

AVALIAÇÃO DA TÉCNICA PUXANDO/EMPURRANDO SOBRE A MORFOLOGIA DOS CORDÕES DE SOLDA PRODUZIDOS PELO PROCESSO PTA-P

Kamila Borba Silva
Tiago Vieira da Cunha
Carlos Maurício Sacchelli

Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico de Joinville, SC, Brasil
kaamila.borba@gmail.com, t.cunha@ufsc.br, carlos.sacchelli@gmail.com

Resumo: A soldagem de revestimento tem sido amplamente empregada na indústria na manutenção e fabricação de peças sujeitas a condições de operação severas. Dentre os diferentes processos de soldagem comumente aplicados para esta finalidade, o processo Plasma de Arco Transferido com Alimentação de material na forma de pó (PTA-P) tem apresentado nos últimos anos notório destaque, devido, sobretudo, a sua capacidade de produzir depósitos com baixos índices de diluição, associado a bom acabamento superficial. Em aplicações de revestimento, isto é de fundamental importância tendo em vista que a qualidade dos depósitos está intimamente relacionada à geometria e diluição do revestimento produzido, sendo fundamental o controle sobre o processo e seus parâmetros de soldagem para garantir as características desejáveis ao cordão de solda realizado. No contexto do processo de soldagem MIG/MAG (Metal Inert Gas/Metal Active Gas) o sentido de avanço da tocha de soldagem puxando e empurrando, assim como o ângulo do posicionamento da tocha em relação ao substrato, ou ângulo de ataque, possuem grande influência nas características morfológicas do cordão de solda resultante. No entanto, são escassas na literatura informações a respeito dos efeitos oriundos destas técnicas quando considerada a soldagem PTA-P. Diante disso, o presente trabalho tem por objetivo investigar os efeitos produzidos pelo ângulo do posicionamento (ângulo de ataque) e das técnicas do sentido de avanço (puxando e empurrando) da tocha de soldagem sobre a morfologia dos cordões de solda produzidos pelo processo de soldagem PTA-P. Para tanto, foram realizados ensaios de soldagem, com cordões de solda lineares bead-on-plate, em corpos de prova planos de aço carbono A36, empregando como material de adição a liga inconel 625. Como resultado, foi verificado que o ângulo de ataque da tocha de soldagem, assim como o seu sentido de avanço, possui influência significativa na geometria do cordão. E, por meio destes resultados, espera-se contribuir para um melhor entendimento do processo de soldagem PTA-P, visando conferir maior robustez ao processo ao viabilizar sua aplicação no revestimento metálico de superfícies.

Palavras-chave: PTA-P; Revestimento; Morfologia; Ângulo de ataque; Sentido de Avanço da Tocha

1. INTRODUÇÃO

Nos mais diversos setores da indústria, peças e ferramentas operam sob condições adversas que levam a sua degradação por mecanismos de desgaste e fenômenos químicos, afetando a qualidade do componente fabricado em operação. Portanto, torna-se necessária a busca por soluções que visem melhorar o desempenho e vida útil dessas peças com o objetivo de reduzir custos e o tempo de parada da ferramenta para sua manutenção. Considerando esse cenário, uma solução é o revestimento da superfície que é sujeita ao desgaste, através da soldagem de revestimento com um material que seja mais resistente. Desta forma, as ferramentas podem ser fabricadas com ligas metálicas de menor custo e, então, ser realizada a deposição de uma liga metálica mais nobre com alto desempenho e de maior custo, presente apenas em locais em que suas propriedades de maior resistência são, de fato, necessárias. Dentre os diversos processos de soldagem empregados para o revestimento superficial, o Plasma de Arco Transferido com Alimentação na forma de Pó (PTA-P) tem apresentado destaque na indústria. Isto se deve, sobretudo, a sua capacidade de realizar depósitos com um bom acabamento superficial, alta taxa de deposição e baixo valor de diluição. No PTA-P, a diluição é, geralmente, menor que 10%, bem inferior aos valores de 20 a 30% típicos dos processos de soldagem MIG/MAG (Metal Inert Gas/Metal Active Gas) ou TIG (Tungsten Inert Gas) (Silva, 2010).

Em uma soldagem de revestimento, em geral, busca-se maior largura, menor penetração, alto reforço, além de um baixo percentual de diluição. Portanto, é imprescindível o controle dos parâmetros e técnicas de soldagem a fim de garantir tais características no cordão de solda. Neste contexto, é de amplo conhecimento que no processo MIG/MAG as técnicas do sentido de avanço da tocha de soldagem (puxando e empurrando) e também o ângulo do posicionamento da tocha em relação ao substrato (ou ângulo de ataque) influenciam na morfologia do cordão de solda resultante. Scotti e Ponomarev (2008) afirmam que, de maneira geral, no processo MIG/MAG em uma soldagem com o arco puxando a poça de fusão tende a aumentar a penetração do cordão de solda, entretanto numa soldagem empurrando espera-se obter uma maior

largura com menor penetração do cordão, visto que com essa técnica ocorre o pré-aquecimento do substrato na frente da poça de fusão promovendo o aumento da sua molhabilidade.

Pereira *et al.* (2013) em seu estudo determinaram uma condição de soldagem favorável no processo MIG/MAG para o reparo em operação de tubulações ASTM A106 Grau B e API 5L X70 de pequena espessura (3,0 e 3,2 mm). Os autores avaliaram a penetração dos cordões de solda resultantes em função do ângulo de ataque da tocha, sem especificar os ângulos utilizados, assim como as técnicas puxando e empurrando. Pereira *et al.* (2013) analisaram o efeito da corrente de soldagem pulsada (os autores não especificaram os parâmetros de controle da corrente pulsada) com corrente média de 40 a 120 A, com incremento a cada 20 A, nos valores de penetração para uma velocidade de soldagem de 25 cm/min. Seus resultados mostram que com a técnica de avanço da tocha empurrando o valor de penetração é menor e, segundo os autores isto ocorre devido ao fato da maior parte da energia do arco voltaico incidir sobre as gotas do metal de adição, reduzindo assim a penetração do cordão de solda, sendo esta a condição ideal para a soldagem de reparo de dutos em operação com menor espessura. Entretanto, com a técnica da tocha de soldagem puxando, a energia do arco incide em maior proporção no substrato promovendo uma maior penetração.

As técnicas do sentido de avanço e ângulo de ataque da tocha de soldagem também foram avaliadas por Hirata *et al.* (2014) no processo MIG/MAG CMT com o intuito de avaliar o efeito térmico da corrente de soldagem no rendimento bruto de fusão ao realizar a simples deposição sobre chapa. O material de adição usado pelos autores foi o AWS ER70S-6 com 1,2 mm de diâmetro, com a variação da corrente média entre 89 e 233 A, além dos ângulos de ataque da tocha de 0° (perpendicular), -15° (puxando) e +15° (empurrando) em relação ao eixo perpendicular do substrato. Hirata *et al.* (2014) afirmam que ocorre um aumento linear da área da seção transversal e do valor de penetração do cordão de solda nos casos analisados com o aumento da intensidade da corrente de soldagem. Ademais, um maior valor de penetração ocorre na técnica puxando, entretanto os ângulos de ataque analisados não apresentaram influência na área da seção transversal e rendimento bruto dos cordões de solda analisados. Para os autores, a maior penetração obtida com a técnica puxando é resultante de um efeito mecânico que se torna mais intenso com o aumento da corrente de soldagem, intensificando o jato de plasma, ao retirar a poça de fusão entre o substrato e o arco voltaico, logo o calor do arco seria transferido mais efetivamente para o substrato. Já na situação da técnica empurrando, a poça de fusão estaria entre o arco e o substrato o que torna mais difícil a transferência de calor para o metal não fundido.

Empregando o mesmo material de adição de aço carbono e ângulos de ataque da tocha que Hirata *et al.* (2014), Resende e Scotti (2015) avaliaram a influência do ângulo de inclinação da tocha sobre a geometria do cordão de solda usando o processo de "Plasma-MIG" com arcos concêntricos ao realizarem soldagens de simples deposição sobre chapa ("bead-on-plate"). Os autores empregaram 250 A de corrente no eletrodo consumível e quatro níveis (0, 40, 80 e 120 A) no arco plasma, e obtiveram resultados que demonstram a influência do ângulo de ataque da tocha na morfologia do cordão de solda. Na técnica empurrando, os autores produziram cordões de solda com maior largura, diferentemente do que ocorre com o ângulo de ataque puxando, considerando as mesmas condições de energia do arco voltaico. Segundo os autores, essa diferença na largura ocorre devido ao pré-aquecimento que o arco voltaico promove à frente da poça de fusão na técnica empurrando, aumentando a molhabilidade do cordão de solda e, portanto, promovendo o aumento da largura do cordão. Já para o reforço apresentou um comportamento contrário ao da largura, visto que os cordões de solda possuem o mesmo volume. Ademais, os autores observaram o aumento da penetração dos cordões de solda ao comparar os resultados da técnica puxando com a empurrando do sentido de avanço da tocha de soldagem. De acordo com os autores esse aumento é resultado da ação do jato de plasma ao empurrar a poça de fusão para trás no modo puxando, de modo que o aquecimento do substrato pelo acoplamento do arco voltaico com o material de base seja mais eficiente, agindo mais no fundo da poça de fusão. Além disso, os autores justificam esse aumento da penetração pela ação das gotas do material de adição durante a transferência metálica agirem diretamente na região mais aquecida do substrato (fundo da poça de fusão).

Também, encontram-se trabalhos com o emprego da técnica de ângulo de ataque da tocha de soldagem também no processo TIG. Neste contexto, Sudhakaran *et al.* (2011) avaliaram o efeito de alguns parâmetros de soldagem como o ângulo de ataque no valor de penetração do cordão de solda utilizando chapas de aço inoxidável AISI 202 para determinar um modelo de regressão e estabelecer a relação de interação entre os parâmetros, para isso os autores utilizaram como planejamento experimental um delineamento composto central rotacional (DCCR) com quatro fatores e cinco níveis cada. Para os cinco níveis de ângulos em relação ao substrato avaliados (50, 60, 70, 80 e 90°), entretanto, os autores não especificaram o sentido de avanço da tocha de soldagem empregado em seus estudos. Sudhakaran *et al.* (2011) verificaram que a penetração é superior quando utilizados maiores ângulos de ataque da tocha, isso devido ao fato de ocorrer um maior pré-aquecimento do substrato já que este torna-se mais exposto ao arco voltaico, diferentemente do que se encontra para o processo MIG/MAG, visto que o valor de penetração do cordão de solda diminui com o aumento do ângulo de ataque da tocha. Em outro estudo, Silwal *et al.* (2019) avaliaram o efeito do ângulo de ataque da tocha em uma soldagem de revestimento TIG *Hot-wire* de um arame de inconel 625 sobre chapas de aço inoxidável AISI 347. Com uma corrente de aquecimento do arame de 80 A, os autores afirmam que para correntes de soldagem mais altas (80, 90, 100 e 110 A) os cordões de solda não apresentam descontinuidades com a variação do ângulo de ataque da tocha em relação ao substrato (45, 65, 80 e 90°). Entretanto, para corrente de soldagem mais baixas (60 A), os cordões de solda para todos os ângulos de ataque analisados apresentaram descontinuidades e problemas na alimentação do metal de adição. Os mesmos problemas foram observados para a corrente de soldagem de 70 A e ângulos de 65 e 80°. Portanto, Silwal *et al.* (2019)

concluíram que o ângulo de ataque da tocha possui influência para a formação de um cordão sem descontinuidades e com uma alimentação uniforme de material ao longo do processo.

Embora existam diversas informações disponíveis na literatura no âmbito dos processos MIG/MAG, TIG e, inclusive híbridos como o Plasma-MIG, o efeito das técnicas de soldagem de ângulo de ataque e sentido de avanço da tocha empregadas no contexto da soldagem PTA-P não foram encontrados na literatura, e tendo como referência os resultados obtidos com o emprego dessas técnicas em outros processos de soldagem acredita-se que elas possuem grande influência nas características morfológicas dos cordões de solda. Logo, o presente trabalho tem por objetivo investigar os efeitos produzidos pelo ângulo do posicionamento (ângulo de ataque) e das técnicas do sentido de avanço (puxando e empurrando) da tocha de soldagem sobre a morfologia dos cordões de solda produzidos pelo processo de soldagem PTA-P.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Para realização dos ensaios de soldagem foi estruturada uma bancada de ensaios, atendendo as necessidades específicas para a aplicação do processo PTA-P no que tange a realização do estudo proposto. A bancada de ensaios empregada é composta por uma fonte de soldagem multiprocesso DigiPLUS A7, na qual foi conectada uma tocha PTA-P com injeção externa de pó. Devido ao mecanismo de constrição do arco por um bocal de constrição que é inerente ao processo PTA-P existe a necessidade de uma unidade de refrigeração conectada a tocha para evitar a sua degradação. A tocha de soldagem foi acoplada por um punho de fixação num robô de soldagem modelo KR 10 R1420, de seis graus de liberdade para o deslocamento da mesma durante a soldagem. Ademais, a bancada de ensaios é composta, por um dispositivo de fixação dos corpos de prova, um alimentador de pó (modelo ADP VR-F 21) e dois cilindros de gases com os seus respectivos reguladores de vazão, para alimentar os três circuitos de gases característicos do processo: gás de plasma, gás de arraste ou de transporte e gás de proteção. Durante a realização dos ensaios foi utilizado o sistema de aquisição SAP V4, conectado a fonte de soldagem com o objetivo de registrar os dados de tensão e corrente da fonte de soldagem. A bancada com todos os seus elementos pode ser vista na Figura 1.

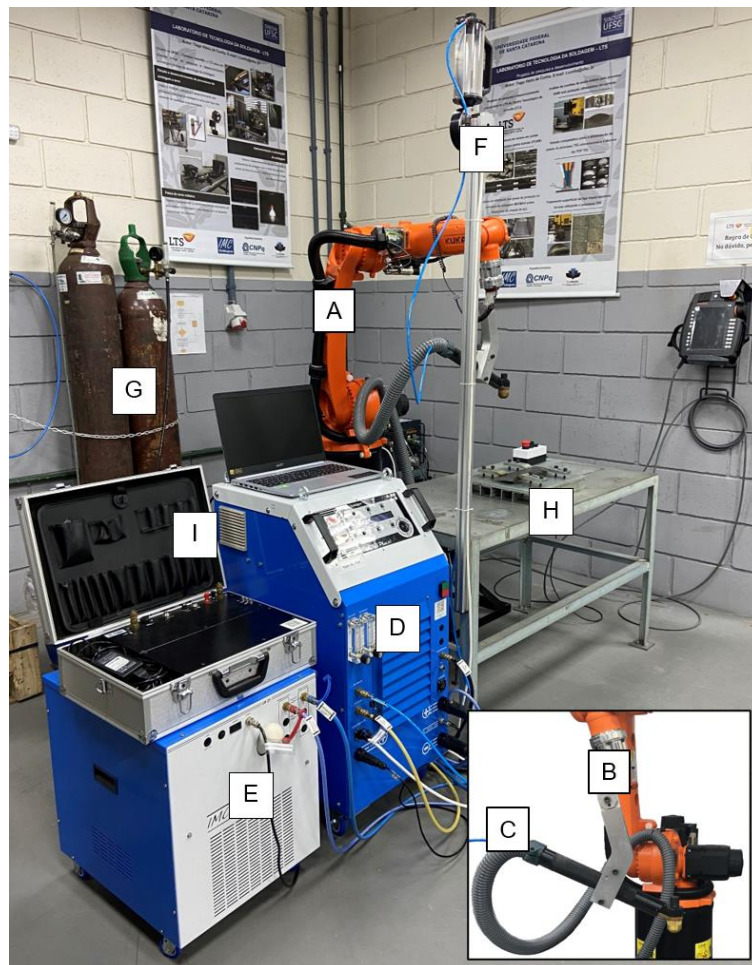


Figura 1. Bancada de ensaios composta por (A) robô de soldagem, (B) punho de fixação, (C) tocha de soldagem, (D) fonte de soldagem, (E) unidade de refrigeração, (F) alimentador de pó, (G) cilindros de gás e (H) dispositivo de fixação dos corpos de prova (I) sistema de aquisição SAP

De posse da bancada de ensaios, foram determinadas as condições a serem empregadas de modo a caracterizar os efeitos produzidos pelo ângulo de ataque e das técnicas do sentido de avanço (puxando e empurrando) da tocha de soldagem sobre a morfologia dos cordões de solda produzidos pelo processo de soldagem PTA-P. Os parâmetros apresentados na Tabela 1 foram mantidos fixos. Todos os ensaios de soldagem, no qual se produziu cordões de solda lineares bead-on-plate, foram realizados com a liga Inconel 625 (faixa granulométrica 53-150 μm) como material de adição e como substrato o aço carbono A36 com dimensões de 250mm x 75mm x 9,53mm.

| Tabela 1 - Parâmetros fixos utilizados nos ensaios | |
|--|---------|
| Parâmetros de Soldagem | |
| Corrente de soldagem [A] | 120 |
| Velocidade de soldagem [cm/min] | 10 |
| Taxa de alimentação de pó [kg/h] | 1,0 |
| Distância bico-peça (DBP) [mm] | 10 |
| Recuo do eletrodo [mm] | 2,2 |
| Gás de proteção, de arraste e de plasma | Argônio |
| Vazão do gás de proteção [l/min] | 12 |
| Vazão do gás de plasma [l/min] | 2 |
| Vazão do gás de arraste [l/min] | 2 |

Para determinar quais ângulos de ataque (α) seriam empregados durante os ensaios, primeiramente foram realizados ensaios preliminares para definir a condição operacional limite considerando a bancada de ensaios utilizada. Portanto, considerando a máxima extensão da mangueira de alimentação de pó conectada a tocha de soldagem, assim como a mínima distância entre a camada de material depositado e o bocal do gás de proteção na técnica de soldagem empurrando (condição mais crítica) sem que ocorressem problemas durante a realização dos ensaios, foi estabelecido que o α limite seria 20°. Com base nos ensaios preliminares, determinou-se que nos ensaios de soldagem seriam utilizadas as técnicas de avanço, puxando e empurrando, para os ângulos de ataque da tocha de soldagem em relação ao eixo perpendicular do substrato de: 0° (perpendicular), 5°, 10° e 20°. Na Figura 2 pode ser observada as técnicas de avanço puxando e empurrando.

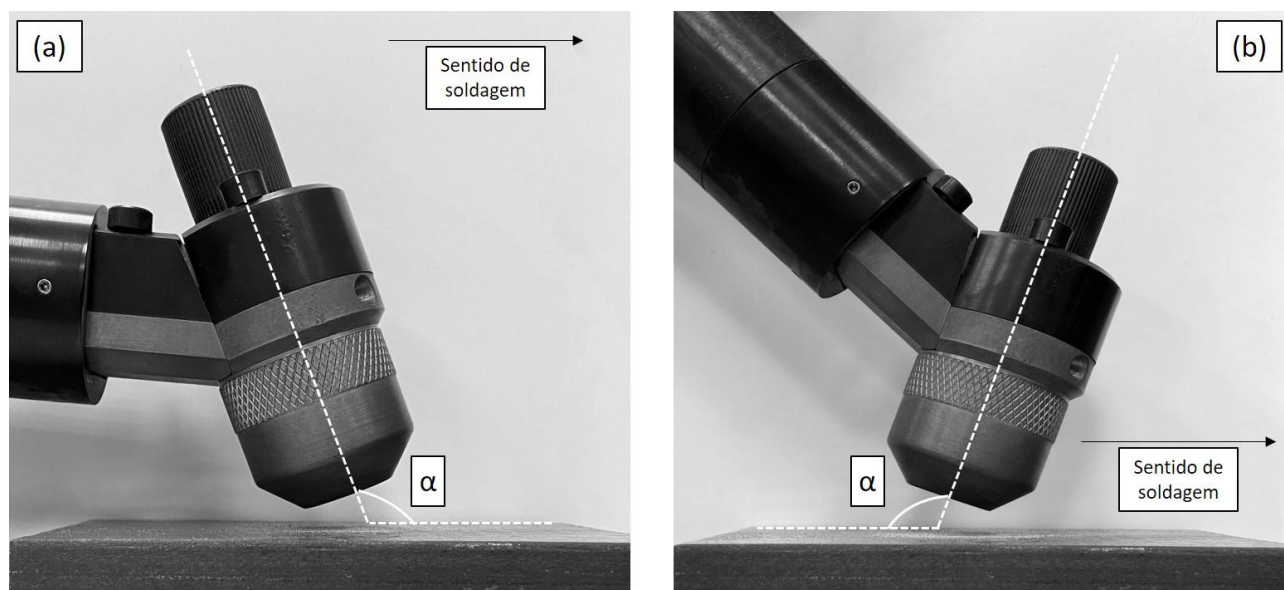


Figura 2. Técnica de avanço da tocha de soldagem PTA-P (a) empurrando e (b) puxando

Com o intuito de analisar os aspectos morfológicos dos cordões de solda obtidos, foi realizado o corte transversal dos corpos de prova para posterior análise macrográfica. Foram, então, retiradas três amostras de cada cordão de solda, a 70, 90 e 110 mm do início do cordão para realização das macrografias, de modo a melhorar a confiabilidade dos resultados. As amostras dos cordões de solda foram preparadas metalograficamente utilizando lixas com granulometria de 80, 180,

240, 320, 400 e 600. Em seguida, as amostras foram atacadas com Nital 4%. Com o auxílio de um estereoscópio, foram realizadas as macrografias dos cordões de solda com o intuito de observar a morfologia dos mesmos. Assim, foi possível medir largura, penetração, reforço, área depositada e área penetrada, e com estas últimas calcular a diluição, com o objetivo de avaliar uma condição favorável para aplicação em revestimento. As dimensões finais de cada cordão de solda apresentadas correspondem a média dos três valores medidos obtidos das amostras retiradas.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com o objetivo de observar a morfologia dos cordões de solda obtidos nos ensaios, foram retiradas amostras dos corpos de prova de referência (com ângulo de posicionamento da tocha de 0°) e os cordões realizados com diferentes ângulos de ataque e sentidos de avanço da tocha de soldagem PTA-P avaliados. As macrografias dos cordões de solda são apresentadas na Figura 3.

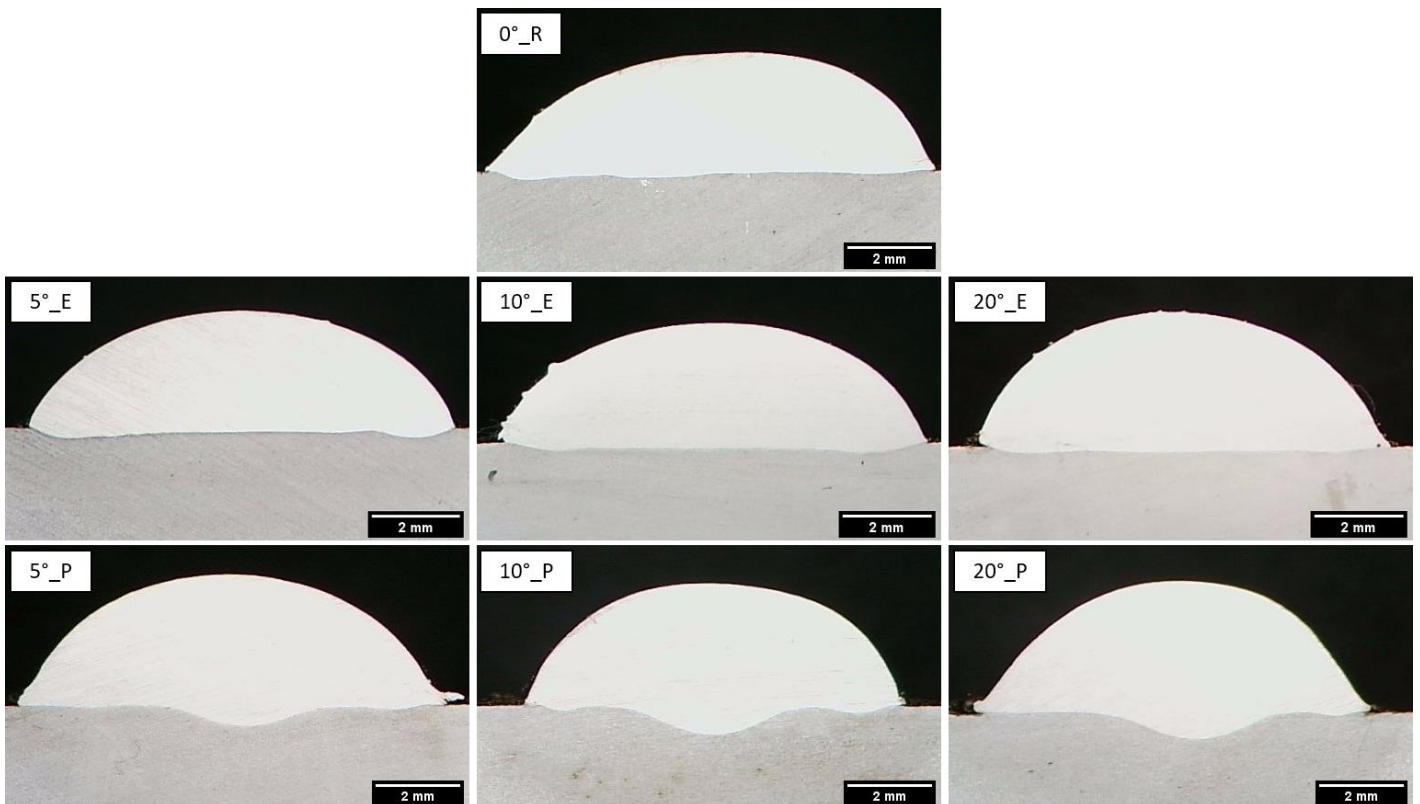


Figura 3. Macrografias dos cordões de solda da amostra de referência (0°_R) e com o emprego dos ângulos de ataque (5°, 10° e 20°) no sentido de avanço empurrando (E) e puxando (P)

Como pode ser observado na Figura 3, os cordões de solda produzidos com a técnica de avanço da tocha de soldagem puxando apresentaram perfil de penetração dos cordões do tipo *finger shape*, sendo que este formato foi intensificado com o aumento do ângulo de ataque. Scotti e Ponomarev (2008) afirmam que este formato *finger* é típico do caso da soldagem MIG/MAG com proteção de argônio. Este formato *finger* está associado com a concentração do calor no centro da poça de fusão, impactando no valor da penetração do cordão de solda. O mesmo formato *finger shape* foi obtido por Resende e Scotti (2015), Hirata *et al.* (2014) e Pereira *et al.* (2013), em seus respectivos estudos, para diversos ângulos de ataque da tocha em relação ao substrato e aplicação da técnica puxando/empurrando. Enquanto que, no presente trabalho, um perfil de penetração mais uniforme foi obtido para a amostra de referência e nas condições para a tocha de soldagem empurrando, sendo este um perfil mais adequado para aplicações de revestimento. Em posse das macrografias realizou-se as medidas lineares e de área dos cordões obtidos, como pode ser observado na Figura 4.

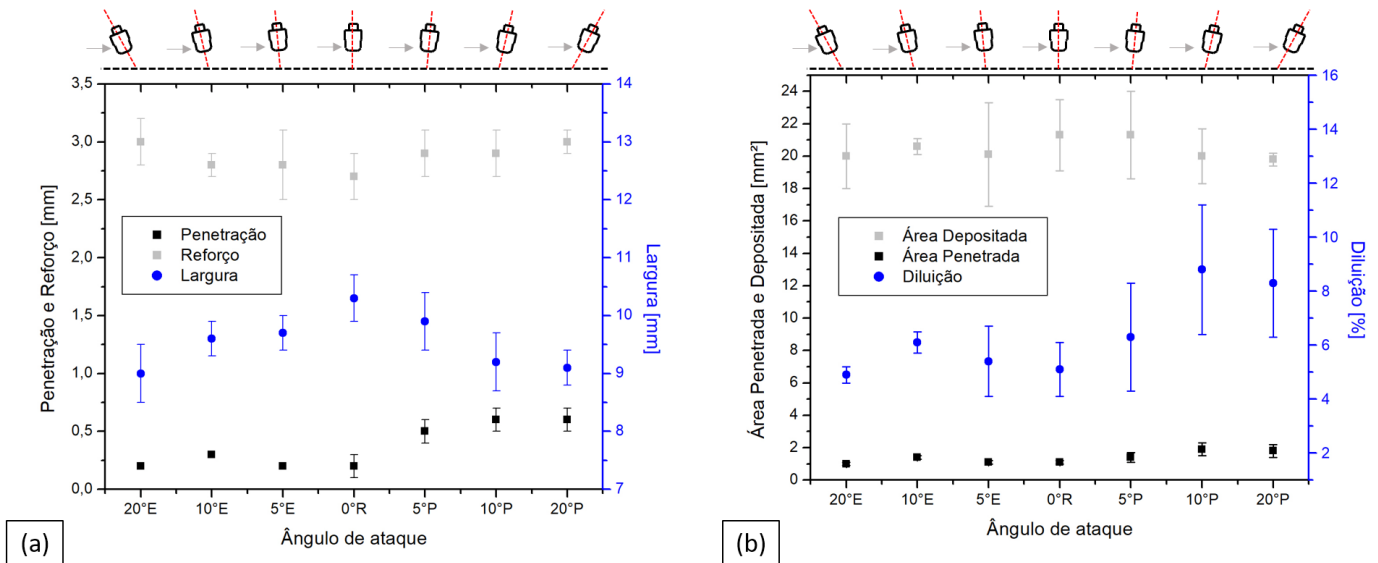


Figura 4. Medidas de (a) penetração, reforço e largura e (b) área penetrada, área fundida e diluição dos cordões de solda em função do ângulo de ataque da tocha de soldagem PTA-P

Conforme pode ser observado na Figura 4, é verificada uma tendência de alteração das características morfológicas dos cordões de acordo com o α utilizado. Quando a tocha de soldagem PTA-P é deslocada no sentido de puxar a poça de fusão, observa-se um aumento nos valores de penetração e área penetrada, ao contrário da redução dos valores de largura dos cordões de solda. Já na condição em que a tocha empurra a poça, o impacto dos ângulos α utilizados não foi tão significativo nos valores de penetração e área penetrada. Porém, verifica-se que houve a redução da largura, com o aumento do ângulo de ataque utilizado. Já em relação ao reforço dos depósitos obtidos não se obteve uma diferença significativa para os diferentes valores de α empregados para as técnicas empurrando e puxando da tocha de soldagem.

Vale ressaltar que os resultados apresentados para os casos apresentados de valores de α utilizado e do sentido de avanço da tocha de soldagem estão de acordo com a literatura, apesar dos estudos apresentados serem aplicados nos processos de soldagem MIG/MAG e TIG. Visto que, para um mesmo ângulo α de 20°, no presente estudo obteve-se uma redução de 1% na largura do cordão, enquanto que um aumento de 304% no valor da penetração ao alterar o sentido da tocha de soldagem de empurrando para puxando considerando a mesma energia do arco voltaico. Este aumento da penetração quando a tocha “puxa” a poça de fusão, pode ser justificado pela ação do jato de plasma de empurrar a poça de fusão para trás, facilitando o acoplamento arco voltaico com o substrato no fundo da poça, como observado por Resende e Scotti (2015) em seu estudo. O que permite que a energia do arco voltaico incida em maior proporção no substrato promovendo uma maior penetração (Pereira *et al.*, 2013). Ademais, verifica-se que inevitavelmente o valor de penetração impacta no valor de diluição dos cordões. Uma vez que, ocorre um aumento de 70% na diluição do cordão quando a tocha de soldagem puxa a poça de fusão para a condição de α igual a 10°. Vale ressaltar que este comportamento de maior valor de diluição na condição puxando foi observado também para os ângulos de ataque de 5° e 20°.

Conforme visto, o ângulo α e o sentido de deslocamento da tocha apresentaram grande influência na geometria do cordão de solda. No que tange questões operacionais, nenhuma condição analisada apresentou dificuldades para obtenção dos cordões de solda considerando as técnicas aplicadas. Além disso, na Figura 5 é possível observar o aspecto superficial dos cordões de solda produzidos nas condições estudadas.

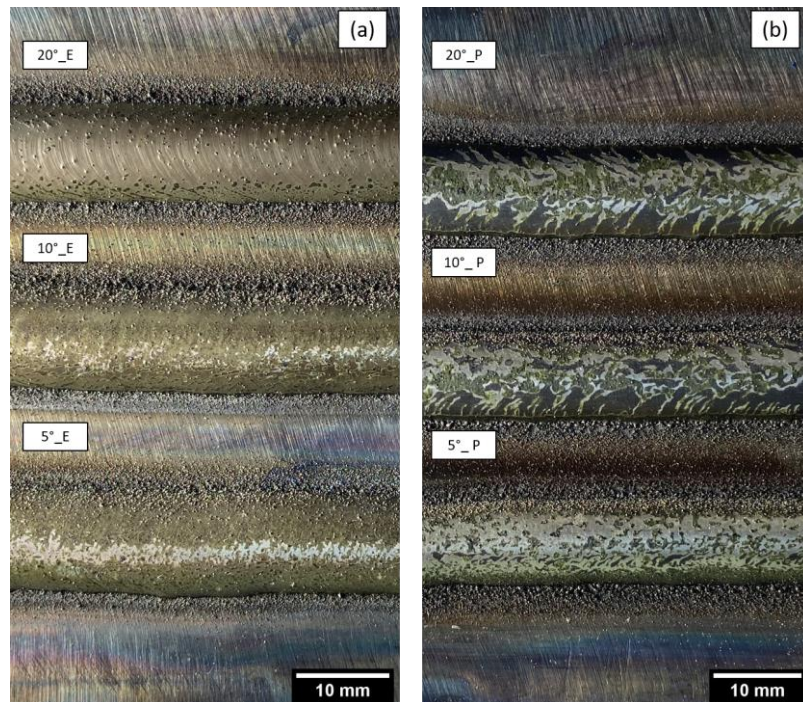


Figura 5. Aspecto superficial dos cordões de solda obtidos sob diferentes ângulos de ataque no sentido de avanço (a) empurrando e (b) puxando

É possível observar na Figura 5 que houve a formação de uma “carepa” nas superfícies dos cordões de solda, em que para a condição empurrando a tocha de soldagem percebe-se um aspecto fosco da superfície dos cordões, sendo esse aspecto mais intenso com o aumento do ângulo de ataque aplicado. Já para a condição da tocha puxando, constata-se a presença de uma “carepa” de aspecto esverdeado na superfície desses cordões. Além disso, foi possível observar que, para todas as condições analisadas, durante a realização dos ensaios a formação de respingos e, também, parte do pó metálico que estava sendo adicionada durante o processo foi desviada da poça de fusão e uma parcela de pó acumulou ao longo do substrato. E o impacto desse desvio de pó da região do arco voltaico e poça de fusão é notado no valor de área depositada dos cordões de solda produzidos. Sendo que o maior valor de redução da área depositada em relação a amostra de referência foi igual a 7% e obtido na condição α igual a 20° com a tocha de soldagem puxando (20°_P).

Com a realização do trabalho, conclui-se que o ângulo de ataque e as técnicas do sentido de avanço (puxando e empurrando) da tocha de soldagem possuem efeito significativo sobre a morfologia dos cordões de solda produzidos pelo processo de soldagem PTA-P. Considerando os resultados representados na Figura 4, é possível observar que os valores de morfologia obtidos com a amostra de referência e a condição α igual a 20° com a tocha de soldagem empurrando, são muito similares, exceto a largura dos cordões de solda, que para amostra de α igual a 20° é 12% inferior. Portanto, dentre as condições avaliadas e considerando o potencial do processo de soldagem PTA-P em aplicações de revestimento, no qual busca-se por cordões de solda com menor penetração e baixo valor de diluição, a configuração de ângulo de ataque α igual a 20° e sentido de avanço empurrando da tocha de soldagem seria mais recomendada. Visto que nessa condição, foi possível obter um perfil de penetração uniforme ao longo da sua seção transversal e, além disso, obteve-se um baixo percentual de diluição de 4,9%, como espera-se para uma aplicação de revestimento.

Ademais, este trabalho compreendeu a uma abordagem inicial a fim de verificar a viabilidade e potencial de aplicação das técnicas no processo PTA-P, visto que não foram encontrados trabalhos que avaliem as suas influências na morfologia dos cordões de solda. Deste modo, entende-se que mais estudos devem ser conduzidos a fim de avaliar os efeitos do ângulo de ataque e sentido da tocha de soldagem em outras condições de soldagem, considerando diferentes parâmetros de soldagem, assim como outros materiais de adição e de substrato, que não avaliados na proposta do presente trabalho e também para buscar solucionar o problema do aspecto superficial dos cordões obtidos.

4. CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos, pode-se concluir que:

- A aplicação da técnica empurrando/puxando sob diferentes ângulos de ataque da tocha de soldagem PTA-P é perfeitamente viável;
- O emprego da técnica empurrando conduz a obtenção de cordões de solda com menores índices de penetração e diluição nas condições estudadas;

- Nas condições experimentais empregadas, a técnica empurrando/puxando sob diferentes ângulos de ataque da tocha não acarreta em instabilidades no processo;
- Com base nas condições avaliadas e a respeito da aplicação em soldagem de revestimento, a configuração “empurrando” com ângulo de ataque igual a 20° da tocha de soldagem é mais recomendada.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Pós-ECM, ao Programa Rota 2030 – Linha IV “Ferramentarias Brasileiras Mais Competitivas” e a Fundep, pelo apoio financeiro (no projeto “Melhoria no projeto de ferramentas de injeção de alumínio”) com o fornecimento da bolsa de pós-graduação. Agradecem também ao Laboratório de Tecnologia da Soldagem (UFSC-Joinville) pelo auxílio no desenvolvimento deste trabalho.

6. REFERÊNCIAS

- Hirata, E.K., Beltza, L.F., Okimoto, P.C. e Scotti, A., 2014. “Influência da Corrente sobre o Rendimento Bruto de Fusão em Soldagem MIG/MAG”. *Soldagem & Inspeção*, Vol. 19, No. 02, pp. 159-167.
- Pereira, A.S., Buschinelli, A.J.A. e Kejelin, N.Z., 2013. “Avaliação da perfuração na soldagem em operação pelo processo MIG/MAG de dutos de alta resistência e baixa espessura”. *Soldagem & Inspeção*, Vol. 18, No. 03, pp. 235-244.
- Resende, A.A. e Scotti, A., 2015. “Influência dos Níveis das Correntes, Ângulo de Inclinação da Tocha e Distância entre a Tocha e a Peça sobre a Geometria do Cordão de Solda Usando “Plasma-MIG” com Arcos Concêntricos”. *Soldagem & Inspeção*, Vol. 20, No. 04, pp. 501-514.
- Scotti, A. e Ponomarev, V., 2008. *Soldagem MIG/MAG: Melhor entendimento, Melhor desempenho*. São Paulo: Arliber Editora, 2008.
- Silva, R.H.G.E., 2010. *Inovações em equipamentos e em parametrização no processo de revestimento por plasma-pó (PTA-P)*. Tese (Doutorado), Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil.
- Silwal, B., Walker, J. e West, D., 2019. “Hot-wire GTAW cladding: inconel 625 on 347 stainless steel”. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, pp. 3839-3848. doi.org/10.1007/s00170-019-03448-0
- Sudhakaran, R., Vel-murungan, V. e Sivasakthivel, P.S., 2011. “Effect of Process Parameters on Depth of Penetration in Gas Tungsten Arc Welded (GTAW) 202 Grade Stainless Steel Plates Using Response Surface Methodology”. *TJER*, Vol. 9, No. 01, pp. 64-79.

7. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

Os autores são os únicos responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho.

EVALUATION OF THE PULLING/PUSHING TECHNIQUE ON THE MORPHOLOGY OF WELD BEADS PRODUCED BY PTA-P PROCESS

Kamila Borba Silva

Tiago Vieira da Cunha

Carlos Maurício Sacchelli

Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico de Joinville, SC, Brazil

kaamila.borba@gmail.com, t.cunha@ufsc.br, carlos.sacchelli@gmail.com

Abstract. *Coating welding has been widely used in the industry for maintenance and manufacture of parts subjected to severe operating conditions. Among the different welding processes commonly applied for this purpose, the Plasma Transferred Arc Process with Powder Feed Material (PTA-P) has presented a notable prominence in recent years, mainly due to its ability to produce deposits with low dilution rates, associated with a good surface finish. In coating applications, this is of fundamental importance, considering that the quality of the deposits is closely related to the geometry and dilution of the coating produced, and control over the process and its welding parameters is essential to guarantee the desirable characteristics of the weld bead accomplished. In the context of MIG/MAG (Metal Inert Gas/Metal Active Gas) welding process, the pulling/pushing technique, as well as the angle of the torch positioning in relation to the substrate, or attack angle, have great influence on the morphological aspects of the resulting weld bead. However, there is little information in the literature about the effects arising from these techniques when considering PTA-P welding. Therefore, the present work aims to investigate the effects produced by the positioning angle (attack angle) and the techniques of the advance direction (pulling and pushing) of the welding torch on the morphology of the weld beads produced by the PTA-P welding process. Therefore, welding tests were carried out, with linear bead-on-plate weld beads on A36 carbon steel specimens, using inconel 625 alloy as the addition material. As a result, it was verified that the welding torch attack angle, as well as its advance direction, have a significant influence on the weld bead morphology. And, through these results, it is expected to contribute to a better understanding of the PTA-P welding process, aiming to give greater robustness to the process by enabling its application in the metallic coating of surfaces.*

Keywords: *PTA-P; Coating; Pulling/Pushing technique; Weld bead morphology; Attack angle.*

RESPONSIBILITY NOTICE

The authors are the only responsible for the printed material included in this paper.