

## ANÁLISE COMPARATIVA DO COMPORTAMENTO TÉRMICO DA SOLDAGEM DE PINOS COM DIFERENTES PROCESSOS

Tiago de Siqueira Lima Marchione, [tiago.marchione@posgrad.uscf.br](mailto:tiago.marchione@posgrad.uscf.br)<sup>1</sup>

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

Álison Fernandes da Rosa, [alison.fernandes@posgrad.ufsc.br](mailto:alison.fernandes@posgrad.ufsc.br)<sup>1</sup>

Leonardo Matos Brasil, [matos.brasil@grad.ufsc.br](mailto:matos.brasil@grad.ufsc.br)<sup>1</sup>

Lucas Maraschin, [lucas.maraschin@grad.ufsc.br](mailto:lucas.maraschin@grad.ufsc.br)<sup>1</sup>

Ricardo Reppold Marinho, [reppold@petrobras.com.br](mailto:reppold@petrobras.com.br)<sup>2</sup>

Giovani Dalpiaz, [giovani.dalpiaz@petrobras.com.br](mailto:giovani.dalpiaz@petrobras.com.br)<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal de Santa Catarina – Instituto de Soldagem e Mecatrônica (LABSOLDA), Campus Universitário, Trindade – Florianópolis – SC, CEP: 88040-900

<sup>2</sup>Centro de Pesquisas, Desenvolvimento e Inovação Leopoldo Américo Miguez de Mello (CENPES/PETROBRAS), Av. Horácio Macedo, 950, Cidade Universitária – Rio de Janeiro – RJ, CEP: 21941-915

**Resumo.** A soldagem de pinos é utilizada amplamente na indústria, com destaque para os setores automotivo, de construção civil, de construção naval e offshore. No âmbito da indústria de construção naval e offshore, tanto na etapa de fabricação e construção, como na etapa de manutenção, pelas suas peculiaridades, principalmente no que tange a segurança da embarcação, é de vital importância o conhecimento dos aspectos térmicos impostos pelo calor gerado pelo arco elétrico durante a soldagem, podendo ser um fator limitante para o material do verso da chapa, como revestimentos, pinturas, isolantes térmico e/ou acústico, ou até mesmo hidrocarbonetos, podendo ocasionar a degradação do material, ou até mesmo o risco de incêndio ou explosão, o que pode ser catastrófico para o meio. Neste contexto, o presente estudo tem por objetivo efetuar o levantamento do comportamento térmico no verso da chapa na soldagem de pinos M16 utilizando diferentes processos de soldagem – Stud Welding (SW), MIG, TIG e Eletrodo Revestido, e então, possa ser realizada uma avaliação comparativa entre os mesmos. Para a obtenção das curvas térmicas, foi utilizado termopares tipo K e um sistema de aquisição de temperatura por termopar. Os resultados mostram que o processo SW atingiu a menor temperatura e o menor tempo de resfriamento.

**Palavras chave:** Soldagem de Pinos. Soldagem Offshore. Comportamento Térmico.

**Abstract.** The stud welding is widely used in the industry, especially in the automotive, civil construction, shipbuilding and offshore sectors. In the shipbuilding and offshore industry, both in the manufacturing and construction stage, and in the maintenance stage, due to its peculiarities, especially regarding the safety of the vessel, it is of vital importance the knowledge of the thermal aspects imposed by the heat generated by the electric arc during welding. This can be a limiting factor for the material on the back of the plate, such as coatings, paintings, thermal and/or acoustic insulators, or even hydrocarbons, which can cause the degradation of the material, or even the risk of fire or explosion, which can be catastrophic for the environment. In this context, the present study aims to survey the thermal behavior at the back of the plate in the welding of studs using different welding processes - Stud Welding (SW), MIG, TIG and Stick Welding, and then, a comparative evaluation between them can be performed. To obtain the thermal curves, type K thermocouples and a thermocouple temperature acquisition system were used. The results show that the SW process reached the lowest temperature and the shortest cooling time.

**Keywords:** Stud Welding. Offshore Welding. Thermal Behavior.

### 1. INTRODUÇÃO

O processo de soldagem de Pinos (Stud Welding - SW) é um processo de soldagem por arco elétrico e foi desenvolvido e implementado há quase 1 século pela Marinha dos Estados Unidos, aplicado inicialmente em embarcações militares. Este processo de soldagem se destaca pela sua alta produtividade, uma vez que simplificou a montagem, reduziu o tempo e os custos operacionais na construção naval (Chambers, 2001). Estima-se que a implementação do processo de soldagem

de pinos economizou cerca de 50 milhões de homens-horas para a Marinha dos Estados Unidos, na construção e manutenção das embarcações empregadas na Segunda Guerra Mundial, durante a instalação de decks de madeira em submarinos, navios e porta-aviões (Stanley, 2019). Nos tempos hodiernos, a tecnologia SW é amplamente utilizada para soldagem de estruturas, componentes e acessórios em diversas aplicações da Indústria, com destaque para os setores de construção naval e construção civil (Chambers, 2001) e setor automotivo (Ramamamy, 2002).

Segundo Nishiwaka (2003), o tempo de arco aberto no processo SW pode ser de até 1 s e a corrente de soldagem empregada é de até 2500 A, a depender do diâmetro do pino. Com isso, mesmo ocorrendo em um tempo muito curto, o aporte térmico empregado no processo SW deve ser considerado, e pode ser um fator limitante para o material do verso da chapa. Deste modo, o aquecimento no verso da chapa é um fator que deve ser considerado na utilização do processo SW, principalmente nas indústrias naval e offshore, tanto na etapa de fabricação e construção, como na etapa de manutenção, dada as peculiaridades e características dos materiais que se encontram no verso da chapa, como revestimentos, pinturas, isolantes térmico e/ou acústico, ou até mesmo hidrocarbonetos. A não observância dos limites de temperatura destes materiais no verso da chapa pode ocasionar desde a degradação do material até o risco de incêndio ou explosão, o que pode ser catastrófico.

Sendo assim, é primordial o conhecimento do comportamento térmico do processo, principalmente no verso da chapa a ser soldada. Rosa et al (2022) efetuou o levantamento do comportamento térmico no verso da chapa durante a soldagem de pinos roscados de 16 mm de diâmetro (M16) em chapa de aço ASTM A36 de 7,9 mm de espessura, chegando a temperatura máxima no patamar de 400°C. Um questionamento que é preciso ser respondido é com relação a temperatura no verso da chapa ao ser soldado pinos com outros processos de soldagem. Nesse contexto, o presente estudo tem por objetivo efetuar o levantamento do comportamento térmico no verso da chapa na soldagem de pinos utilizando diferentes processos de soldagem e então possa ser realizada uma avaliação comparativa entre o processo SW com outros processos de soldagem a arco convencionais.

## 2. METODOLOGIA

De modo a obter as informações de temperatura no verso da chapa na soldagem de pinos com diferentes processos de soldagem, foram conduzidos testes utilizando pinos roscados de 16 mm de diâmetro (M16), soldados em chapas de aço de baixo carbono ASTM A36 de 7,9 mm de espessura, na posição plana de soldagem.

Para este estudo comparativo, foram utilizados os seguintes processos de soldagem para a soldagem dos pinos: SW, MIG convencional, TIG e Eletrodo Revestido. Para o processo SW, foi utilizado a fonte de soldagem SOYER/BMK-16i equipada com uma pistola de soldagem de pinos SOYER/PH-3N. Para o processo MIG, foi utilizada uma fonte de soldagem FRONIUS/TransPlus Synergic 3200. Para os processos TIG e Eletrodo Revestido, foi utilizada uma fonte de soldagem IMC/TIG POP 200S. As principais especificações das fontes são apresentadas na Tab. 1.

Tabela 1. Principais especificações das fontes de soldagem (Soyer, 2013; Fronius, 2015; IMC, 2004)

Característica	SOYER/BMK-16i	FRONIUS/TransPlus Synergic 3200	IMC/TIG POP 200S
Processo de Soldagem	SW por arco retraído	MIG/MAG	TIG e Eletrodo Revestido
Corrente de Soldagem (A)	100 - 1000	3 – 320	25 – 200
Tensão de circuito aberto (V)	-	65	-
Faixa de operação do diâmetro dos pinos	M3 a M16	-	-
Material do Pino	Aço, aço inoxidável e aço resistente ao calor	-	-
Fonte de Energia	Tecnologia de Inversores	-	-
Tempo de soldagem (ms)	3 – 1000	-	-
Frequência (pinos/min)	15 a 30 (M3) até 3 (M12)	-	-

De modo que pudesse efetuar uma comparação mais equitativa entre os processos, buscou-se parametrizar os processos MIG, TIG e Eletrodo Revestido com a mesma corrente média no decorrer da soldagem do pino. Nessa mesma concepção, foi utilizado Argônio puro como gás de proteção nos processos MIG e TIG. Para o processo SW, como o pino é com esfera de alumínio, não foi utilizado gás de proteção, apenas um anel cerâmico. Para garantir que os parâmetros elétricos ficassem nos valores planejados, foi utilizado um sistema de aquisição portátil de monitoração e dados de soldagem IMC/SAP. Os principais parâmetros de soldagem estão apresentados na Tab. 2.

Tabela 2. Principais parâmetros de soldagem utilizados

Parâmetro	SW	MIG	TIG	Eletrodo Revestido
Corrente (A)	800	120	120	120
DBCP/DEP (mm)	-	10 a 15	5 a 10	-
Tempo de arco (ms)	500	-	-	-
Lift (mm)	2,0	-	-	-
Protrusão do pino (mm)	2,5	-	-	-
Eletrodo/Material de adição	-	ER70S-6 (1 mm)	E3 WGLa (2,4 mm)/ ER70S-3 (2,4 mm)	E-6013 (2,5 mm)
Vazão do Gás (l/min)	-	15	15	-
Velocidade de soldagem (cm/min)	-	15	5	15

É preciso ressaltar que os parâmetros de corrente de soldagem apresentados na tabela são os recomendados pelos fabricantes dos respectivos eletrodos. Outro fator é que como o método de aplicação dos processos de soldagem foi o manual, os parâmetros de velocidade de soldagem, distância bico de contato-peça (DBCP) e distância eletrodo-peça (DEP) apresentados na Tab. 3 são os buscados pelo soldador durante a realização da solda, podendo ter ocorrido pequenas variações durante a soldagem. Para a obtenção das curvas de temperaturas máximas e de resfriamento, foi utilizado um sistema de aquisição de temperatura por termopar IMC/SAT, com termopares tipo K instalados no verso das chapas soldadas, bem no centro dos pinos soldados com os diferentes processos de soldagem.

### 3. RESULTADOS

Os pinos M16 foram soldados com os diferentes processos de soldagem, com os respectivos parâmetros elencados na Tab. 2. Após a soldagem dos pinos com os diferentes processos, foi feito um corte nos mesmos de modo a observar possíveis defeitos durante a soldagem. A Figura 1 apresenta a macrografia dos pinos soldados. É possível observar que na soldagem com o processo SW (Fig. 2a) houve uma fusão completa entre o pino e a peça. Já com os outros processos (Fig. 2b, 2c e 2d), foi possível observar uma falta de fusão entre o pino e a peça.

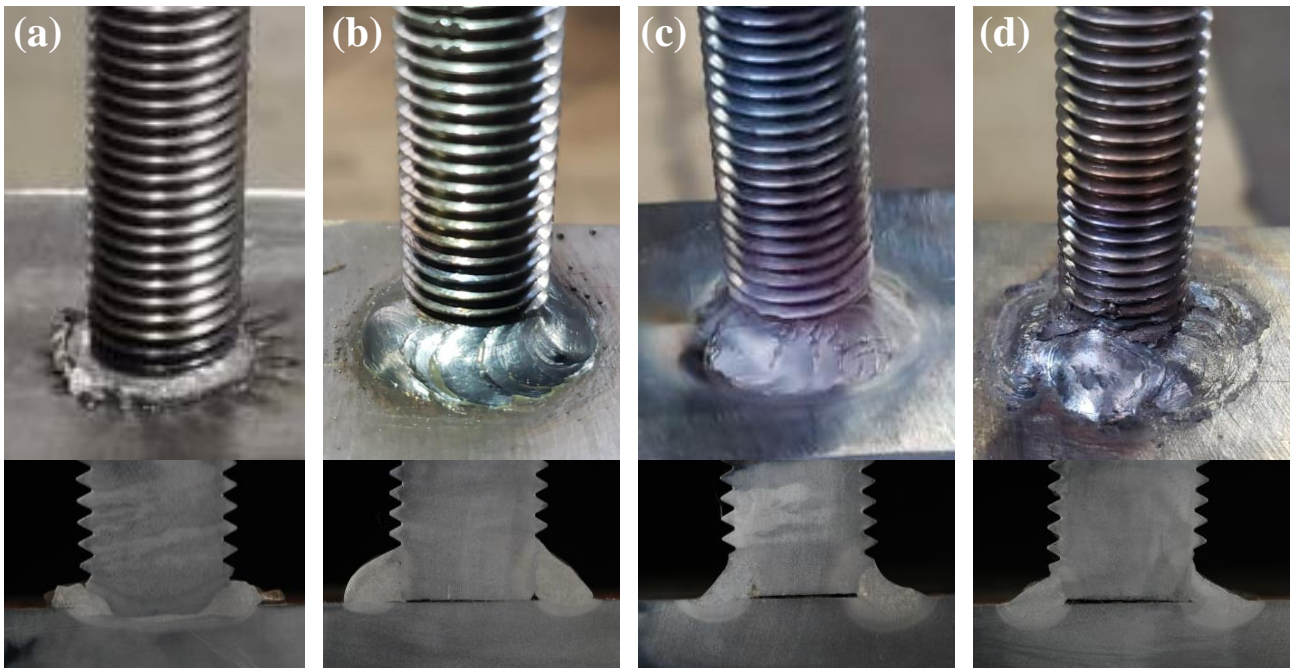


Figura 1. Macrografia dos pinos M16 soldados com diferentes processos de soldagem:  
(a) Stud Welding, (b) MIG, (c) TIG e (d) Eletrodo Revestido.

Os dados obtidos de temperatura no verso da chapa na soldagem de pinos com diferentes processos de soldagem foram plotados na forma de gráfico em função do tempo e estão apresentados na Fig. 2. É possível observar o comportamento térmico ao longo do tempo para todos os processos de soldagem utilizados neste estudo, principalmente no que tange a temperatura máxima no verso da chapa e o seu tempo de resfriamento.

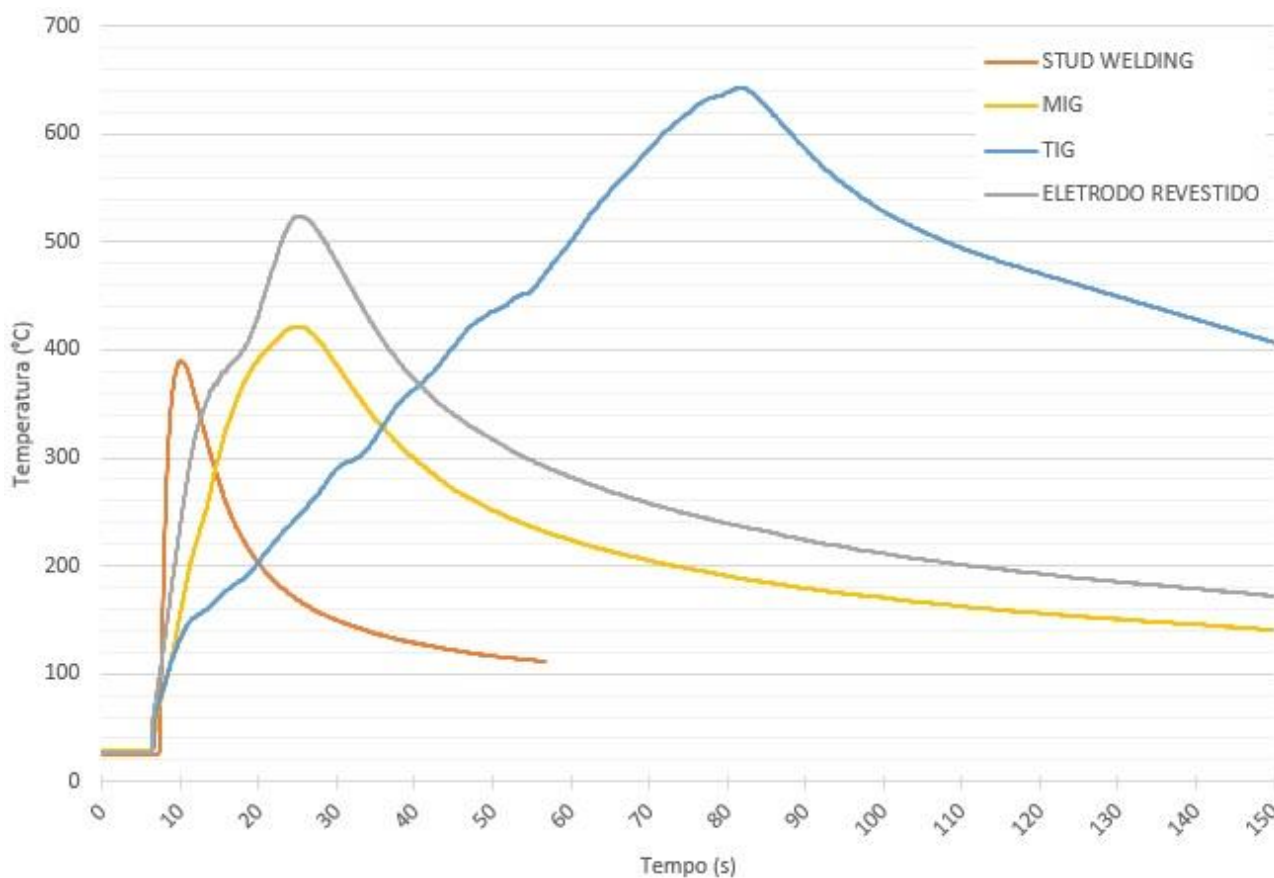


Figura 2. Ciclo térmico para soldagem de pino M16 em chapa de 7,9 mm com diferentes processos de soldagem

Apesar da corrente de soldagem utilizada nos processos MIG, TIG e Eletrodo Revestido representar apenas 15% o valor da corrente de soldagem utilizada no processo SW, é plausível o questionamento se a temperatura atingida no verso da chapa com esses processos seria inferior a temperatura atingida pelo processo SW, conforme os valores de temperatura observados nos estudos de Rosa et al (2022). No presente trabalho, foi possível observar que a temperatura máxima atingida no verso da chapa foi, de fato, menor para o pino soldado com o processo SW. Tal fato se justifica pelo tempo de soldagem, que é bem inferior no processo SW, com um tempo de 500 ms, quando comparado com o tempo de soldagem dos outros processos: 20 s para os processos MIG e Eletrodo Revestido e 75 s para o processo TIG.

Também é plausível a hipótese de se utilizar a mesma corrente de soldagem em todos os processos. No entanto, uma característica intrínseca do processo SW é a utilização de correntes de soldagem elevadas (maiores que 300A) durante um tempo muito curto (inferior a 1 s), enquanto que as características intrínsecas dos demais processos é o oposto, ou seja, menor corrente em períodos de tempo maiores. Tal fato se justifica, simplesmente, devido à natureza dos diferentes tipos de eletrodos utilizados (diâmetro, geometria, material, etc.), que necessitam de diferentes energias de soldagem para realizar a fusão dos materiais de base e de adição, e assim, serem comparados de forma justa.

Outro aspecto importante é o tempo de resfriamento após a soldagem. Aproximadamente 1 min após o término da solda, o verso da chapa para o processo SW apresentava temperatura em patamar de 100°C, enquanto que a temperatura ainda estava em patamares de 200°C para os processos MIG e Eletrodo Revestido e de 400°C para o processo TIG.

#### 4. CONCLUSÕES

Apesar deste breve estudo apresentar apenas resultados iniciais sobre a comparação da temperatura atingida no verso da chapa ocasionado pelo calor gerado dos processos de soldagem SW, MIG, TIG e Eletrodo Revestido durante a soldagem de um pino, os resultados mostram que:

- O processo SW, dentre os processos de soldagem estudados, foi o que atingiu a menor temperatura no verso da chapa e o menor tempo de resfriamento;

- A estratégia do processo SW que utiliza uma corrente elevada em um curto elevado de tempo (menor que 1 segundo) pode ser considerada uma ferramenta adicional para soldagem de juntas relativamente espessas, obtendo penetração total sem a presença de defeitos e sem a necessidade de realizar chanfros na junta;
- Sob o ponto de vista prático, e considerando as características desse procedimento (soldagem de um pino em uma chapa) o processo SW se mostra mais produtivo pois a solda foi finalizada em menos de 1 segundo, enquanto que nos outros processos, o tempo de soldagem demora até 150 vezes mais (TIG); e
- Para pinos de diâmetros maiores, acima de 16 mm, soldados com processos de soldagem a arco convencionais, como MIG, TIG e Eletrodo Revestido, existe a ligeira ocorrência de defeitos como falta de fusão entre o pino e a peça, o que compromete a resistência mecânica da solda. Em pinos soldados com o processo SW, ocorre uma fusão completa entre o pino e a peça.

## 5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a todos os membros da equipe do Instituto de Soldagem e Mecatrônica (LABSOLDA) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), pelo suporte, orientação e discussões, e a PETROBRAS, pelo apoio financeiro através do Termo de Cooperação nº 0050.0117882.21.9.

## 6. REFERÊNCIAS

- CHAMBERS, H.A. **Principles and Practices of Stud Welding**. Pci Journal. Elyria, Ohio, 2001.
- FRONIUS. **Manual de Instruções: Fonte de solda para soldagem MIG/MAG**. TransSynergic 4000/5000, TransPuls Synergic 2700, TransPuls Synergic 3200/4000/5000, TIME 5000 Digital e CMT 4000 Advanced. FRONIUS INTERNATIONAL GMBH. Austria, 2015.
- IMC Soldagem. **Manual de Instruções: TIG POP 200S**. Fonte básica para soldagem de alumínio e suas ligas, aço comum e aço inoxidável. 2005.
- NISHIKAWA, W. **The principle and application field of stud welding**. Welding International 17, 699–705 (2003). Disponível em: <https://doi.org/10.1533/wint.2003.3170>.
- RAMASAMY, S. **Drawn arc aluminum stud welding for automotive applications**. JOM 54, 44–46 (2002). Disponível em: <https://doi.org/10.1007/BF02711866>.
- ROSA, A. F., SILVA, R. H. G., MARCHIONE, T. S. L., MARINHO, R. R., & DALPIAZ, G. **Análise e caracterização térmica da soldagem de pinos (Stud Welding) em aplicações do setor naval**. In: ANAIS DO 29º CONGRESSO INTERNACIONAL DE TRANSPORTE AQUAVIÁRIO, CONSTRUÇÃO NAVAL E OFFSHORE, 2022, Rio de Janeiro. Anais eletrônicos... Campinas, Goiás, 2022. Disponível em: <<https://proceedings.science/sobena-congresso/sobena-2022/trabalhos/analise-e-caracterizacao-termica-da-soldagem-de-pinos-stud-welding-em-aplicacoes?lang=pt-br>> Acesso em: 15 jan. 2023.
- SOYER. **Operating Instructions**. BMK-16i Stud Welder. Heinz Soyer Bolzenschweißtechnik GmbH. Germany, 2013.
- STANLEY. **Problem-Solving Was Ted Nelson's First Love**. Stanley Engineered Fastening, 2019. Disponível em: <https://www.stanleyengineeredfastening.com/en/News-and-Stories/Problem-Solving-Was-Ted-Nelson-First-Love>. Acesso em 15 de janeiro de 2023.

## 7. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

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