

## Desenvolvimento de procedimento de soldagem para união de juntas em T utilizando o processo Plasma-MIG acoplado em série.

Danilo Varasquim Ribeiro, [danilo.ribeiro@labsolda.ufsc.br](mailto:danilo.ribeiro@labsolda.ufsc.br)<sup>1</sup>

Hellinton Direne Filho, [hellinton@labsolda.ufsc.br](mailto:hellinton@labsolda.ufsc.br)<sup>1</sup>

Alberto Bonamigo Viviani, [alberto@labsolda.ufsc.br](mailto:alberto@labsolda.ufsc.br)<sup>1</sup>

Régis Henrique Gonçalves e Silva, [regis.silva@labsolda.ufsc.br](mailto:regis.silva@labsolda.ufsc.br)<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Soldagem e Mecatrônica, Universidade Federal de Santa Catarina, Trindade, Florianópolis - SC, Brasil, CEP: 88040-900, C.P.: 476. Phone: +55 (48) 3721-9471

**Resumo:** Na atualidade o contínuo desenvolvimento dos processos de soldagens são necessários devido ao rápido avanço tecnológico e demandas da indústria. Como cada processo de soldagem tem suas vantagens e limitações, é crescente a utilização de processos híbridos de soldagem para otimizar resultados combinando as vantagens de cada processo de soldagem. Um novo processo que tem sido considerado e já conta com uma versão comercial é o Plasma-MIG acoplado em Série. Esse processo combina os benefícios do Plasma (alta densidade de corrente elétrica) e do MIG/MAG (taxa de deposição de material satisfatória) para maior produtividade, flexibilidade e robustez. O Plasma-MIG acoplado em série tem sido utilizado para unir chapas finas com alta velocidade de soldagem e para unir chapas grossas, sem chanfro, em apenas um passe de soldagem, resultando em menor tempo total de trabalho. Este artigo descreve os procedimentos de soldagem para união de juntas em T com 8, 10 e 12,7 mm de espessura em aço SAE 1020 utilizando o Plasma-MIG Serial Acoplado. Para tanto, foi implementado a variante MIG/MAG de alta corrente visando maximizar penetração e os parâmetros de posicionamento da tocha foram otimizados para aplicação. Com o emprego deste processo para união de juntas em T, foi alcançada elevada penetração de soldagem mesmo quando comparado com as mais modernas variantes do MIG/MAG. O processo também aumenta a velocidade de soldagem em até 35%, o que é primordial em busca do objetivo que é difundir essa tecnologia na indústria Brasileira.

**Palavras-chave:** Soldagem Híbrida, MIG/MAG Pulsado de Alta Corrente, Soldagem de Chapa Espessa, Soldagem de Elevada Penetração.

### 1. INTRODUÇÃO

Na atualidade o avanço contínuo das tecnologias de fabricação são necessários, visando tanto o aumento da qualidade nas tarefas executadas na indústria quanto o aumento da produtividade.

Quando se trata mais especificamente das tecnologias de união de metais, visualiza-se um rápido avanço das tecnologias primárias de soldagem como MIG/MAG, TIG, Eletrodo Revestido e Plasma, na forma de novas versões. Apesar dessas novas versões serem capazes de realizar as mesmas tarefas com significativa melhoria, muitas vezes, essa melhoria não é o bastante.

Para um salto maior de qualidade, flexibilidade e produtividade nos processos de soldagem, vem sendo rapidamente desenvolvidos processos híbridos de soldagem. Por meio da combinação de diferentes processos básicos, tem sido possível gerar resultados que não são apenas um somatório de resultados, mas sim, resultados com característica diferentes e muitas vezes muito superiores aos anteriores.

Um importante processo que vem ganhando importância em pesquisa e na indústria é o processo Plasma-MIG Acoplado em Série. Esse processo híbrido combina o processo Plasma e MIG/MAG acoplados em série em uma mesma tocha, e apresenta excelentes resultados em soldagens que exigem elevada penetração ou soldagem de chapas finas em alta velocidade.

Nesse trabalho será utilizado o processo híbrido de soldagem Plasma-MIG Acoplado em Série para união de juntas em filete com espessuras de 8, 10 e 12,7 mm de espessura.

O objetivo desse trabalho é mostrar a capacidade do processo Plasma-MIG em melhorar qualidade e robustez na união das juntas em filete quando comparado com as mais modernas versões do MIG/MAG, além de, realizar essas uniões em velocidades de soldagem superiores. Visando que a aplicação desta tecnologia e procedimentos de união possam ser mais facilmente absorvidos pelas mais diversas áreas da indústria nacional.

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1. Processo Híbrido de Soldagem Plasma-MIG

Quando dois processos agem com relativa simultaneidade sobre a mesma zona de trabalho, influenciando mutuamente o resultado da soldagem, o processo é referido como processo híbrido de soldagem e não apenas uma combinação de dois processos (Rayes et al, 2004).

No processo de soldagem MIG/MAG a corrente elétrica flui através do arame-eletrodo, do arco elétrico e da peça de trabalho, sendo assim, a dependência entre o aporte de energia para a peça e quantidade de material adicionado, é grande. Com o objetivo de diminuir esta dependência, nos anos 50 iniciou-se o desenvolvimento o processo híbrido Plasma-MIG, onde parte da corrente elétrica flui através do arame-eletrodo e do arco elétrico do processo MIG/MAG a outra parcela flui através do arco plasma. Ambas com ação na mesma poça de fusão.

Em 1969, Oliveira apud. Essers e Liefkens, divulgaram uma proposta onde o arame eletrodo é alimentado diretamente no centro do arco plasma. Segundo a concepção de Essers, a tocha de soldagem utilizada para o processo teria a capacidade de gerar simultaneamente um arco elétrico entre o eletrodo permanente (Plasma) e a peça de trabalho, além de simultaneamente, gerar outro arco elétrico entre o arame-eletrodo (MIG/MAG) e a peça de trabalho. Mais tarde, na década de oitenta, outra concepção foi desenvolvida, na qual o eletrodo de tungstênio em sua forma convencional é substituído por um eletrodo anular de cobre com inserto anular de tungstênio ou grafite. Na Fig.1 estão expostas as duas concepções supracitadas, respectivamente.

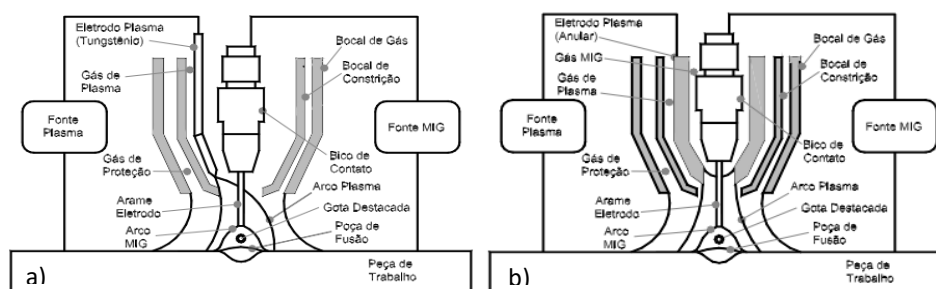


Figura 1. a) Concepção do processo Plasma-MIG (Essers, 1972), e b) Tocha Plasma-MIG com eletrodo anular de cobre (Essers, 1982).

Em 1995, foi anunciada uma nova concepção de tocha e processo Plasma-MIG, onde os arcos não são mais concêntricos, neste caso, o processo MIG é precedido pelo processo Plasma. Esta concepção foi desenvolvida pela empresa Plasma-Laser Technologies LTD. (PLT), e é baseado na combinação em série dos processos Plasma e MIG/MAG, que são acondicionados em uma única tocha sob mesmo bocal de proteção. A concepção está exposta na Fig. 2.

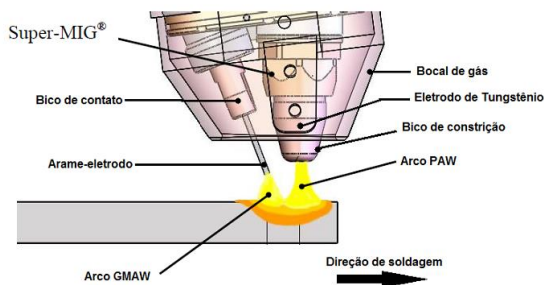


Figura 1. Ilustração do Processo Plasma-MIG Acoplado em Série.

No novo processo Plasma-MIG, ambos processos fornecem energia para a peça de trabalho. No início do processo, o arco elétrico Plasma incide sobre a peça provocando a fusão do material, o gás de plasma atinge a poça fundida em alta velocidade, provocando pela pressão de estagnação, a abertura de uma cavidade. Após a abertura da cavidade, a tocha inicia o deslocamento fazendo com que o arco elétrico do

processo MIG/MAG incida e deposite o material de adição diretamente dentro da cavidade, introduzindo mais calor e pressão na região, e, por conseguinte, aumentando a penetração na peça de trabalho.

Devido a polarização negativa do eletrodo de tungstênio e o eletrodo positivo do MIG/MAG, a força magnética resultante tende a causar rejeição entre os dois arcos, provocando instabilidade, perda da característica híbrida entre os dois processos e também a capacidade de penetração. Para impedir tal fenômeno prejudicial nesse processo, a tocha Super-MIG tem integrada em sua construção um par de bobinas e núcleos magnéticos que induzem um campo magnético favorável à aproximação dos arcos elétricos Plasma e MIG/MAG.

## 2.2. Transferência Metálica no Processo de Soldagem Plasma-MIG Acoplado em Série

Visando a preservação do equipamento e bom nível de produtividade na soldagem Plasma-MIG, a transferência metálica via curto circuito é não recomendada pelo fabricante visto que há grande possibilidade dos respingos gerados se depositarem no bico de Plasma, causando problemas no fluxo gasoso e conseqüente defeitos de soldagem, além do mais, com a transferência em curto circuito não se consegue taxas de deposição de material adequadas para os objetivos aqui propostos.

Para a realização dos ensaios em junta em filete de 8, 10 e 12,7 mm de espessura que demandavam elevada penetração foi utilizada a transferência por voo livre, com arco elétrico extremamente curto, induzindo alta pressão de arraste do arco MIG/MAG. O processo foi ajustado para se obter alta frequência na transferência das gotas, uma vez que, ao se reduzir o intervalo de tempo entre o impacto de uma gota e a próxima, haveria menos tempo para a cavidade causada pela poça da primeira se recuperar (Silva, 2015).

## 3. MATERIAIS

Para realização dos ensaios foram utilizadas as fontes de soldagem “Super-MIG” Heavy Duty no processo Plasma e Digiplus A7, IMC no processo MIG/MAG. O arame AWS ER 70S-6, com diâmetro de 1,2 mm foi utilizado para soldagem de junta em filete, em aço SAE 1020 com 8, 10 e 12,7 mm de espessura. Como gás de proteção e gás de plasma utilizou-se Ar puro e para o MIG/MAG utilizou-se a mistura composta por 2% de O<sub>2</sub> sendo o restante da mistura, Argônio. Para aquisição de dados elétricos, foi utilizado o SAP (Sistema de aquisição portátil), equipamento desenvolvido no LABSOLDA em conjunto com a fabricante IMC. Na Fig. 3 está exposta a bancada de ensaios.



Figura 2. Bancada de ensaios para soldagem de juntas em filete de 8, 10 e 12 mm de espessura.

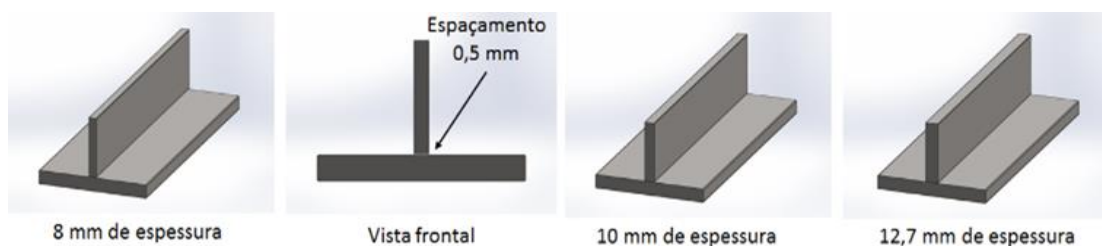


Figura 3. Corpos de prova de 8, 10 e 12,7 mm de espessura.

#### 4. MÉTODO

A geometria da tocha Super-MIG torna seu posicionamento em relação ao corpo de prova complicado. Para facilitar os ensaios e garantir boa repetição a peça de trabalho foi inclinada em relação a mesa de soldagem, de modo que apenas pequenos ajustes no posicionamento da tocha fossem realizados. Os parâmetros iniciais do processo MIG/MAG para elaborar essa pesquisa foram referenciados de trabalhos desenvolvidos no Instituto de Soldagem GSI SLV em Munique, Alemanha, por pesquisador do LABSOLDA e no Instituto de Soldagem e Mecatrônica LABSOLDA em Florianópolis, Brasil (Kindermann, 2014).

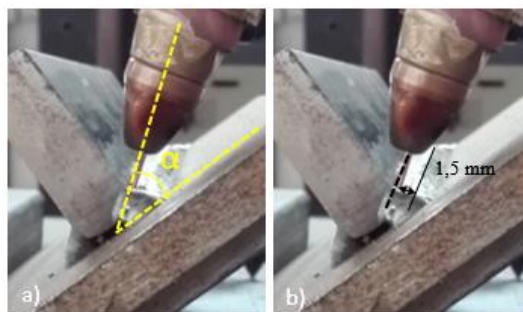
No processo Plasma os parâmetros utilizados foram corrente constante de 200 A e vazão de gás de plasma entre 3,0 l/min e 4,0 l/min. No processo MIG/MAG utilizou-se a variante pulsada de alta corrente de modo a maximizar a penetração.

Determinou-se por meio de ensaios preliminares os parâmetros elétricos otimizados para maximizar a penetração durante a soldagem, descritos na Tab. 1.

**Tabela 1. Parâmetros elétricos do processo Plasma-MIG Acoplado em Série.**

Parâmetros Plasma				Parâmetros MIG/MAG				
$I_p$ [A]	Gás de plasma [l/min]	Gás de proteção [l/min]	$I_{M-p}$ [A]	$I_{M-b}$ [A]	$t_p$ [ms]	$t_b$ [ms]	Vel. de arame [m/min]	Gás de proteção [l/min]
200	3,5	23,0	800	110	1,3	2,4	15,1	14

Utilizando a tocha Super-MIG, houve pouca flexibilidade para realizar os ensaios com diferentes ângulos de trabalho, iniciou-se os ensaios utilizando ângulo de trabalho de 40°, em seguida 30° e 33°, sendo que para ensaios com ângulo de 30° o bocal de proteção da tocha teve que ser usinado, reduzindo sua altura em 2 mm. Também foram realizados ensaios variando a posição da tocha transversalmente em relação a junta, de 0,5 a 2,0 mm. A Fig. 5 ilustra as variáveis de posicionamento trabalhadas nos ensaios.



**Figura 5. a) Ilustração do ângulo de trabalho e b) ilustração do deslocamento transversal da tocha relativo à junta.**

**Tabela 2. Parâmetros de posicionamento da tocha relativo a junta.**

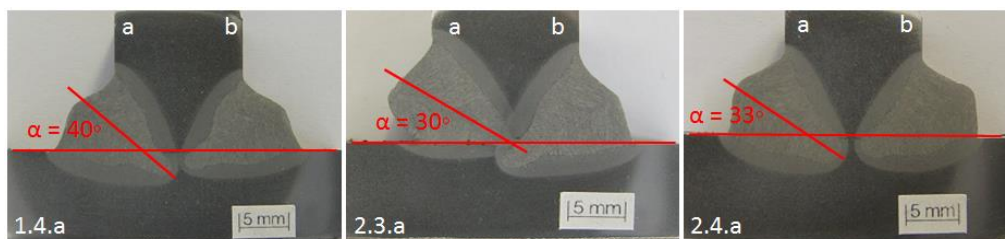
Ensaio	Vel. de soldagem [cm/min]	Angulo de trabalho $\alpha$ [°]	Altura do bico Plasma [mm]	Incidência do MIG em relação à junta
1.1.a à 1.5.b	60	40	4,0	0,5 à 2,0 mm
2.1.a à 2.3.b e 3.1.a à 3.1.b	60	30	4,0	0,5 à 2,0 mm
2.4.a à 2.4.b e 3.2.a à 4.1.b	55	33	4,0	0,5 à 2,0 mm

Após a realização dos ensaios os corpos de prova foram cortados na região central a 120 mm do início do primeiro cordão de solda, macrografias foram realizadas para medições de grandezas que tornassem possível a comparação do processo Plasma-MIG com a mesma aplicação feita através do processo MIG/MAG.

## 5. RESULTADOS

### 5.1. Junta em filete com espessura de 12,7 mm.

Como citado acima, o perfil de fusão é fortemente influenciado pelo ângulo de trabalho da tocha e pela posição de incidência do arame-eletrodo MIG/MAG em relação à junção. Na Fig. 6 é possível visualizar a variação do perfil de fusão quando o ângulo de trabalho da tocha é modificado.



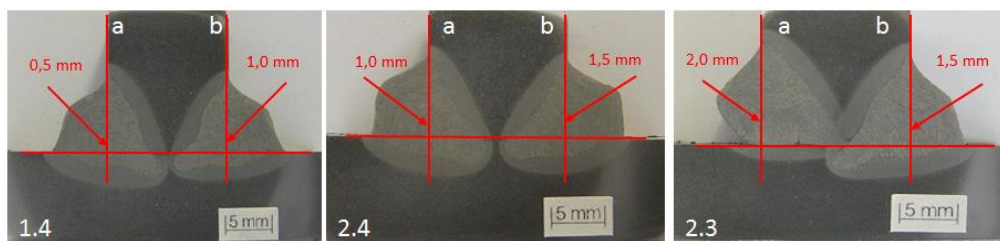
**Figura 6. Mudança do perfil de fusão nos ensaios 1.4.a, 2.3.a e 2.4.a em função da variação do ângulo de trabalho.**

A outra variável de posicionamento analisada foi a posição de incidência do arame MIG/MAG relativo à junta. Ensaios mostram quando o arame-eletrodo incide exatamente sobre a junta, a parte mais profunda do perfil de fusão se dá abaixo da região onde se deseja unir. Na Fig. 7 é realçada a situação onde o ponto mais profundo da fusão ocorre muito abaixo da junção.



**Figura 7. Ponto mais profundo da fusão ocorrendo muito abaixo da raiz do filete.**

Na Fig. 8 verifica-se a modificação do perfil de fusão e molhabilidade quando a posição de incidência do arame-eletrodo é variada de 0,5 a 2,0 mm.



**Figura 8. Ensaios 1.4, 2.3 e 2.4, respectivamente, com diferentes posições de incidência do arame MIG/MAG.**

Após a otimização tanto dos parâmetros de posicionamento da tocha quanto dos parâmetros elétricos do processo Plasma-MIG, uma série de cinco ensaios (série de ensaios B) foram realizadas sem modificação de parâmetros a fim de verificar a estabilidade do processo. Nessa série de ensaios foram medidos nos cinco



corpos de prova as seguintes grandezas, área fundida ( $A_f$ ) e a penetração na direção x ( $P$ ). Na Tab. 3 encontra-se os resultados.

**Tabela 3. Valores das grandezas medidas para comparação entre processos.**

Amostra	$A_{f,i}$ [mm <sup>2</sup> ]	$P_{i,x}$ [mm]
B 1.1.a	61,79	5,60
B 1.1.b	64,38	5,41
B 1.2.a	64,81	5,38
B 1.2.b	64,55	5,41
B 1.3.a	63,70	5,57
B 1.3.b	61,96	5,19
B 1.4.a	63,67	5,16
B 1.4.b	60,30	5,80
B 1.5.a	60,43	5,26
B 1.5.b	63,17	5,73

Na Tab. 4 e 5 os resultados das grandezas medidas de ensaios realizados com diferentes versões do processo MIG/MAG, informações retiradas de KINDERMANN (2014).

**Tabela 4. Valores das grandezas medidas em ensaios realizados em mesmo tipo de junta com processo Plasma-MIG.**

Processo MIG/MAG	$L_i$ [mm]	$P_{i,x}$ [mm]	$A_{f,i}$ [mm <sup>2</sup> ]
Lorch	5,71	3,53	40,0
Lorch	5,76	4,76	53,5
ESAB	6,12	5,71	69,1
Fronius	5,52	5,26	77,2
EWM	5,11	5,16	69,0

**Tabela 5. Diferenças das grandezas resultantes entre Plasma-MIG Acoplado em Série e MIG/MAG.**

Processo MIG/MAG	$\Delta P_{i,x}$ [mm]	$\Delta A_{i,f}$ [mm <sup>2</sup> ]
Lorch	64,3%	50,8%
Lorch	21,8%	12,7%
ESAB	1,6%	-12,7%
Fronius	10,3%	-21,9%
EWM	12,4%	-12,6%

Foram calculadas as diferenças entre o melhor resultado obtido com o Plasma-MIG, (ensaio B- 1.4.b) e os resultados obtidos com o processo MIG/MAG. Os resultados negativos indicam que a grandeza medida do processo Plasma-MIG foi inferior ao do MIG/MAG (Tab. 5).

Mesmo com extensa pesquisa sobre união de juntas em filete, não foram encontrados muitos trabalhos onde estivesse quantificado grandezas em relação ao perfil de fusão. O principal material em que se baseou para comparação entre os processos foi trabalho realizado pelo LABSOLDA no Instituto de Soldagem GSI SLV em Munique (Kindermann, 2014). Neste trabalho encontra-se uma compilação de informações sobre juntas em filete soldadas com diferentes versões e variantes do MIG/MAG, onde se destaca o resultado alcançado utilizando-se a variante Puls 555 da Fronius. Utilizando-se dessa variante, alcançou-se a fusão de 9,72 mm de 12,7 mm contra 10,96 mm alcançados utilizando o processo Plasma-MIG, sendo que a velocidade de soldagem quando utilizado a variante da Fronius foi de 40 cm/min, contra 55 cm/min quando se utiliza o processo Plasma-MIG (Fig. 9).

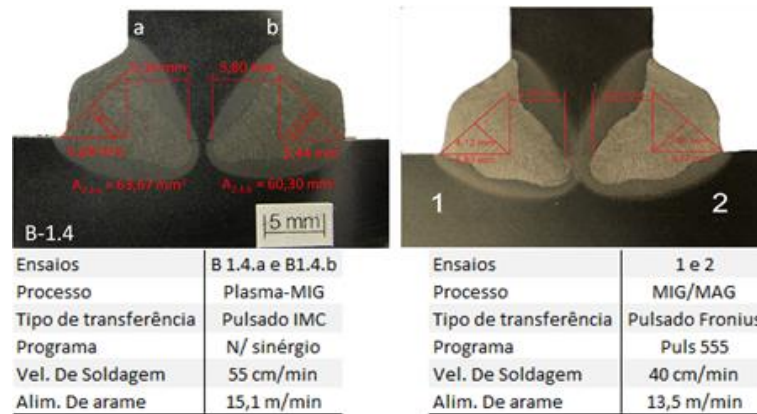


Figura 9. Comparação entre Plasma-MIG (B-1.4) e Fronius Puls 555 na união de junta em filete.

### 5.2. Junta em filete com espessura de 10 mm.

Os parâmetros utilizados nesses ensaios foram semelhantes, sendo necessário diminuir a vazão de gás plasma no segundo cordão de solda. Após a execução do primeiro cordão de solda não há mais espaço na junta para que o gás de plasma escoe adequadamente, a estagnação do gás de plasma acaba por causar maior turbulência na poça, causando uma solidificação com porosidades. Na Tab. 6 estão expostos os parâmetros ajustados para a aplicação. Na Fig. 10 verifica-se as macrografias dos corpos de prova onde foram constatados problemas de soldagem e também a macrografia após solução dos problemas.

Tabela 6. Parâmetros otimizados para soldagem de juntas em filete com 10 mm de espessura.

Ensaio	Parâmetros Plasma			Parâmetros MIG/MAG					
	$I_p$ [A]	Gás de plasma [l/min]	Gás de proteção [l/min]	$I_{M-p}$ [A]	$I_{M-b}$ [A]	$t_p$ [ms]	$t_b$ [ms]	Vel. de arame [m/min]	Gás de proteção [l/min]
C 1.5.a	200	3,5	23,0	800	110	1,3	2,4	15,0	14,0
C 1.5.b	200	3,0	23,0	800	110	1,3	2,5	14,7	14,0

Na Tab. 7 abaixo estão expostos os parâmetros de posicionamento da tocha e movimentação do processo de soldagem.

Tabela 7. Parâmetros de posicionamento e movimentação da tocha Super-MIG.

Ensaio	Vel. de soldagem [cm/min]	Ângulo de trabalho [ $\alpha^\circ$ ]	Altura do bico Plasma [mm]	Incidência do MIG em relação à junta [mm]
C 1.5.a	50	33	3,0	1,0
C 1.5.b	50	33	3,0	1,0

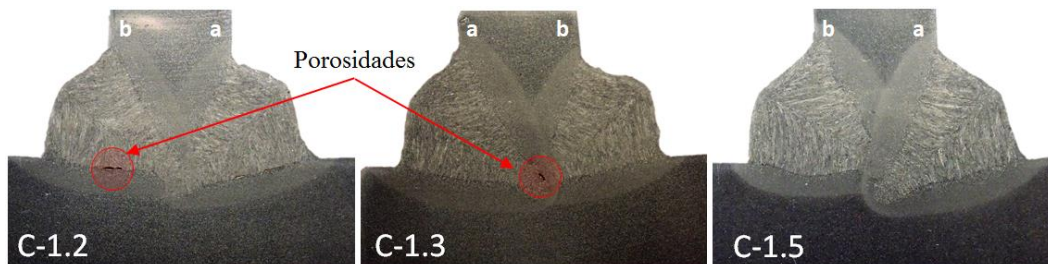


Figura 10. Macrografias das juntas em filete com 10 mm de espessura.

### 5.3. Junta em filete com espessura de 8 mm.

As juntas em filete com espessura de 8 mm foram soldadas com apenas um passe, para tanto, foi necessário fazer a montagem do corpo de prova com espaçamento de 0,5 mm na junta. Esse espaçamento foi controlado através de gabarito.

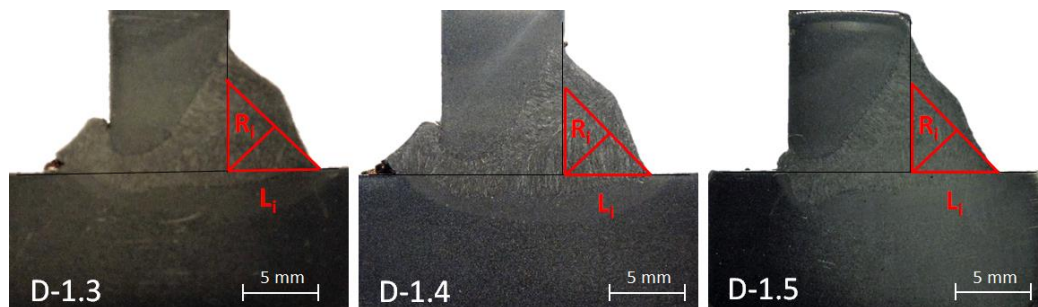
Quando a soldagem ocorre por apenas um dos lados, o espaçamento entre as juntas permite o bom escoamento dos gases do processo, como consequência, os gases do processo causam menor turbulência no material fundido tornando possível aumentar a vazão do gás de plasma e, por conseguinte a pressão do arco do processo Plasma. Para conter o escorrimento do material através da raiz, foi utilizado backing cerâmico no formato cilindro com diâmetro de 10 mm. Nas Tab. 8 e 9 verifica-se os parâmetros do processo.

**Tabela 8. Parâmetros otimizados para soldagem de juntas em filete com 8 mm de espessura.**

Parâmetros Plasma			Parâmetros MIG/MAG					
$I_p$ [A]	Gás de plasma [l/min]	Gás de proteção [l/min]	$I_{M-p}$ [A]	$I_{M-b}$ [A]	$t_p$ [ms]	$t_b$ [ms]	Vel. de arame [m/min]	Gás de proteção [l/min]
200	3,3	23,0	800	110	1,3	2,3	15,0	14

**Tabela 9. Parâmetros de posicionamento e movimentação da tocha Super-MIG.**

Vel. de soldagem [cm/min]	Ângulo de trabalho [ $\alpha^\circ$ ]	Altura do bico Plasma [mm]	Incidência do MIG em relação à junta [mm]
50	33	3,0	1,0



**Figura 11. Grandezas medidas das juntas em filete de 8 mm de espessura.**

Após macrografia da seção transversal (Fig. 11), como houve penetração total em todas as amostras, as grandezas medidas foram: reforço na direção x ( $L_i$ ); reforço resultante ( $R_i$ ); área do perfil de fusão ( $A_f$ ). Dispostas nas Tab. 10 e 11.

**Tabela 10. Medidas de reforço do cordão e área de fusão quando utilizado o processo Plasma-MIG.**

Amostra	$L_i$ [mm]	$R_i$ [mm]	$A_{f,i}$ [mm <sup>2</sup> ]
D-1.2	6.073	4.337	75.663
D-1.3	5.774	4.128	84.513
D-1.5	5.833	4.167	68.934

**Tabela 11. Medidas de reforço do cordão e área de fusão quando utilizado o processo MIG/MAG.**

Processo MIG/MAG	$L_i$ [mm]	$R_i$ [mm]	$A_{f,i}$ [mm <sup>2</sup> ]
ESAB	3,34	4,72	81,20
ESAB	3,65	5,16	80,50
Fronius	2,84	4,02	92,80
Fronius	2,74	3,88	87,60
EWM	1,50	2,12	93,20
EWM	1,96	2,78	89,60



## 6. CONCLUSÕES

### 6.1. Junta em filete de 12,7 mm de espessura.

Apesar do processo Plasma-MIG garantir alta penetração, ainda não foi possível alcançar a união com fusão completa da junta. Ensaios foram realizados para implementar a variante pulsada de alta corrente do processo MIG/MAG e garantir ótimas condições no processo híbrido. O posicionamento da tocha de soldagem em relação a pelas de trabalho também foi estudado em busca dos melhores resultados.

- Apesar da penetração ser suficiente para atingir o centro da junta, isso não ocorre devido ao eixo do perfil de fusão ser muito inclinado em relação a junta.
- A diminuição do ângulo de trabalho da tocha de 40° para 30° desloca o perfil de fusão para a direção da junta, com isso, se consegue uma maior fusão na direção do seguimento a ser unido, em contrapartida, a molhabilidade fica prejudicada. Quando o ângulo de trabalho se aproxima de 30°, porosidades são formadas com mais facilidade devido ao escorrimento do material. Os melhores resultados foram conseguidos com ângulo de trabalho de 33°.
- Quando o arame MIG/MAG incide muito acima da junta a molhabilidade fica comprometida, nessa situação, pode ocorrer falta de fusão na chapa de base da peça de trabalho. Se o arame MIG/MAG incidir exatamente sobre a junta, o perfil de fusão não ocorre na posição ideal, logo, não se obtém boa fusão na junta. Os melhores resultados ocorreram quando o arame MIG/MAG incide entre 1,0 mm e 1,5mm acima da junta.
- Para esse tipo de união, não é suficiente ter alta penetração, sendo também necessário um perfil de fusão de maior largura.
- Comparando os resultados dos ensaios realizados com o processo Plasma-MIG e resultados encontrados na literatura efetuados com processo MIG/MAG em suas variantes mais modernas, na dada aplicação, o Plasma-MIG foi capaz de maior penetração em todos os casos (ver Tabela 4) ao mesmo tempo que afeta menos termicamente a peça de trabalho, resultando em uma menor área fundida.
- Os resultados obtidos com o processo Plasma-MIG, foram obtidos com velocidade de soldagem de 55 cm/min contra 40 cm/min da maioria dos resultados encontrados realizados através do MIG/MAG, ou seja, a velocidade de soldagem é comparando com o melhor processo MIG/MAG 37,5% maior.

### 6.2. Junta em filete de 10 mm de espessura.

Nessa aplicação obteve-se com facilidade união com fusão completa da junta. Não foram encontrados resultados semelhantes na literatura para comparação.

### 6.3. Junta em filete de 8 mm de espessura.

Nessa aplicação foi obtida fusão completa da junta quando deixado um espaçamento de 0,5 mm entre as chapas.

Acredita-se que com o melhoramento nos ajustes do processo não seria necessário a utilização de backing cerâmico no lado oposto da junta a ser soldada, melhorando ainda mais a produtividade.

Os processos MIG/MAG, pelo que foi possível encontrar na literatura, não são capazes de unir com fusão completa esse tipo de junta sem que seja feito previamente um chanfro na peça, já o processo Plasma-MIG foi capaz de fusão completa sem a confecção prévia do chanfro, além de ser capaz de realizar a tarefa com velocidade de soldagem de 50 cm/min contra 35 cm/min do MIG/MAG. Nesse caso o aumento de produtividade é mais significativo, visto que além da maior velocidade de soldagem ainda é eliminado do processo de fabricação uma etapa de usinagem.

## 7. REFERÊNCIAS

- RAYES, M. El; WALZ, C.; SEPOLD, G. (Ed.). The Influence of Various Hybrid Welding Parameters on Bead Geometry. **Welding Journal**, Miami, v. -, n. -, p.147-153, 1 maio 2004. Mensal. Disponível em: <<http://files.aws.org/wj/supplement/05-2004-RAYES-s.pdf>>. Acesso em: 19 nov. 2014.
- OLIVEIRA, Moisés Alves de. **DESENVOLVIMENTOS NO PROCESSO HÍBRIDO PLASMA-MIG PARA OPERAÇÕES DE SOLDAGEM E BRASAGEM**. 2006. 153 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Mecânica, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006. Disponível em: <[http://www.labsolda.ufsc.br/site/publicacoes/teses\\_dissertacoes/tese\\_2006\\_moises.pdf](http://www.labsolda.ufsc.br/site/publicacoes/teses_dissertacoes/tese_2006_moises.pdf)>. Acesso em: 15 jan. 2017.

- SILVA, R. H. G. **Soldagem MIG/MAG em Transferência Metálica por Curto-Circuito Controlado Aplicada ao Passe de Raiz**. 2005. 113 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005. Disponível em: <<http://www.labsolda.ufsc.br/site/index.php/mn-publicacoes/teses-e-dissertacoes/dissertacoes/221-soldagem-mig-mag-em-transferencia-metalica-por-curto-circuito-controlado-aplicada-ao-passe-de-raiz>>. Acesso em: 15 jan. 2017.
- HUBER, Michael; MÜLLER, Marc; CRAMER, Heidi (Ed.). Combinação de processos de soldagem para a fabricação de equipamentos e tranques. **Corte e Conformação de Metais**, Munique, n. 119, p.50-57, mar. 2015. Mensal.
- RIBEIRO, D. V. **Instalação, Operação, Aplicações e Fundamentos do Processo de Soldagem Plasma-MIG**. 2015. 84 f. Relatório de Estágio (Graduação em Engenharia Mecânica. Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC).
- KINDERMANN, R. **Estudo comparativo de soldagem de elevada penetração MIG entre os processos Force Arc (EWM) e IMC com arame de 1,2 mm e 1,6mm de diâmetro nominal**. 2014. 11 f. Relatório de Estágio (Graduação em Engenharia de Materiais. Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC).

## 8. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.

### **Development of welding procedure for T-joint by means of Serial coupled Plasma-GMAW process.**

Danilo Varasquim Ribeiro, [danilo.ribeiro@labsolda.ufsc.br](mailto:danilo.ribeiro@labsolda.ufsc.br)<sup>1</sup>

Hellinton Direne Filho, [hellinton@labsolda.ufsc.br](mailto:hellinton@labsolda.ufsc.br)<sup>1</sup>

Alberto Bonamigo Viviani, [alberto@labsolda.ufsc.br](mailto:alberto@labsolda.ufsc.br)<sup>1</sup>

Régis Henrique Gonçalves e Silva, [regis.silva@labsolda.ufsc.br](mailto:regis.silva@labsolda.ufsc.br)<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Welding and Mechatronics Institute. Federal University of Santa Catarina, Trindade, Florianópolis - SC, Brazil, CEP: 88040-900, C.P.: 476. Phone: +55 (48) 3721-9471

**Abstract:** Nowadays the continuous improvement of welding manufacturing processes is needed due to the fast technological advancing and industry demands. As each process has its own advantages and limits, the usage of hybrid welding processes is on the rise to optimize results by combining the advantages of each welding process. A new process that has been quoted and already has a commercial version is the Serial coupled Plasma-GMAW. This process attempts to combine the benefits of Plasma (high current density) and GMAW processes (satisfactory material deposition rate), for superior productivity, flexibility and robustness. Serial coupled Plasma-GMAW process has been used to join thin sheets with increased speed and to weld thick sheets without bevel with only one weld bead, which increases the overall work speed. This paper describes the welding procedures for T-joint with 5/16", 3/8" and 1/2" thick SAE 1020 steel sheet using a Serial coupled Plasma-GMAW. A high-current pulsed GMAW process has been implemented aiming to maximize penetration and torch's positioning parameters were improved. With the employment of Serial coupled Plasma-GMAW process for T-joint, greater penetration became possible compared to the most advanced GMAW process variants. The process also increases welding speed up to 35%, which is very appropriate while the strongest objective is to apply this technology to Brazilian industries.

**Keywords:** Hybrid welding, High current pulsed MIG/MAG, Thick steel sheets welding, High penetration welding.