/min)	Comprimento do cordão (mm)	Aceitabilidade do cordão
42-2-6	800	280	100%

Constantes: Gás de Proteção: Ar com 20% de CO₂ a uma vazão de 12 l/min; Diâmetro do arame: 0,9 mm; Ângulo de ataque: 105° (empurrando); Ângulo de trabalho: 75°; Distância bico de contato-peça: 10 mm; Tensão de soldagem: 19 V; Velocidade de alimentação: 5,8 m/min; Corrente de soldagem: 140 A.

Com o aumento da corrente de soldagem de 90 para 140 A, obteve-se um ganho significativo na velocidade máxima de soldagem, que de 200 passou para 800 mm/min. Ressalta-se que as chapas soldadas foram testadas seguindo o “teste de ruptura” utilizado anteriormente na série 42-1. Com relação ao aspecto dos cordões de solda, foram obtidos cordões bastante similares aos da série de testes 42-1, como mostra a Figura 17.7.

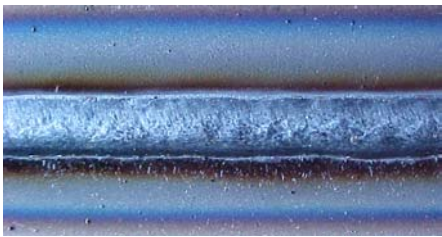


Figura 17.7: Aspecto geral dos cordões de solda obtidos na série 42-2

Por conclusão, comparado ao processo de soldagem a plasma aplicado em juntas de topo e sobrepostas, o processo MIG/MAG permite alcançar resultados bastante similares (um pouco melhor para junta sobreposta e um pouco pior para junta de topo), desde que seja utilizado o mesmo nível de corrente. A Figura 17.8 mostra a influência do tipo de junta e da corrente de soldagem no limite máximo de velocidade de soldagem utilizando o processo MIG/MAG, enquanto a Figura 17.9 retrata esta mesma influência para o processo de soldagem a plasma.

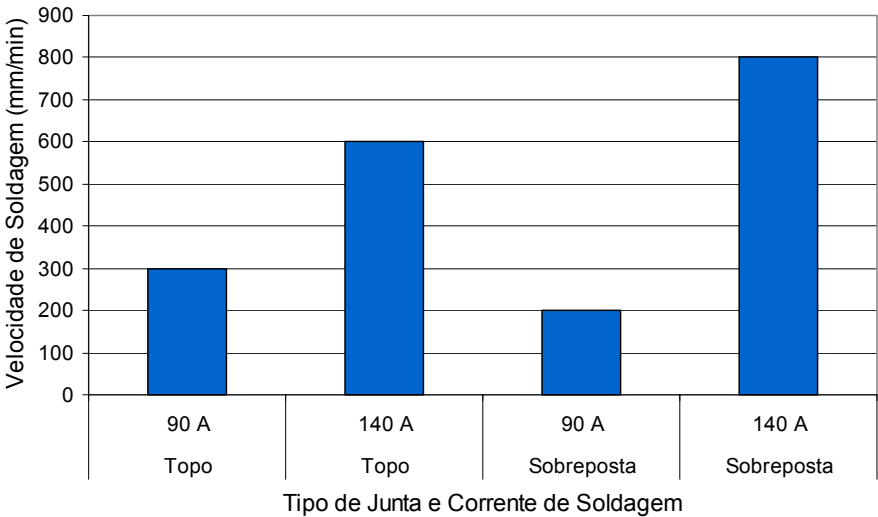


Figura 17.8: Influência do tipo de junta e corrente no limite de velocidade (MIG/MAG)

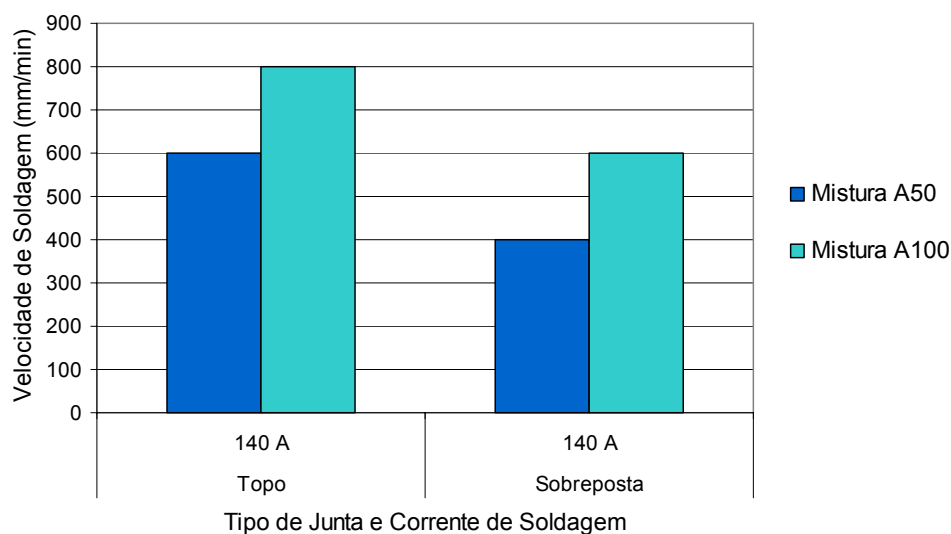


Figura 17.9: Influência do tipo de junta e corrente no limite de velocidade (Plasma) - baseado em resultados apresentados no capítulo XIV

17.2.3 Avaliação do processo de soldagem TIG para juntas de topo

Para iniciar a avaliação da soldabilidade do processo TIG aplicado em juntas de topo constituídas de chapas finas de aço comum ao carbono, foram utilizados os seguintes parâmetros:

- Corrente de soldagem: 140 A;
- Eletrodo: AWS EW-Th2 com 1,6 mm de diâmetro;
- Distância eletrodo-peça: 2 mm;
- Ângulo de ataque: 105° (empurrando);
- Limpeza das chapas: por jateamento de areia.

Definidos estes parâmetros, na primeira série de testes (série 43-1) foram soldadas juntas de topo utilizando Argônio puro como gás de proteção (mais comum ao processo TIG) procurando-se obter a velocidade máxima de soldagem na qual ainda ocorrem cordões em total conformidade. A Tabela 17.5 mostra os resultados obtidos para a série de testes 43-1.

Tabela 17.5: Resultados da série de testes 43-1 (junta de topo com Ar puro)

Teste	Velocidade (mm/min)	Comprimento do cordão (mm)	Aceitabilidade do cordão
43-1-1	800	280	70% (falta de fusão na raiz)
43-1-2	600	280	80% (falta de fusão na raiz)
43-1-3	400	280	80% (falta de fusão na raiz)

Teste	Velocidade (mm/min)	Comprimento do cordão (mm)	Aceitabilidade do cordão
43-1-4	300	280	90% (falta de fusão na raiz)
43-1-5	200	280	95% (falta de fusão na raiz)
43-1-6	100	280	100%
43-1-7	100	280	100%

Constantes: Gás de Proteção: Ar puro a uma vazão de 10 l/min; Diâmetro do eletrodo: 1,6 mm; Distância eletrodo-peça: 2 mm; Ângulo da ponta do eletrodo: $\approx 60^\circ$; Retardo: 1 s; Rampa de velocidade: 1 s; Ângulo de ataque: 105° (empurrando); Corrente de soldagem: 140 A.

Os resultados não foram satisfatórios, sendo que a máxima velocidade de soldagem, na qual ainda ocorreram cordões em total conformidade, foi de apenas 100 mm/min. Este valor é bem abaixo do valor obtido utilizando o processo de soldagem a plasma, que foi de 600 mm/min (mistura A50) e 800 mm/min (mistura A100). Com relação ao aspecto dos cordões obtidos, o processo TIG forneceu cordões similares aos obtidos com o processo a plasma, ainda que morfologicamente diferentes até mesmo no que se diz respeito à largura dos cordões. A Figura 17.8 mostra o principal defeito presente nos corpos de prova soldados nesta série de testes, a falta de fusão na raiz. Já a Figura 17.9 mostra o aspecto dos cordões em conformidade obtidos com o processo TIG e com o processo a plasma para juntas de topo.



Figura 17.8: Falta de fusão na raiz típica dos cordões obtidos na série 43-1



TIG



Plasma

Figura 17.9: Aspecto dos cordões obtidos com TIG e com Plasma para juntas de topo

Como tentativa de elevar a velocidade máxima de soldagem para juntas de topo utilizando o processo TIG, utilizou-se na série de testes 43-2 a mistura A50 comercial como gás de proteção, visto que esta mistura tem mostrado ser mais eficiente que o Argônio puro para a soldagem de juntas em aresta utilizando o processo TIG em chapas finas de aço comum ao carbono. A Tabela 17.6 mostra os resultados para a série de testes 43-2.

Tabela 17.6: Resultados da série de testes 43-2 (junta de topo com a mistura A50 comercial)

Teste	Velocidade (mm/min)	Comprimento do cordão (mm)	Aceitabilidade do cordão
43-2-1	600	280	80% (falta de fusão na raiz)
43-2-2	400	280	90% (falta de fusão na raiz)
43-2-3	300	280	100%
43-2-4	300	280	100%
43-2-5	300	280	100%

Constantes: Gás de Proteção: mistura A50 comercial a uma vazão de 10 l/min; Diâmetro do eletrodo: 1,6 mm; Distância eletrodo-peça: 2 mm; Ângulo da ponta do eletrodo: $\approx 60^\circ$; Retardo: 1 s; Rampa de velocidade: 1 s; Ângulo de ataque: 105° (empurrando); Corrente de soldagem: 140 A.

A utilização da mistura A50 comercial aumentou razoavelmente a velocidade máxima de soldagem, sendo possível obter cordões em total conformidade a velocidades de até 300 mm/min. Apesar da sensível melhora nos resultados, este valor ainda ficou bem abaixo do obtido com o processo a plasma (mistura A50 comercial), que foi de 600 mm/min. Com relação ao aspecto, os cordões obtidos com o processo TIG utilizando a mistura A50 comercial foram bem similares aos obtidos com o processo a plasma como mostra a Figura 17.9.



Figura 17.9: Aspecto dos cordões obtidos com TIG à máxima velocidade (A50 comercial)

17.2.4 Avaliação do processo de soldagem TIG para juntas sobrepostas

Dando continuidade à avaliação da soldagem TIG para chapas finas de aço comum ao carbono, avaliou-se a soldabilidade de juntas sobrepostas utilizando Argônio puro e a mistura A50 comercial como gases de proteção. Para iniciar a avaliação da soldabilidade, foram utilizados os seguintes parâmetros:

- Corrente de soldagem: 140 A;
- Eletrodo: AWS EW-Th2 com 1,6 mm de diâmetro;
- Distância eletrodo-peça: 2 mm;
- Ângulo de ataque: 105° (empurrando);
- Ângulo de trabalho: 75° ;
- Limpeza das chapas: por jateamento de areia.

Definidos estes parâmetros, na primeira série de testes (série 44-1) foram soldadas juntas de topo utilizando Argônio puro como gás de proteção (mais comum ao processo TIG) procurando-se alcançar a velocidade máxima de soldagem na qual ainda ocorrem cordões em total conformidade. A Tabela 17.7 mostra os resultados obtidos para a série de testes 44-1.

Tabela 17.7: Resultados da série de testes 44-1 (junta sobreposta com Ar puro)

Teste	Velocidade (mm/min)	Comprimento do cordão (mm)	Aceitabilidade do cordão
44-1-1	600	280	50% (falta de fusão)
44-1-2	400	280	60% (falta de fusão e irregularidades)
44-1-3	300	280	80% (falta de fusão)
44-1-4	200	280	90% (falta de fusão)
44-1-5	100	280	100%
44-1-6	100	280	100%
44-1-7	100	280	100%

Constantes: Gás de Proteção: Ar a uma vazão de 10 l/min; Diâmetro do eletrodo: 1,6 mm; Distância eletrodo-peça: 2 mm; Ângulo da ponta do eletrodo: $\approx 60^\circ$; Retardo: 1 s; Rampa de velocidade: 1 s; Ângulo de ataque: 105° (empurrando); Ângulo de trabalho: 75° ; Corrente de soldagem: 140 A.

O processo de soldagem TIG, utilizando Argônio puro como gás de proteção e aplicado em juntas sobrepostas, proporcionou uma velocidade máxima de soldagem de apenas 100 mm/min. Dessa forma, o processo TIG convencional (Argônio puro) mostrou ter baixa produtividade quando aplicado em juntas sobrepostas para este tipo de aplicação, visto que com o processo a plasma, para as misturas A50 e A100, foi possível obter, respectivamente, velocidades máximas de soldagem de 400 e 600 mm/min (capítulo XIV). Além disso, como consequência da baixa velocidade de soldagem necessária para se obter cordões em conformidade, ocorreu excesso de fusão em alguns trechos da raiz da solda. A Figura 17.10 mostra o aspecto dos cordões (face e raiz) obtidos na velocidade máxima de soldagem para a série de testes 44-1.



Face



Excesso de fusão na raiz

Figura 17.10: Aspecto geral dos cordões obtidos na velocidade máxima para a série 44-1

Como tentativa de elevar a velocidade máxima de soldagem alcançada pelo processo TIG para este tipo de aplicação, utilizou-se na próxima série de testes (série 44-2) a mistura A50 comercial como gás de proteção. A Tabela 17.8 mostra os resultados obtidos para esta série de testes.

Tabela 17.8: Resultados da série de testes 44-2 (junta sobreposta com A50 comercial)

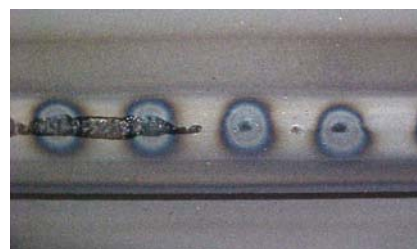
Teste	Velocidade (mm/min)	Comprimento do cordão (mm)	Aceitabilidade do cordão
44-2-1	600	280	60% (falta de fusão)
44-2-2	400	280	100%
44-2-3	300	280	100%
44-2-4	500	280	100%
44-2-5	500	280	70% (falta de fusão)
44-2-6	400	280	95% (falta de fusão)
44-2-7	300	280	100%
44-2-8	300	280	100%

Constantes: Gás de Proteção: mistura A50 comercial a uma vazão de 10 l/min; Diâmetro do eletrodo: 1,6 mm; Distância eletrodo-peça: 2 mm; Ângulo da ponta do eletrodo: $\approx 60^\circ$; Retardo: 1 s; Rampa de velocidade: 1 s; Ângulo de ataque: 105° (empurrando); Ângulo de trabalho: 75° ; Corrente de soldagem: 140 A.

Com a utilização da mistura A50 comercial, a velocidade máxima de soldagem foi elevada de 100 (Argônio puro) para 300 mm/min. Apesar desse aumento, a velocidade máxima obtida para o processo TIG utilizando a mistura A50 comercial ainda ficou abaixo do valor obtido com o processo Plasma (400 mm/min). Com relação ao aspecto dos cordões, novamente ocorreu excesso de fusão em alguns trechos da raiz, devido à necessidade de se utilizar uma baixa velocidade de soldagem para a produção de cordões totalmente conformes. A Figura 17.11 mostra o aspecto dos cordões (face e raiz) obtidos na velocidade máxima de soldagem para a série 44-2.



Face



Excesso de fusão na raiz

Figura 17.11: Aspecto geral dos cordões obtidos na velocidade máxima para a série 44-2

17.3 Conclusões

Comparativamente ao processo de soldagem a plasma, a utilização do processo MIG/MAG para a soldagem de chapas finas de aço comum ao carbono, tanto aplicado em juntas de topo, como em juntas sobrepostas, permite alcançar a mesma velocidade máxima de soldagem, desde que seja utilizado o mesmo nível de corrente.

Com relação ao processo TIG, verificou-se que não é possível, nem para juntas de topo, tão pouco para sobrepostas, obter a mesma produtividade alcançada com o processo de soldagem a plasma, mesmo utilizando parâmetros de soldagem e gases de proteção que favoreçam a soldabilidade para este tipo de aplicação.

Capítulo XVIII

Influência do Gás de Plasma no Desempenho do Eletrodo

18.1 Introdução

Após o desenvolvimento das misturas gasosas com uso do aditivo A, ficou a dúvida se a adição deste elemento prejudica de alguma forma o desempenho do eletrodo. Como maneira de mensurar o desempenho do eletrodo, foi verificada a capacidade de acendimento do arco piloto e do arco principal e o desgaste de ponta deste eletrodo (EW-Th2). Dessa forma, como forma de averiguar se ocorre uma modificação no desempenho do eletrodo em função da presença do aditivo A na mistura gasosa utilizada como gás de plasma, foram realizadas algumas séries de testes utilizando sempre a mistura A50 como gás de proteção (garantia de melhor produtividade em relação ao Argônio). Como gás de plasma foi utilizado Argônio (parâmetro de comparação) ou a própria mistura A50 (presença do aditivo A). Lembrando que já fora demonstrado no capítulo XI que o uso da mistura A50, tanto como gás de proteção, como gás de plasma, fornece melhor produtividade que aquela obtida se for utilizada a mistura A50 como gás de proteção e simplesmente Argônio como gás de plasma.

18.2 Soldagem e avaliação dos resultados

Para cada combinação gasosa (gás de plasma/gás de proteção) testada, foram efetuadas duas seqüências de dez cordões cada. A primeira seqüência foi realizada mantendo o arco piloto acionado durante todo o tempo de soldagem, isto é, o arco piloto não foi desligado ao final de cada cordão. Já a segunda seqüência foi feita com o desligamento/acionamento do arco piloto entre a execução de cada um dos dez cordões. Além disso, na seqüência com desligamento/acionamento do arco piloto, entre a soldagem de cada cordão foi fixado um tempo de espera de cerca de 3 minutos (tempo para resfriamento da chapa, reposicionamento da tocha, etc). Já no caso da seqüência com arco piloto em constante funcionamento, este tempo de espera foi de apenas 30 segundos, o suficiente para os ajustes necessários.

A cada cordão realizado foi verificado se ocorreram problemas para a abertura do arco piloto (se acendia imediatamente ou não) e medido o tempo necessário para a abertura do arco principal utilizando um cronômetro. Esta tomada de tempo foi utilizada como um parâmetro de medida de desempenho do eletrodo – quanto maior o tempo pior o desempenho.

As duas seqüências de cordões foram todas feitas sobre chapas de aço ao carbono de 9 mm de espessura, 300 mm de comprimento e 50 mm de largura, sempre mantendo os parâmetros de soldagem constantes, exceto, é claro, o gás de plasma utilizado. Todos os cordões foram feitos a 500 mm/min e com tempo de soldagem de 30 segundos, resultando em cordões de 250 mm de comprimento como o mostrado na Figura 18.1. Apesar do tempo de soldagem ser relativamente curto, isso acaba se tornando representativo em termos de produção, já que as velocidades de soldagem alcançadas com as misturas desenvolvidas neste presente trabalho foram bem mais elevadas, 1300 mm/min com a mistura A50, por exemplo. Ora, se fosse utilizado esse mesmo tempo de soldagem de 30 segundos, mas com uma velocidade de soldagem de 1300 mm/min (alcançada com a mistura A50), o resultado seria um cordão de 650 mm de comprimento, o que é bem considerável.



Figura 18.1: Aspecto dos cordões de solda produzidos nas séries de testes deste capítulo

18.2.1 Argônio como gás de plasma e mistura A50 como proteção

Na primeira seqüência de testes (série de testes 45-1), avaliou-se o desempenho do eletrodo utilizando Argônio como gás de plasma e a mistura A50 como gás de proteção, já que esta condição serviria de parâmetro para as próximas seqüências de testes. Nessa primeira seqüência o arco piloto foi mantido em constante funcionamento. A Tabela 18.1 mostra os resultados para esta série de testes.

Tabela 18.1: Resultados da série 45-1 (Ar como gás de plasma e A50 como proteção)

Teste	Tempo necessário para a abertura do arco principal (s)
45-1-1	4,08
45-1-2	4,09
45-1-3	3,98
45-1-4	4,01

Teste	Tempo necessário para a abertura do arco principal (s)
45-1-5	4,09
45-1-6	4,09
45-1-7	4,24
45-1-8	4,02
45-1-9	4,11
45-1-10	Não abriu

Constantes: Gás de Proteção: mistura gasosa A50 a uma vazão de 10,6 l/min; Gás de Plasma: Ar a uma vazão de 0,9 l/min; Diâmetro do eletrodo: 5 mm; Afastamento do eletrodo: 1 mm; Ângulo da ponta do eletrodo: $\approx 33^\circ$; Distância da tocha à peça: 3,5 mm; Retardo: 1,5 s; Rampa de velocidade: 2,5 s; Ângulo de ataque: 105° ; Corrente de soldagem: 140 A; Velocidade de soldagem: 500 mm/min.

Os testes mostram não haver problemas para abertura do arco principal quando é utilizado Argônio como gás de plasma e a mistura A50 como gás de proteção, apesar de que, por razões desconhecidas, o arco não abriu no último teste. O tempo médio necessário para abertura foi de 4,07 segundos. Com relação ao desgaste do eletrodo, a Figura 18.2 mostra o eletrodo antes e após a execução da seqüência de cordões, com destaque para o pequeno desgaste de ponta ocorrido.



Antes

Depois

Figura 18.2: Eletrodo antes e depois da série de testes 45-1

Já na segunda seqüência de testes (série de testes 45-2), avaliou-se o desempenho do eletrodo também utilizando Argônio como gás de plasma e a mistura A50 como gás de proteção, só que desta vez com o arco piloto sendo desligado/acionado entre a execução de cada cordão. A Tabela 18.2 mostra os resultados para esta série de testes.

Tabela 18.2: Resultados da série 45-2 (Ar como gás de plasma e A50 como proteção)

Teste	Abertura do arco piloto	Tempo para a abertura do arco principal (s)
45-2-1	Imediata	4,19
45-2-2	Imediata	4,09
45-2-3	Imediata	4,11
45-2-4	Imediata	4,12
45-2-5	Imediata	4,19

Teste	Abertura do arco piloto	Tempo para a abertura do arco principal (s)
45-2-6	Imediata	4,11
45-2-7	Imediata	4,17
45-2-8	Imediata	4,06
45-2-9	Imediata	4,03
45-2-10	Imediata	4,16

Constantes: Gás de Proteção: mistura gasosa A50 a uma vazão de 10,6 l/min; Gás de Plasma: Ar a uma vazão de 0,9 l/min; Diâmetro do eletrodo: 5 mm; Afastamento do eletrodo: 1 mm; Ângulo da ponta do eletrodo: $\approx 33^\circ$; Distância da tocha à peça: 3,5 mm; Retardo: 1,5 s; Rampa de velocidade: 2,5 s; Ângulo de ataque: 105° ; Corrente de soldagem: 140 A; Velocidade de soldagem: 500 mm/min.

Os testes confirmaram não haver problemas para abertura do arco principal quando é utilizado Argônio como gás de plasma e a mistura A50 como gás de proteção, resultando em um tempo médio necessário para abertura de 4,12 segundos. No entanto, com relação ao desgaste do eletrodo, é nítido o maior desgaste de ponta que ocorre com o maior número de acionamentos do arco piloto. Apesar disso, não ocorreu nenhuma dificuldade de acendimento do arco piloto – em todos os testes a abertura foi imediata. A Figura 18.3 mostra o eletrodo antes e após a execução da segunda sequência de cordões, com destaque para um maior desgaste de ponta em relação ao mostrado na Figura 18.2.



Figura 18.3 Eletrodo antes e depois da série de testes 45-2

18.2.2 Mistura A50 como gás de plasma e proteção

Na terceira sequência de testes (série de testes 46-1), avaliou-se o desempenho do eletrodo utilizando a mistura A50 (presença do aditivo A) tanto como gás de plasma como gás de proteção. Nessa sequência, o arco piloto voltou a ser mantido em constante funcionamento. A Tabela 18.3 mostra os resultados para esta série de testes.

Tabela 18.3: Resultados da série 46-1 (A50 como gás de plasma e proteção)

Teste	Tempo necessário para a abertura do arco principal (s)
46-1-1	5,88
46-1-2	19,59
46-1-3	4,11
46-1-4	7,4
46-1-5	4,2
46-1-6	4,59
46-1-7	4,1
46-1-8	4,06
46-1-9	4,04
46-1-10	4,17

Constantes: Gás de Proteção: mistura gasosa A50 a uma vazão de 10,6 l/min; Gás de Plasma: mistura gasosa A50 a uma vazão de 0,9 l/min; Diâmetro do eletrodo: 5 mm; Afastamento do eletrodo: 1 mm; Ângulo da ponta do eletrodo: $\approx 33^\circ$; Distância da tocha à peça: 3,5 mm; Retardo: 1,5 s; Rampa de velocidade: 2,5 s; Ângulo de ataque: 105° ; Corrente de soldagem: 140 A; Velocidade de soldagem: 500 mm/min.

Os testes mostram não haver maiores problemas para abertura do arco principal quando é utilizada a mistura A50 como gás de plasma e proteção, apesar do tempo médio necessário para abertura do arco principal ter sido maior, 6,21 segundos contra 4,07 da série de testes 45-1 (Argônio como gás de plasma e mistura A50 como proteção). Essa maior dificuldade de abertura do arco principal já era algo esperado, já que o aditivo A (presente na mistura A50) oferece maior dificuldade para ionização em relação ao Argônio. Com referência ao desgaste do eletrodo, a Figura 18.4 mostra o eletrodo antes e após a execução da sequência de cordões, com destaque para o pequeno desgaste de ponta ocorrido, comparável ao mostrado na Figura 18.2.



Figura 18.4: Eletrodo antes e depois da série de testes 46-1

Já na quarta sequência de testes (série de testes 46-2), avaliou-se o desempenho do eletrodo também utilizando a mistura A50 como gás de plasma e proteção, só que desta vez com o arco piloto sendo desligado/acionado entre a execução de cada cordão. A Tabela 18.4 mostra os resultados para esta série de testes.

Tabela 18.4: Resultados da série 46-2 (A50 como gás de plasma e proteção)

Teste	Abertura do arco piloto	Tempo para a abertura do arco principal (s)
46-2-1	Imediata	4,11
46-2-2	Imediata	4,27
46-2-3	Imediata	11,67
46-2-4	Imediata	9,63
46-2-5	Imediata	4,13
46-2-6	Imediata	4,18
46-2-7	Imediata	4,16
46-2-8	Imediata	5,47
46-2-9	Imediata	4,17
46-2-10	Imediata	4,27

Constantes: Gás de Proteção: mistura gasosa A50 a uma vazão de 10,6 l/min; Gás de Plasma: mistura gasosa A50 a uma vazão de 0,9 l/min; Diâmetro do eletrodo: 5 mm; Afastamento do eletrodo: 1 mm; Ângulo da ponta do eletrodo: $\approx 33^\circ$; Distância da tocha à peça: 3,5 mm; Retardo: 1,5 s; Rampa de velocidade: 2,5 s; Ângulo de ataque: 105° ; Corrente de soldagem: 140 A; Velocidade de soldagem: 500 mm/min.

Os testes confirmaram não haver maiores problemas para abertura do arco principal quando é utilizada a mistura A50 como gás de plasma e como gás de proteção, resultando em um tempo médio necessário para abertura de 5,60 segundos. No entanto, com relação ao desgaste do eletrodo, é nítido o maior desgaste de ponta que ocorre com o maior número de vezes em que o arco piloto é acionado. Apesar disso, mais uma vez não ocorreu nenhuma dificuldade de acendimento do arco piloto – em todos os testes a abertura foi imediata. A Figura 18.5 mostra o eletrodo antes e após a execução da quarta sequência de cordões, com destaque para um maior desgaste de ponta ocorrido, similar ao mostrado na Figura 18.3.



Figura 18.5: Eletrodo antes e depois da série de testes 46-2

Ao final dos testes fica fácil verificar, pela Figura 18.6, que realmente o único efeito que parece ocorrer, em curto prazo, com a utilização de misturas com a presença do aditivo A na função de gás de plasma, tal qual a mistura A50, é uma maior dificuldade de abertura do arco principal, que é representada pelo maior tempo necessário para ocorrer a abertura. O que realmente influencia no desgaste do eletrodo é fato de acionar o arco piloto por várias vezes.

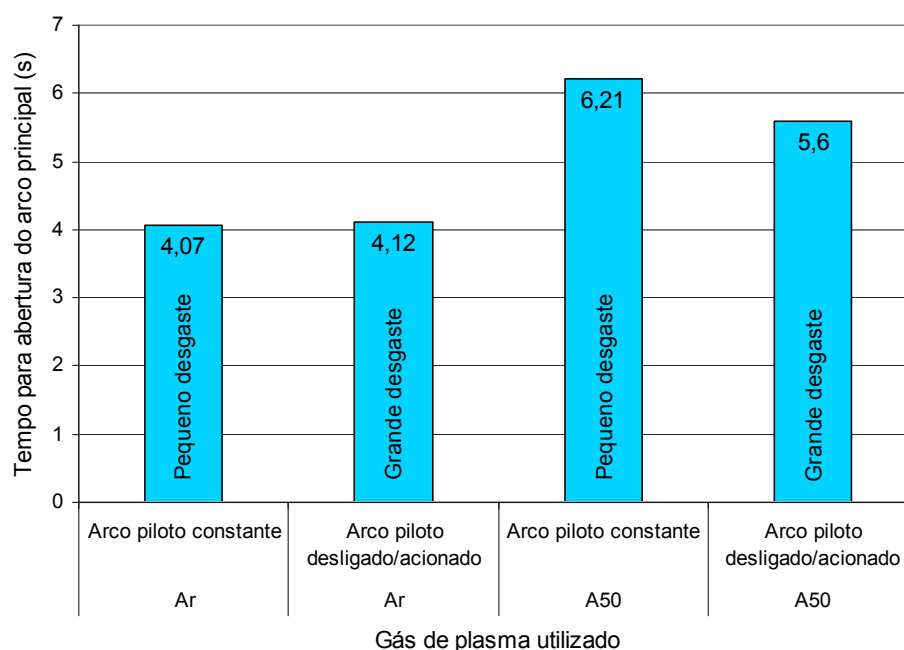


Figura 18.6: Tempo médio para abertura do arco principal com Ar ou A50 como gás de plasma

18.3 Conclusões

A partir das séries de testes realizadas neste capítulo, chegou-se às seguintes conclusões:

- A abertura do arco principal é um pouco dificultada (maior tempo necessário para abertura) utilizando a mistura A50 como gás de plasma, fato já esperado uma vez que o aditivo A (presente na mistura A50) oferece maior dificuldade para ionização em relação ao Argônio. Da mesma forma, este comportamento também é esperado para as misturas contendo o aditivo C;
- O número de acionamentos do arco piloto é o fator preponderante no desgaste de ponta do eletrodo e não o gás de plasma utilizado, pelo menos em curto prazo.

Capítulo XIX

Conclusões

Considerando as condições experimentais usadas neste trabalho, pode-se concluir como viável o uso do processo Plasma “melt-in” na soldagem de aço ao carbono através de um novo procedimento de soldagem (preparação das juntas e posicionamento da tocha) e do uso de uma mistura gasosa dedicada, o que representa para o mercado uma nova opção de soldagem de alta taxa de produção sem a necessidade do uso de material de adição (solda autógena).

Com relação à operacionalidade:

- Aplica-se aos tipos de junta mais comuns para chapas de 1 a 2 mm (em aresta, sobrepostas e de topo);
- Existe uma relação entre o tipo de junta e a velocidade de soldagem máxima com a qual se consegue cordões em conformidade para uma dada corrente - as maiores velocidades são conseguidas em juntas em aresta;
- A velocidade máxima de soldagem é limitada pelo aparecimento de irregularidades no cordão na forma de acúmulos (saliências) intermitentes de material semelhantes a um perfil de serra (“costa de dragão”);
- A presença de oxigênio (no gás de proteção e na forma de óxidos na superfície da chapa, por exemplo) favorece a instabilidade da poça fundida;
- Um ângulo de ataque empurrando, uma limpeza eficiente da junta a ser soldada, o uso de um gás adequado e o correto posicionamento e montagem das chapas a serem soldadas são condições determinantes para a eliminação da irregularidade;
- O uso de um correto procedimento de soldagem e do gás mais adequado permite um aumento de mais de 400% na velocidade de soldagem em relação ao modo operativo mais conservador;
- O fator preponderante no desgaste de ponta do eletrodo é o número de acionamentos do arco piloto e não o tipo de gás utilizado.

Com relação à ação dos aditivos adicionados ao Argônio para aumentar a velocidade de soldagem do processo:

- A utilização do aditivo A mostrou-se bastante eficiente em relação ao uso de Argônio puro - quanto maior o teor de aditivo A na mistura, maior é a velocidade de soldagem alcançada para uma mesma corrente;
- O uso do aditivo A não aumenta a susceptibilidade à formação de trincas e nem fragiliza a solda;
- A abertura do arco principal é um pouco dificultada (maior tempo necessário para abertura) com a presença do aditivo A, mas sem comprometimento maior do ponto de vista operacional;
- A utilização do aditivo C de forma isolada não se mostrou tão eficiente quanto o uso do Aditivo A, apesar de garantir cordões em conformidade;
- A utilização conjunta dos aditivos A e C mostrou ser a opção mais eficiente;
- Melhores resultados são alcançados quando os aditivos estão presentes no gás de plasma e no gás de proteção.

Finalmente, com relação à comparação com os processos TIG e MIG/MAG:

- O processo Plasma em juntas em aresta proporciona melhor aspecto visual de cordão e a mesma velocidade máxima de soldagem do processo TIG, no mesmo nível de corrente e aplicando as mesmas especificações em relação à mistura gasosa, preparação das juntas e posicionamento da tocha;
- Já para juntas de topo e sobrepostas, o processo Plasma mostrou obter maior velocidade de soldagem do que a alcançada com o processo TIG;
- Em comparação ao processo MIG/MAG, o processo Plasma em juntas em aresta possibilitou maiores velocidades de soldagem, já que não foi possível encontrar parâmetros de ajuste para o MIG/MAG que permitissem trabalhar no mesmo nível de corrente;
- Já para juntas de topo e sobrepostas e no mesmo nível de corrente, o processo Plasma alcança a mesma velocidade máxima de soldagem do MIG/MAG, mas com aspecto de cordão superior.

Capítulo XX

Propostas para trabalhos futuros

Como forma de complementar os estudos realizados neste trabalho, sugerem-se os seguintes temas:

- Verificar se a utilização de bocais de constrição com orifícios múltiplos pode melhorar ainda mais o desempenho do processo Plasma, como é afirmado na literatura (Lavigne et al., 1988 e Pinfold & Jubb, 1974);
- Verificar se o procedimento de soldagem desenvolvido neste trabalho também é eficiente em soldagens fora de posição;
- Verificar se o procedimento desenvolvido se aplica também na soldagem de outros materiais;
- Verificar se o procedimento desenvolvido para a técnica “melt-in” se aplica também à técnica “microplasma”;
- Fazer uma análise dos custos envolvidos para a utilização do novo procedimento de soldagem desenvolvido para o processo Plasma “melt-in”;
- Realizar ensaios de estampabilidade padronizados (Olsen, Ericksen e outros) para verificar a real possibilidade de utilização do novo procedimento de soldagem para a confecção de “tailored blanks”.

Capítulo XXI

Referências Bibliográficas

AGA, 19??, “Plasma Arc Welding of Carbon Steel”, Research Reports from AGA Innovation, pp. 1 - 16.

Air Liquide, 2002, “Plasma and TIG Processes: Automatic Welding Applications - Performance and High Productivity in Boiler and Pipe Work”. Disponível em: <http://www.saf-airliquide.com/en/doc_broch/brochures/auto_weld.htm>. Acesso em: 02 dez. 2004.

AWS - American Welding Society, 1991, “Gas Tungsten Arc Welding” and “Plasma Arc Welding”, In: Welding Handbook, 8th ed., vol. 2, pp. 73 – 107 and 329 - 350.

Bennett, B, 1990, “Gases for TIG and Plasma Arc Welding”, Welding & Metal Fabrication, July, pp. 335 - 336.

Bukarov, V. A. et al., 1976, “On the Force Effect of a Constricted Arc on the Welded Metal”, Welding Production, vol. 23, n. 6, pp. 4 - 6.

Craig, E., 1988, "The Plasma Arc Process - A Review", Welding Journal, February, pp. 19 - 25.

Crichton, A. B., 1975, “Selecting Shielding Gases”, Metal Progress, December, pp. 50 - 53.

Dull, R., 2001, “Advantages of Plasma Welding: Often-Overlooked PAW Offers Speed and Affordability”, Practical Welding Today. Disponível em: <http://www.thefabricator.com/Articles/Welding_Article.cfm?ID=135>. Acesso em: 08 dez. 2004.

Geipl, H. & Stenke, V., 1995, “New Developments in Gases for Shielding, Root Backing and Purging”, International Institute of Welding, IIW DOC. XII - 1394 - 95, p. 17.

Harris, I. D., 19??, “Plasma Arc Welding”, ASM Handbook, vol. 6, pp. 195 - 199.

Lavigne, D., Van Der Have, P. & Maksymowics, M., 1988, “Automatic Plasma Arc Welding”, Joining & Materials, July, pp.19 - 25.

Liebisch, H., 1978, "Microplasma: Precision and Low Energy Requirements", *Welding & Metal Fabrication*, September, pp. 445 - 450.

Messenger, C. & Cuny, F., 1982, "Reliability of Plasma Process in Welding Carbon Steels", *Fundamental and Practical Approaches to the Reliability of Welded Structures*, The Fourth International Symposium of the Japan Welding Society, Osaka, Japan, pp 91 - 96.

Miyazaki, Y. et al., 2003, "Welding Methods and Forming Characteristics of Tailored Blanks (TBs)", *Nippon Steel Technical Report*, n. 88, July, pp. 39 - 43.

Pinfold, B. E. & Jubb, J. E. M., 1973a, "Plasma Arc Welding - Part 1", *Welding and Metal Fabrication*, November, pp. 391 - 393.

Pinfold, B. E. & Jubb, J. E. M., 1973b, "Plasma Arc Welding - Part 2", *Welding and Metal Fabrication*, December, pp. 422 - 424.

Pinfold, B. E. & Jubb, J. E. M., 1974, "Plasma Arc Welding - Part 3", *Welding and Metal Fabrication*, February, pp. 65 - 67.

Richardson, I. M., 1991, "Hyperbaric Plasma Welding", Ph.D. Thesis, Cranfield Institute of Technology, Bedfordshire, England.

Richetti, A., 2003, "Análise e Modelagem Empírica do Processo de Soldagem a Plasma com 'Keyhole' em Aço Inoxidável", Tese de Doutorado, Universidade Federal de Uberlândia, Brasil, 278 p.

Rodrigues, C. E. A. L., Moraes, C.O. & Scotti, A., "Utilização do Analisador de Misturas Binárias de Gases Industriais para Aferição do Misturador de Gases do Laprosolda", *Relatório Interno LAPROSOLDA/UFU 09/2005*, Maio de 2005, 13 p.

Scotti, A., 1991, "Process Modelling to Establish Algorithms for Automated GMAW", Cranfield Institute of Technology, UK, pp. 41 a 43.

Shneerson, V. Ya. & Bykhovskii, D. G., 1980, "Special Features of the Formation of the Molten Layer on the End of Steel Plates in Plasma Welding", *Welding Production*, Vol. 27, Nº 12, pp. 21 - 24.

Shneerson, V. Ya., 1986, "Special Features of Penetration of Thin Sheets of Low Carbon Steel", Welding Production, Vol. 33, Nº 10, pp. 16 - 18.

Thermal Dynamics, 1994, "Manual Instruction Nº 0-2031: PWM 300 Welding Torch", West Lebanon, New Hampshire, USA, 24 p.

TWI - World Centre for Materials Joining Technology, 2001, "Weldability of low carbon steel sheet". Disponível em: <http://www.twi.co.uk/j32k/protected/band_3/ksgv001.html>. Acesso em: 15 fev. 2005.

TWI - World Centre for Materials Joining Technology, 2004, "Plasma Welding", Job Knowledge for Welders: Part 7. Disponível em: <http://www.twi.co.uk/j32k/protected/band_3/jk7.html>. Acesso em: 28 dez. 2004.

Welding Design and Fabrication, 1992, "Plasma-Arc Cutting and Welding", Welding Design and Fabrication, June, pp. 23 - 56.

Zeemann, A., 2003, "Energia de Soldagem", Infosolda - o site brasileiro de soldagem, Disponível em: <<http://www.infosolda.com.br/artigos/metsol05.pdf>>. Acesso em: 25 fev. 2005.

Anexo I

Resultados do ensaio de tração

ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS-USP LAPROMEC- DPTO ENG MATERIAIS, AERONÁUTICA E AUTOMOBILÍSTICA

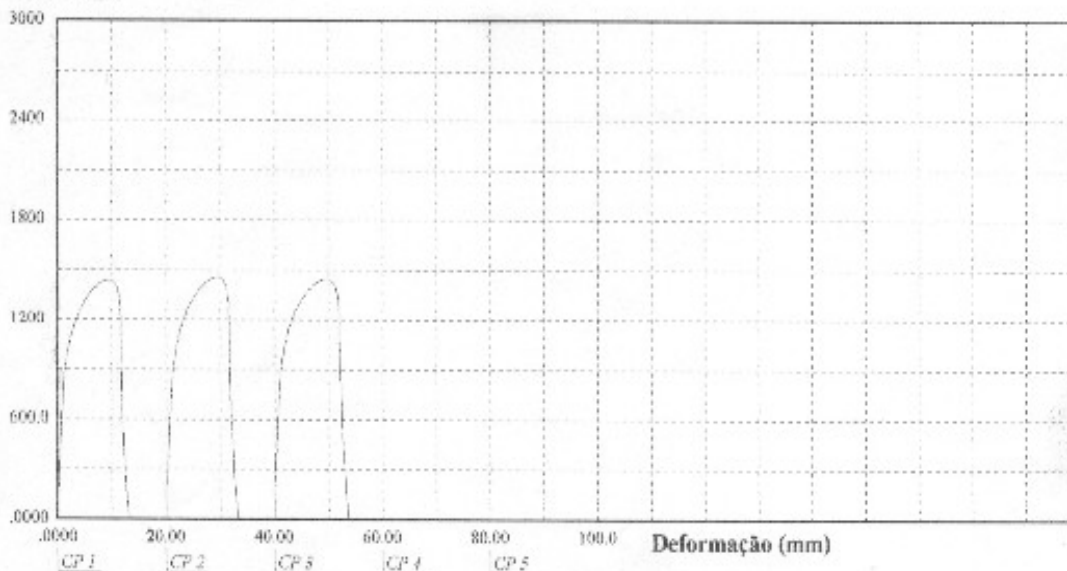
Relatório de Ensaio de Tração

Máquina: Emic DL10000 Célula: Trd 28 Extensômetro: Trd 1 Data: 16/05/03 Hora: 23:15:08 Trabalho n° 0107
Programa: MTest versão 3.00 Método de Ensaio: Chapa Fina [UFU]
Ident. Amostra: > Material: Chapa de aço SAE 102 Empresa: UNIVERSIDADE FEDERAL UBERLANDI/Fornecedor: o mesmo

Parâmetro >>	Força	Força	Tensão	Tensão
Evento >>	Força Max.	Escoam. ES1	Força Max.	Escoam. ES2
Unidade >>	(kgf)	(kgf)	(MPa)	(MPa)
CP 1 - 1	1444	246.4	380.7	64.97
CP 2 - 1	1460	254.3	385.2	67.09
CP 3 - 1	1450	270.2	382.9	71.37
Número CPs	3	3	3	3
Média	1451	256.9	382.9	67.81
Desv. Padrão	8.207	12.14	2.217	3.261
Mínimo	1444	246.4	380.7	64.97
Máximo	1460	270.2	385.2	71.37

Legenda >>> Escoam. ES1: Def.Especif. .2000 % Escoam. ES2: Def.Especif. .2000 %

Força (kgf)



Observação: Material fornecido p/ Prof. AMERICO SCOTTE a/c do Prof. SAMUEL IRATI NOVAES GOMES p/ o ensaio.

ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS-USP
LAPROME- DPTO ENG MATERIAIS, AERONÁUTICA E AUTOMOBILÍSTICA

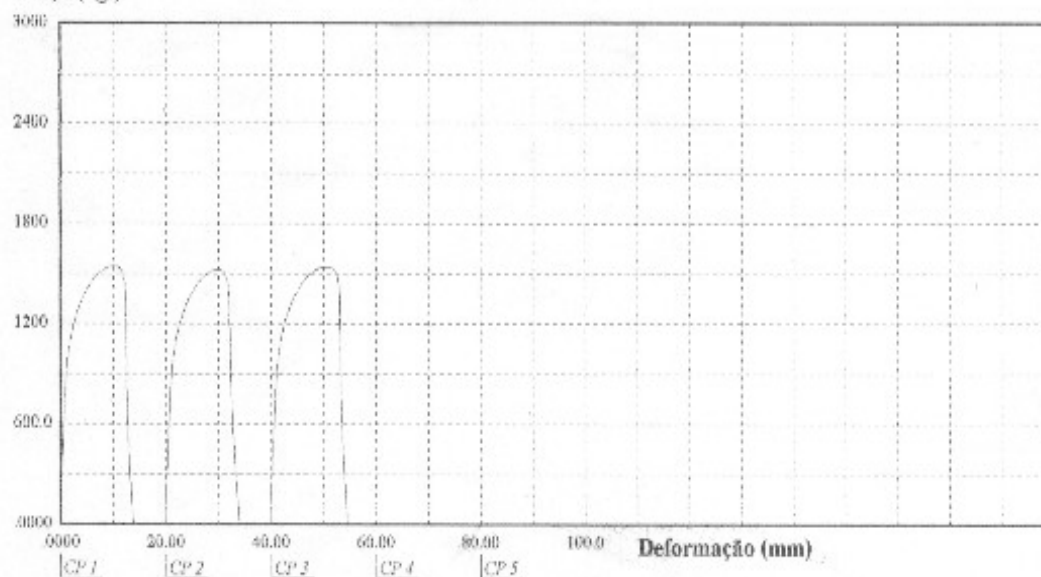
Relatório de Ensaio de Tração

Máquina: Emic DL10000 Célula: Trd 28 Extensômetro: Trd 1 Data: 16/05/03 Hora: 23:39:00 Trabalho nº **0108**
 Programa: MTest versão 3.00 Método de Ensaio: **Chapa Fina (UFU)**
 Ident. Amostra: > Material: **Chapa de aço SAE 102** Empresa: **UNIVERSIDADE FEDERAL UBERLANDI** Fornecedor: **o mesmo**

Parâmetro >>	Força	Força	Tensão	Tensão
Evento >>	Força Max.	Escoam. ES1	Força Max.	Escoam. ES2
Unidade >>	(kgf)	(kgf)	(MPa)	(MPa)
CP 1 - 2	1548	305.0	407.5	80.26
CP 2 - 2	1530	277.8	403.3	73.24
CP 3 - 2	1544	279.1	406.3	73.47
Número CPs	3	3	3	3
Média	1541	287.3	405.7	75.66
Desv. Padrão	9.650	15.31	2.178	3.993
Mínimo	1530	277.8	403.3	73.24
Máximo	1548	305.0	407.5	80.26

Legenda >>> Escoam. ES1: Def. Especif. .2000 % Escoam. ES2: Def. Especif. .2000 %

Força (kgf)



Observação: Material fornecido p/ Prof. AMÉRICO SCOTTE a/c do Prof. SAMUEL IRATI NOVAES GOMES p/ o ensaio.

03_09_03

C.P.	Material Declarado	Interessado	D ₀ mm	D _P mm	L ₀ mm	L mm	S mm ²	P _R kg	P _L kg	σ _R MPa	σ _e MPa	E %	A %	Responsável <i>EXECUTOR</i>
1-1	CHAPA	Prof.	~~278~~ 1,50	—	25,0			1444	246	381	65			João
1-2	DE	Américo	~~278~~ 1,50	—	"			1460	254	385	67			"
1-3	ACO	Scottie	~~278~~ 1,50	—	"			1450	270	383	71			"
2-1	SOLDADA	U.F.U.	~~278~~ 1,50	—	"			1548	305	408	80			"
2-2	"	"	~~278~~ 1,50	—	"			1530	278	403	73			"
2-3	"	"	~~278~~ 1,50	—	"			1544	279	406	73			"