

CARACTERIZAÇÃO DA SOLDAGEM DE PINOS M6 UTILIZANDO O PROCESSO STUD WELDING POR DESCARGA CAPACITIVA

Tiago de Siqueira Lima Marchione¹

Duván Sánchez Quintana²

Régis Henrique Gonçalves e Silva³

Álison Fernandes da Rosa⁴

Leonardo Matos Brasil⁵

Lucas Maraschin⁶

^{1, 2, 3, 4, 5, 6}Universidade Federal de Santa Catarina – Instituto de Soldagem e Mecatrônica (LABSOLDA), Campus Universitário, Trindade - Florianópolis – SC, CEP: 88040-900

¹tiago.marchione@posgrad.ufsc.br

²d.s.quintana@posgrad.ufsc.br

³regis.silva@ufsc.br

⁴alison.fernandes@posgrad.ufsc.br

⁵matos.brasil@grad.ufsc.br

⁶lucas.maraschin@grad.ufsc.br

Resumo: O processo de soldagem de pinos foi desenvolvido e implementado no setor de construção naval durante a Segunda Guerra Mundial, aplicadas na construção de porta-aviões, simplificando a montagem e reduzindo o tempo e os custos operacionais na construção naval. Este processo apresenta vantagens sobre outros processos de soldagem, dado seu curto tempo de execução e pequena distorção, posicionando-se como um dos processos de soldagem mais rápidos. Atualmente, o processo de soldagem de pinos é amplamente usado para fixar suportes de tubos em hangares, bandejas para instalações elétricas, isolamento e fixações de madeira, bem como para soldar outros tipos de acessórios como ganchos e anéis. É preciso ressaltar que existem duas variações deste processo em função da tecnologia empregada na geração do arco elétrico: arco retraído e descarga capacitiva. O processo de soldagem de pinos por descarga capacitiva (DC) possui 2 subvariações: com contato e com gap. A diferença se dá basicamente na elevação ou não do pino antes da abertura do arco elétrico através da descarga do banco de capacitores. Neste contexto, este estudo tem por objetivo fazer uma análise da caracterização da soldagem de pinos roscados de 6 mm de diâmetro com as diferentes variações do processo de soldagem de pinos DC, com gap e com contato, bem como seus parâmetros, avaliando as diferenças das soldas obtidas e os resultados dos testes de qualificação a que os pinos soldados foram submetidos. O estudo verificou a diferença entre os processos DC com gap e com contato, através de filmagem de alta velocidade, em que foi possível observar as características do processo durante o arco elétrico aberto. Os resultados sugerem que o processo DC com contato é mais confiável por apresentar um tempo de arco maior, e conseqüentemente, maior quantidade de material fundido.

Palavras-chave: Soldagem de Pinos; Descarga Capacitiva; Com Gap; Com Contato.

1. INTRODUÇÃO

O processo de soldagem de pinos tem vantagens sobre outros processos de soldagem, dado seu curto tempo de execução e pequena distorção, posicionando-se como um dos processos de soldagem mais rápidos atualmente (Oh *et al.*, 2007). Este processo consiste em soldar por arco elétrico um pino em uma chapa, e para isso, um pino é encaixado em uma pistola, que é posicionada pelo operador sobre a chapa, encostando assim o pino na superfície da chapa e ao acionar o gatilho da pistola, o arco elétrico é aberto entre a superfície da base do pino e a superfície da chapa, criando uma poça fundida em ambas as superfícies. Após, o pino é empurrado sobre a peça e para ficar em posição. Este tipo de processo foi desenvolvido e implementado no setor de construção naval durante a Segunda Guerra Mundial, aplicadas na construção de porta-aviões, uma vez que este processo 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 durante a instalação de decks de madeira em submarinos, navios e porta-aviões (Stanley, 2019). Atualmente, o processo de soldagem de pinos é amplamente usado para fixar suportes de tubos em hangares, bandejas para instalações elétricas, isolamento e fixações de madeira, bem como para soldar outros tipos de acessórios como ganchos e anéis (Eyres e Bruce, 2012).

As principais variações do processo de soldagem de pinos são por arco retraído e descarga capacitiva. Na modalidade por arco retraído (Fig. 1), ao ser acionado o gatilho da pistola de soldagem pelo operador, o pino é elevado e o arco é estabelecido, ocorrendo a fusão do material do pino e do metal de base. Após o tempo de arco aberto pré-selecionado na fonte de soldagem, o pino é empurrado pela mola contra o metal de base, ocorrendo a soldagem do pino. Este tipo de processo requer um certo tipo proteção, como utilização de gás de proteção ou um anel de cerâmica.

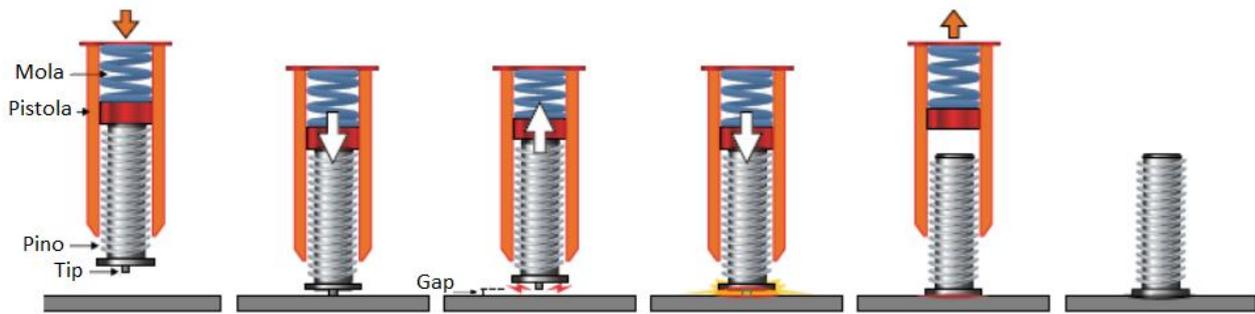


Figura 3. Representação esquemática do princípio de funcionamento do processo de soldagem de pino por descarga capacitiva com *gap*

Nesse contexto, este estudo tem por objetivo fazer uma análise da caracterização da soldagem de pinos roscados de 6 mm de diâmetro com as diferentes variações do processo de soldagem de pinos DC (com *gap* e com contato), bem como seus parâmetros, avaliando as diferenças das soldas obtidas e os resultados dos testes de qualificação a que os pinos soldados foram submetidos.

2. METODOLOGIA

De modo a obter a caracterização da soldagem de pinos por descarga capacitiva, foram realizados experimentos com pinos roscados de 6 mm de diâmetro (M6), que foram soldados em chapas de aço ASTM A36 de 2,65mm de espessura, na posição vertical de soldagem. A especificação da composição química das chapas de aço utilizadas nos experimentos está apresentada na Tab. 1.

Tabela 1. Especificação da composição química das chapas utilizadas nos testes com pinos M10 (Gerda, 2021)

C (%)	Cu (%)	Cr (%)	Mn (%)	Mo (%)	Ni (%)	P (%)	S (%)	Si (%)	V (%)
0,18	0,17	0,16	0,68	0,02	0,07	0,011	0,016	0,20	0,003

A fonte de soldagem utilizada em todos os testes foi uma SOYER/BMS-10N. As principais especificações da fonte são apresentadas na Tab. 2. Nestes experimentos, de modo a se ter um leque amplo de variações de parâmetros, foram realizadas soldagens com o processo supramencionado, nas variações com *gap* e com contato. Para tal, a pistola utilizada nos testes com *gap* foi uma SOYER/PS-3. Já para os testes com contato, foi utilizada uma pistola SOYER/PS-3K.

Tabela 2. Principais especificações da fonte de soldagem SOYER/BMS-10N (Soyer, 1995)

Característica	Especificação
Processo de Soldagem	Soldagem de Pinos por descarga capacitiva com <i>gap</i> e com contato
Faixa de operação do diâmetro dos pinos	M3 a M8
Material do Pino	Aço, aço inoxidável, alumínio e latão
Capacidade de Carga	88.000 μ F
Tensão de Carga	50 - 200 V
Tempo de soldagem	1 - 3 ms
Frequência de soldagem de pinos	Até 20 pinos/min

A fonte permite a regulagem da tensão de carga do banco de capacitores. Para os experimentos deste estudo, foram utilizadas as tensões de carga de 120 e 140 V, tensões estas próximas ao mínimo e ao máximo da faixa de tensões sugeridas pela própria fonte para soldagem de pinos M6. A protrusão do pino, que é a distância em que pino fica para fora da pinça, foi regulada em 1,5 mm, para todos os testes, conforme é apresentado na Fig. 4.

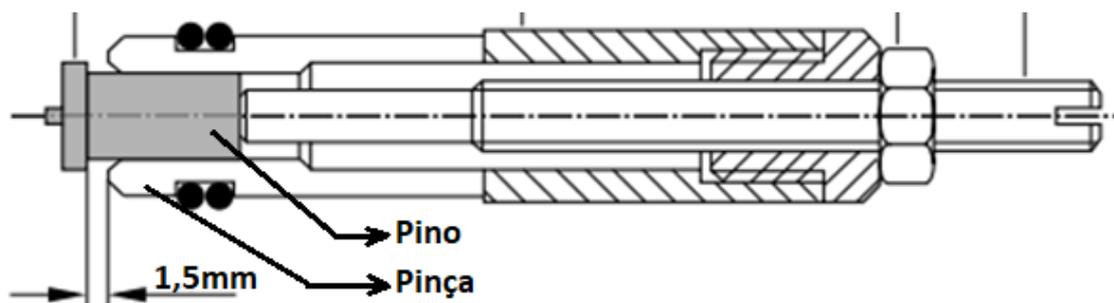


Figura 4. Representação da sobreposição de 1,5 mm utilizada nos testes. (Soyer, 1995)

Outro parâmetro que teve variação nos testes foi a pressão da mola das pistolas, conforme é apresentado na Fig. 5a, que pode ser selecionada como baixa (1), médio (2) e alta (3) na pistola do processo com contato. Para o processo com *gap*, essas mesmas pressões significam um *gap*/lift mínimo, médio e máximo, respectivamente, como é possível observar na Fig. 5b.

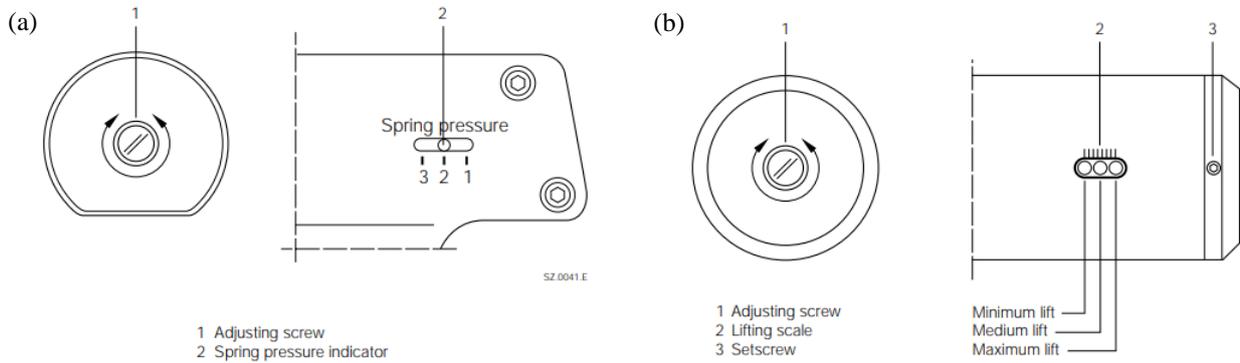


Figura 5. Ajuste da pressão da mola da pistola: (a) Pistola SOYER/PS-3K (processo DC com contato) e (b) Pistola SOYER/PS-3 (processo DC com *gap*). (Soyer, 1995)

É preciso destacar que para o processo com *gap*, foram realizados ensaios com uma pressão da mola altíssima, o que significa que a mola já estaria totalmente comprimida apenas no posicionamento da pistola sobre a chapa, com o vencimento da protrusão, de modo que não ocorra o içamento do pino quando da atuação do solenoide. A Figura 6 ilustra a diferença do valor do lift dos pinos para cada uma das diferentes pressões da mola colocada na pistola do processo DC com *gap*.

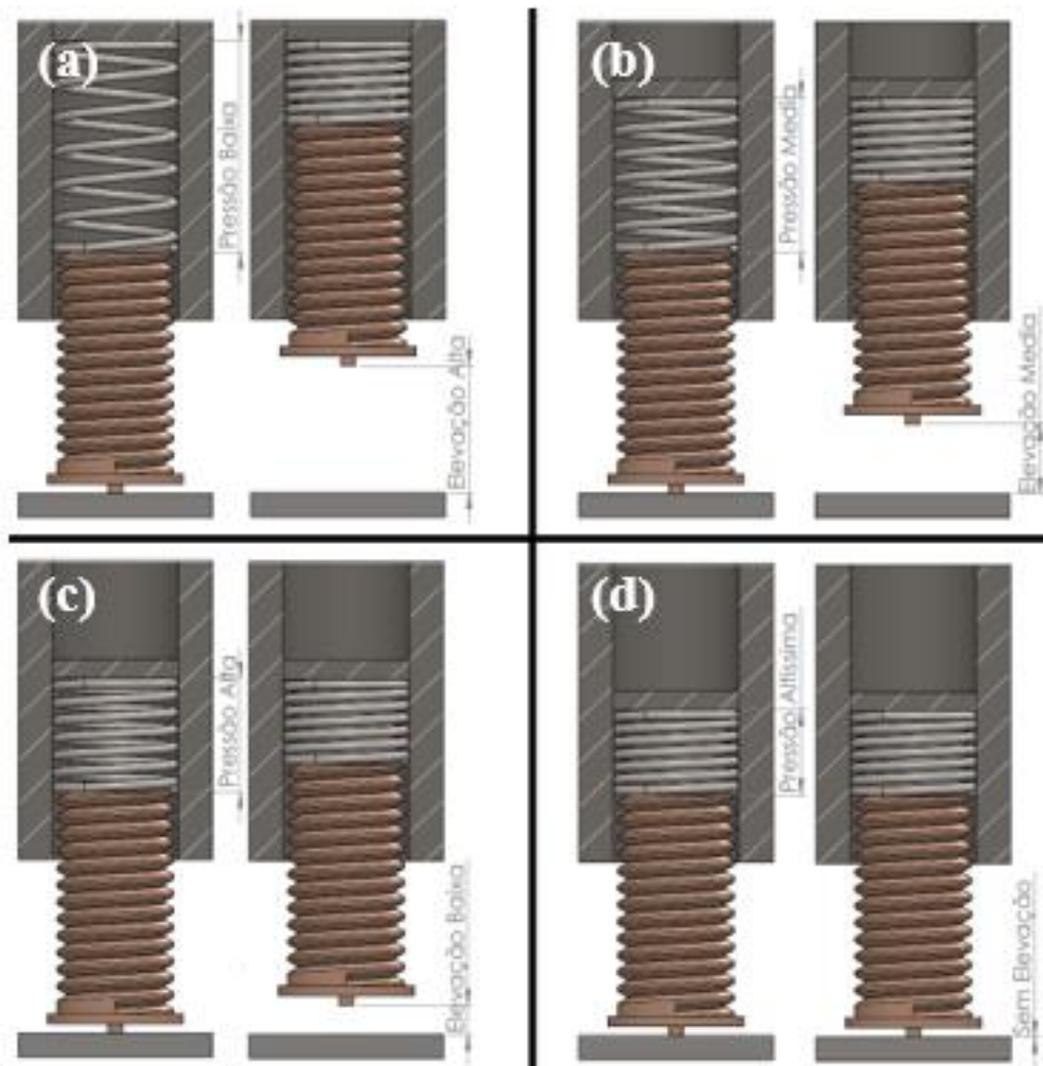


Figura 6. Diferença na elevação do pino para cada pressão da mola: (a) pressão baixa (lift alto), (b) pressão média (lift médio), (c) pressão alta (lift baixo) e (d) pressão altíssima (sem lift).

Desta forma, a Tab. 3 apresenta a matriz de ensaio com os principais parâmetros utilizadas nos experimentos deste estudo.

Tabela 3. Matriz de ensaio com os parâmetros de soldagem utilizados

Ensaio	Modalidade DC	Tensão de Carga (V)	Pressão da mola	Protrusão do Pino (mm)
1	com contato	140	baixa	1,5
2	com contato	140	média	1,5
3	com contato	140	alta	1,5
4	com contato	120	baixa	1,5
5	com contato	120	média	1,5
6	com contato	120	alta	1,5
7	com <i>gap</i>	140	baixa	1,5
8	com <i>gap</i>	140	média	1,5
9	com <i>gap</i>	140	alta	1,5
10	com <i>gap</i>	140	altíssima	1,5
11	com <i>gap</i>	120	baixa	1,5
12	com <i>gap</i>	120	média	1,5
13	com <i>gap</i>	120	alta	1,5
14	com <i>gap</i>	120	altíssima	1,5

Para melhor entendimento e caracterização do processo, foram conduzidas filmagens de alta velocidade, com todas as variações de parâmetros supramencionadas na Tab. 3, além de um dos ensaios ter sido feito a macrografia e micrografia. Para a obtenção das filmagens de alta velocidade, foi utilizada uma câmera IDT/Y4S2 com uma lente Macro Canon EF 180 mm L USM e com iluminação laser CAVITAR/Cavilux HF, conforme set-up apresentado na Fig. 7. Para a macrografia, foi utilizada uma câmera Canon/60D com a lente Macro Canon EF 180 mm L USM. Para a micrografia, foi utilizado o microscópio óptico CARL ZEISS/Axiolab 5.

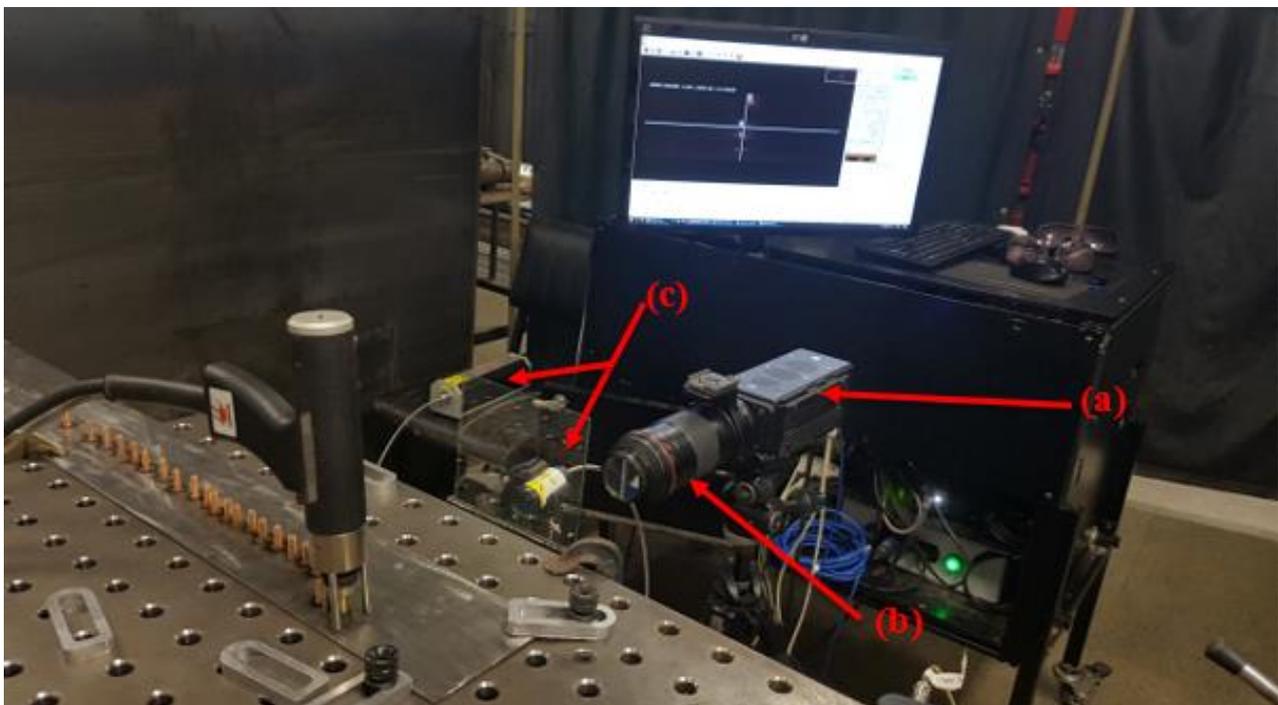


Figura 7. Set-up da filmagem de alta velocidade: (a) Câmera IDT/Y4S2, (b) Lente Macro Canon EF 180 mm L USM e (c) iluminação laser CAVITAR/Cavilux HF.

Adicionalmente, foram submetidos testes para qualificação de cada procedimento de soldagem apresentado na Tab. 3. A norma AWS D1.1/D1.1M:2020 (2020) prevê a realização de 10 testes de dobramento, torque ou tração para a qualificação do procedimento de soldagem. Nesse estudo, foram realizados 10 testes de dobramento e 10 testes de torque para cada ensaio elencado na Tab. 3. Para o teste de dobramento, foi utilizado um dispositivo para submeter os pinos ao dobramento. Para o teste de torque, foi utilizado um torquímetro de estalo RAVEN/100200.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A soldagem dos pinos M6 nas chapas de 2,65 mm de espessura foram realizadas de acordo com a matriz de ensaio apresentada na Tab. 3. Para cada ensaio, foram soldados 20 pinos para serem submetidos à qualificação do procedimento de soldagem, sendo 10 submetidos ao teste de dobramento e os outros 10 submetidos ao teste de torque. Os testes foram realizados conforme preconizado na norma AWS D1.1/D1.1M:2020, que exige que os testes sejam realizados até a falha/ruptura do pino, sendo o procedimento considerado aprovado e qualificado desde que esta falha/ruptura não ocorra na região da solda. A Figura 8 apresenta um exemplo do resultado dos testes de dobramento (Fig. 8a e Fig. 8b) e de torque (Fig. 8c e Fig. 8d).

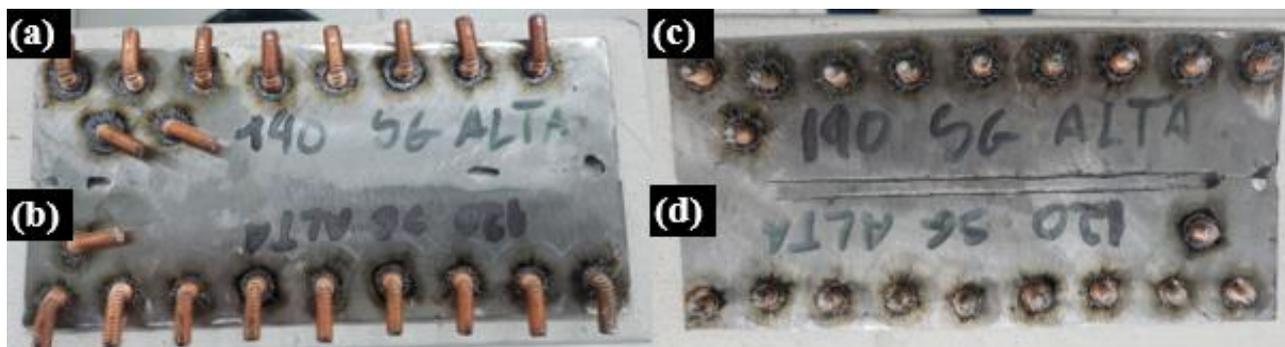


Figura 8. Resultado dos ensaios para qualificação de procedimento: (a) teste de dobramento ensaio n° 3, (b) teste de dobramento ensaio n° 6, (c) teste de torque ensaio n° 3 e (d) teste de torque ensaio n° 6.

O resultado dos testes de dobramento e de torque de todos os ensaios estão apresentados na Tab. 4.

Tabela 4. Resultados dos testes de qualificação dos procedimentos de soldagem

Ensaio	Teste de Dobramento			Teste de Torque			Resultado Final
	Pinos aprovados	Pinos reprovados	Resultado	Pinos aprovados	Pinos reprovados	Resultado	
1	10	0	Aprovado	10	0	Aprovado	Aprovado
2	10	0	Aprovado	10	0	Aprovado	Aprovado
3	10	0	Aprovado	10	0	Aprovado	Aprovado
4	10	0	Aprovado	10	0	Aprovado	Aprovado
5	10	0	Aprovado	10	0	Aprovado	Aprovado
6	10	0	Aprovado	10	0	Aprovado	Aprovado
7	10	0	Aprovado	10	0	Aprovado	Aprovado
8	9	1	Reprovado	7	3	Reprovado	Reprovado
9	5	5	Reprovado	8	2	Reprovado	Reprovado
10	1	9	Reprovado	4	6	Reprovado	Reprovado
11	9	1	Reprovado	10	0	Aprovado	Reprovado
12	9	1	Reprovado	10	0	Aprovado	Reprovado
13	5	5	Reprovado	7	3	Reprovado	Reprovado
14	1	9	Reprovado	0	10	Reprovado	Reprovado

É possível observar que os procedimentos de soldagem para o processo DC com contato foram satisfatórios e considerados qualificados, independentemente da tensão de carga (120 ou 140 V) e da pressão da mola (baixa, média ou alta). Já para o processo DC com *gap*, apenas o procedimento de tensão de carga de 140 V e pressão da mola baixa (lift máximo) passou na qualificação. Ainda para o processo DC com *gap*, os ensaios com tensão de carga de 120 V e pressão da mola baixa ou média não foram qualificados pois apenas 1 pino (correspondente a 10%) não passou no teste de dobramento.

Após a realização dos testes de qualificação para os diferentes ensaios de procedimentos de soldagem, foi realizada a macrografia e micrografia de um dos ensaios utilizando-se o processo de soldagem DC com contato, que obtiveram os melhores resultados nos testes de qualificação. As Figuras 9 e 10 mostram a macrografia e a micrografia, respectivamente, realizadas em um pino soldado com os parâmetros do ensaio n° 5 (processo DC com contato, tensão de carga de 120 V).

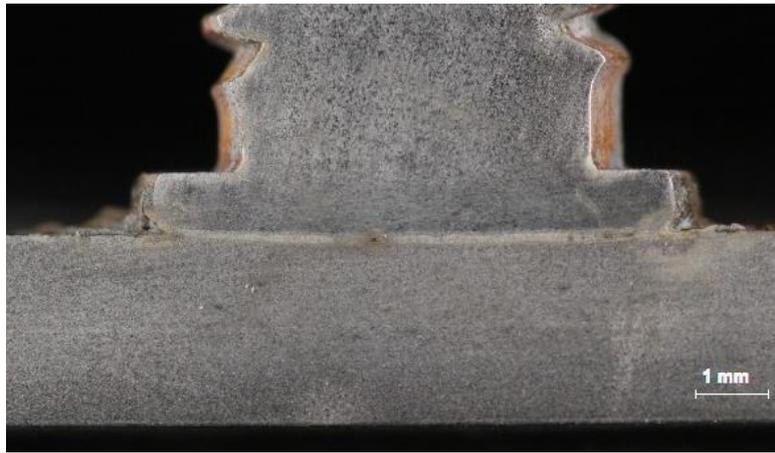


Figura 9. Macrografia de um pino soldado com os parâmetros do ensaio nº 5.

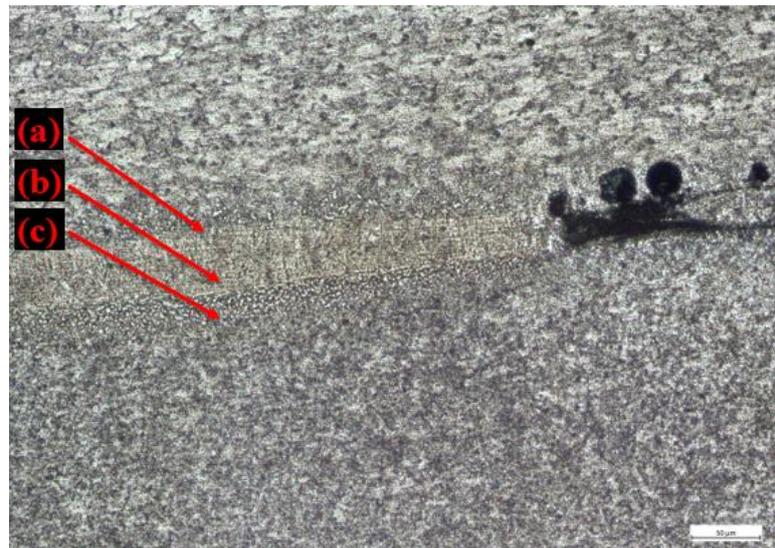


Figura 10. Micrografia de um pino soldado com os parâmetros do ensaio nº 5:
(a) ZAC do pino, (b) Zona Fundida e (c) ZAC do metal de base.

É possível verificar, tanto na macrografia quanto na micrografia, descontinuidades na solda. Na micrografia, essa descontinuidade é mais visível, sendo ela no formato de esferas, e por isso, provavelmente esta descontinuidade é um poro ocasionado pela retenção de gás durante o processo de soldagem, que como já foi mencionado, ocorre em questão de menos de 10 ms.

Outro fator relevante que é possível verificar analisando as imagens da macrografia e da micrografia, é possível verificar que a zona fundida é muito pequena, da ordem de 50 µm, e que a ZAC, tanto do pino quanto do metal de base, possui um valor menor ainda, o que se justifica pelo tempo de arco aberto ser muito pequeno no processo DC.

Por último, foi realizada a filmagem de alta velocidade para ambos os processos DC, com *gap* e com contato, para melhor entendimento e caracterização dos processos, além de possíveis análises de diferenças entre os mesmos. A Figura 11 mostra alguns quadros da filmagem do processo DC com contato. No quadro apresentado na Fig. 11a, é possível verificar que o pino se encontra posicionado sobre o metal de base, em contato através da *tip* do pino. A Figura 11b apresenta o momento em que ocorre a abertura do arco e que é possível observar que a ponta *tip* foi fundida instantaneamente. A Figura 11c apresenta o processo durante o arco aberto, em que é possível observar a poça de fusão no pino e a poça de fusão no metal de base. A Figura 11d mostra o final do processo, com o pino já soldado no metal de base.

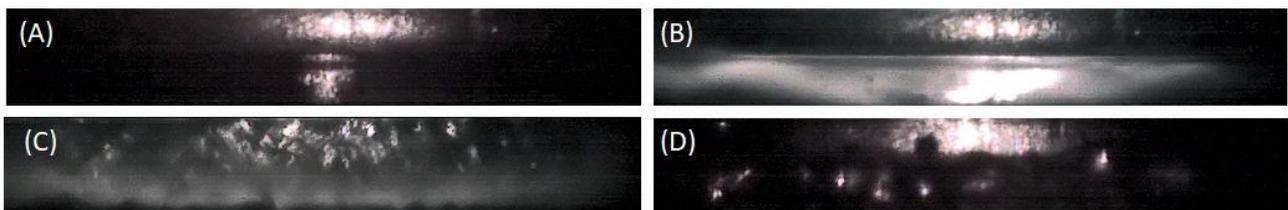


Figura 11. Quadros da filmagem de alta velocidade com 41.666 quadros por segundo: (a) antes da abertura do arco, (b) instante da abertura do arco elétrico, (c) durante o arco aberto e (d) após a extinção do arco elétrico.

Já a Figura 12 ilustra os quadros da filmagem de alta velocidade do processo DC com *gap*. Na Figura 12a, o pino já se encontra na posição de elevação com a atuação do solenoide. Após a atuação do solenoide, a mola é liberada e empurra o pino em direção ao metal de base. A Figura 12b mostra o momento em que o pino se encontra em deslocamento contra o metal de base, instantes antes da *tip* do pino encostar no metal de base. Quando o pino encosta no metal de base (Fig. 12c), através da *tip*, o arco elétrico é aberto e a *tip* é fundida instantaneamente, fazendo com que o pino continue sendo empurrado pela mola da pistola, com uma certa velocidade, sem que ocorra uma frenagem mecânica. A Figura 12d ilustra o final do processo, já com o pino soldado no metal de base.

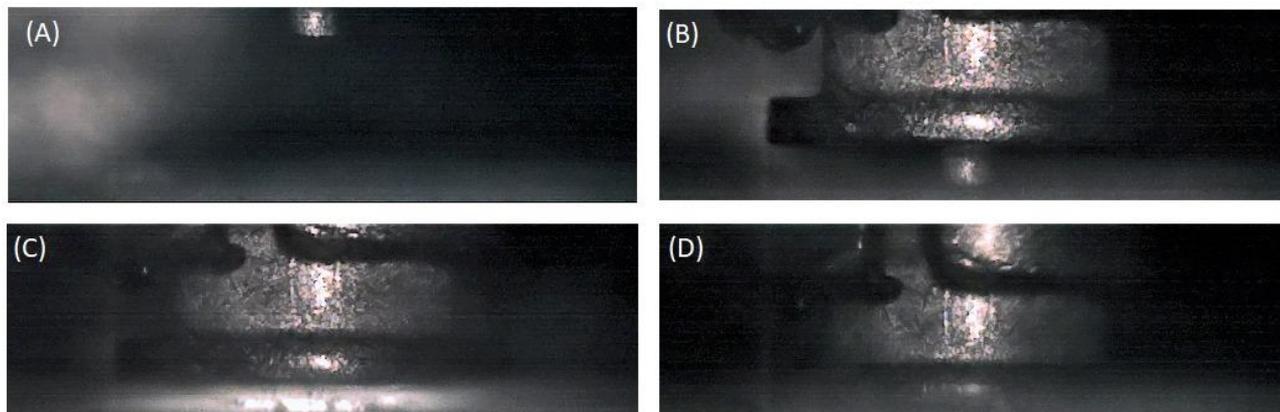


Figura 12. Quadros da filmagem de alta velocidade (25.000 quadros por segundo) do processo DC com *gap*:
(a) pino na posição de elevação devido à atuação do solenoide, (b) instante antes da abertura do arco,
(c) instante da abertura do arco elétrico e (d) após a extinção do arco elétrico.

Nas filmagens de alta velocidade, foi possível verificar que no processo DC com *gap* o arco elétrico é aberto no momento que a *tip* encosta no metal de base, e desta forma, fecha-se o contato e o banco de capacitores descarrega a energia armazenada. Outro fator relevante é que foi possível calcular o tempo de arco aberto, e com isso, verificou-se que esse tempo é menor para o processo DC com *gap*. Essa característica já era esperada, uma vez que no processo DC com contato, o pino inicia a trajetória da posição estacionária, ou seja, da velocidade igual a zero, levando mais tempo até atingir o metal de base.

Alguns parâmetros foram possíveis de serem calculados na filmagem de alta velocidade. Para tal, o instante inicial considerado foi o do momento da abertura do arco e o instante final foi o do momento da extinção do arco. Desta forma, foi possível calcular a distância percorrida pelo pino durante esses instantes, bem como o tempo em que ocorreu esse deslocamento, que nada mais é do que o tempo de arco aberto. Com esses 2 parâmetros, foi possível calcular a velocidade média de descida do pino entre esses 2 momentos. Esses parâmetros estão apresentados na Tab. 5.

Tabela 5. Parâmetros medidos e calculados

Ensaio	Distância (mm)	Tempo (ms)	Velocidade Média (m/s)
1	0,63	1,70	0,37
2	0,62	1,39	0,44
3	0,68	1,51	0,45
4	0,69	1,39	0,49
5	0,58	1,22	0,47
6	0,66	1,32	0,50
7	0,67	0,92	0,73
8	0,68	1,12	0,61
9	0,66	1,56	0,42
10	0,69	2,04	0,34
11	0,63	1,04	0,60
12	0,66	1,48	0,45
13	0,66	1,40	0,47
14	0,69	1,88	0,36

Assim sendo, é possível verificar que a distância percorrida pelo pino em todos os ensaios foi praticamente a mesma, na ordem de 0,65 mm, o que se justifica que o momento de abertura do arco acontece, para todos os processos DC, com a ponta *tip* encostada no metal de base, e esse deslocamento se dá até que a parte sólida do pino encontre a parte sólida do metal de base. Já o tempo de deslocamento do pino é inferior para o processo DC com *gap* (exceto para a pressão altíssima), e conseqüentemente, a velocidade média é maior para este mesmo processo. Isso se justifica na questão de que

o pino no processo DC com *gap*, já está com uma certa velocidade no momento de abertura do arco, o que não acontece com o processo DC com contato, em que o pino inicia o movimento do repouso quando ocorre a abertura do arco elétrico.

Já para o processo DC com *gap* com pressão da mola altíssima, o tempo de arco aberto e a velocidade de deslocamento do pino não ocorrem com as mesmas características do processo DC com *gap* com as outras pressões da mola. Isso deve-se pelo fato de que o solenoide atua, mesmo não conseguindo elevar o pino, porém ele não permite que a mola empurre o pino. Mas como o pino já se encontra com a ponta *tip* em contato com o metal de base, a abertura do arco acontece, ainda com o solenoide atuando. Somente após a liberação do solenoide, a mola empurra o pino em direção ao metal de base.

Foi possível calcular a média do tempo de deslocamento do pino durante o arco aberto para as 2 variações do processo de soldagem de pinos DC. É preciso ressaltar que para esse cálculo foi desconsiderado o resultado obtido no processo DC com *gap* com a pressão da mola altíssima (ensaios 10 e 14), pelas peculiaridades descritas no parágrafo anterior. Para o processo DC com contato (ensaios 1 a 6), a média dos tempos de deslocamento foi de 1,42 ms. Já para o processo DC com *gap* (ensaios 7 a 9 e 11 a 13), a média dos tempos de deslocamento foi de 1,25 ms.

4. CONCLUSÕES

Os experimentos constataram, por meio dos testes de qualificação realizados, para os diferentes procedimentos de soldagem, em conformidade com a AWS D1.1/D1.1M:2020, os procedimentos de soldagem que utilizaram o processo de soldagem DC com contato foram aprovados, para todas as variações de parâmetros testados: tensão de carga (120 ou 140 V), pressão da mola (alta, média e baixa). Já para o processo DC com *gap*, os resultados foram satisfatórios apenas para pressão da mola baixa (permite um *lift/gap* alto) com tensão de carga de 140 V. Ainda para o processo DC com *gap*, os procedimentos com tensão de carga 120V e pressão da mola baixa e média não foram aprovados pois apenas 1 pino (10%) não passou no teste de dobramento.

Através da macrografia obtida, foi possível observar algumas regiões com descontinuidades, que podem ter ocorrido devido à formação de bolhas de gás aprisionado que não teve tempo suficiente para escapar da Zona Fundida, uma vez que o tempo de soldagem é bastante inferior, na ordem de 1 a 2 ms, como é apresentado na Tab. 5. Já através da análise da micrografia, é possível observar de forma clara as regiões da soldagem: zona fundida, ZAC do pino e ZAC do metal de base. Ainda na zona fundida, é possível verificar que é uma região com grãos colunares.

Nas filmagens de alta velocidade, observa-se que o tempo de arco aberto para o processo DC com contato é, em média, 13,4% maior, quando comparado com o processo DC com *gap*. Isso se justifica, pois, o pino inicia o deslocamento, após a abertura do arco, do repouso. Com um tempo maior de arco aberto, é possível se ter uma poça de fusão com mais material fundido, e assim, uma poça de fusão de maior dimensão, corroborando para os resultados nos testes de qualificação dos procedimentos de soldagem terem sido superiores para o processo DC com contato. Ressalta-se que o processo com *gap* com pressão altíssima não foi considerado para essa comparação, e precisa ser feita a análise de forma separada, uma vez que as filmagens em alta velocidade mostram que o solenoide não permite a descida do pino, ficando um tempo maior de arco.

Devido às pressões das molas entre as pistolas de cada processo DC, com *gap* e com contato, serem distintas, é difícil chegar a uma conclusão fidedigna entre as diferenças dos processos. Ainda assim, mesmo com os resultados obtidos, entende-se que é indispensável estudos mais aprofundados para complementar o presente estudo, principalmente no que tange a equacionar a diferença da pressão da mola das pistolas, e se possível, que seja realizado com uma mesma pistola que permita realizar as duas variações para o processo DC: com *gap* e com contato.

5. REFERÊNCIAS

- AMERICAN WELDING SOCIETY. **AWS D1.1/D1.1M:2020: Structural Welding Code - Steel**. 24 ed. Miami, 2020.
- CHAMBERS, H.A. **Principles and Practices of Stud Welding**. Pci Journal. Elyria, Ohio, 2001.
- EYRES, D. J., & BRUCE, G. J. **Welding and cutting processes used in shipbuilding**. In Ship Construction, 81–101 (2012). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-097239-8.00009-X>.
- GERDAU. **Certificado de Qualidade nº 8132313755/000010**. Gerdau, 2021.
- HARADA, Y., SADA, Y., & KUMAI, S. **Joining steel studs and steel plates by solid-state stud welding and estimation of temperature near the joint interface**. Journal of Manufacturing Processes, 23(9), 75–82 (2016). <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2016.05.009>.
- MAGDA, A., BURCA, M., & LEGO, M. **Research Regarding Capacitor Discharge Stud Welding with Tip Ignition on Galvanized Thin Sheets**. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 416 (2018), 012015. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/416/1/012015>.
- 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>.
- OH, H. S., LEE, J. H., & YOO, C. D. **Simulation of capacitor discharge stud welding process and void formation**. Science and Technology of Welding and Joining, 12(3), 274–281 (2007). <https://doi.org/10.1179/174329307X166803>.
- SOYER. **Operating Instructions**. Stud Welder: BMS-10N and BMS-10NV. Heinz Soyer Bolzenschweißtechnik GmbH. Germany, 1995.

- 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 agosto de 2022.
- ZHANG, Q., ZHANG, B., LUO, Y., YANG, G., & ZHENG, H.-X. **Effect of the Welding Process on Microstructure, Microhardness, and Residual Stresses of Capacitor Discharge Stud Welded Joint**. Journal of Manufacturing Science and Engineering, 144 (2022). <https://doi.org/10.1115/1.4051533>.

6. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

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

CHARACTERIZATION OF M6 STUD WELDING USING THE CAPACITOR-DISCHARGE STUD WELDING PROCESS

Tiago de Siqueira Lima Marchione¹

Duván Sánchez Quintana²

Régis Henrique Gonçalves e Silva³

Álisson Fernandes da Rosa⁴

Leonardo Matos Brasil⁵

Lucas Maraschin⁶

^{1, 2, 3, 4, 5, 6}Universidade Federal de Santa Catarina – Instituto de Soldagem e Mecatrônica (LABSOLDA), Campus Universitário, Trindade - Florianópolis – SC, CEP: 88040-900

¹tiago.marchione@posgrad.ufsc.br

²d.s.quintana@posgrad.ufsc.br

³regis.silva@ufsc.br

⁴alisson.fernandes@posgrad.ufsc.br

⁵matos.brasil@grad.ufsc.br

⁶lucas.maraschin@grad.ufsc.br

Abstract. *The stud welding process was developed and implemented in the shipbuilding industry during World War II, applied to the construction of aircraft carriers, simplifying assembly and reducing time and operating costs in shipbuilding. This process has advantages over other welding processes, given its short lead time and small distortion, positioning it as one of the fastest welding processes. Today, the stud welding process is widely used to fix pipe supports in hangars, trays for electrical installations, isolation, and wood fixtures, as well as to weld other types of fittings such as hooks and rings. It should be noted that there are two variations of this process depending on the technology employed to generate the electric arc: drawn-arc and capacitor-discharge. The capacitor-discharge (CD) stud welding process has 2 variations: initial-contact and initial-gap. The difference is basically in the elevation or not of the stud before the opening of the arc through the discharge of the capacitor bank. In this context, this study aims to make an analysis of the characterization of the welding of 6 mm diameter threaded studs with the different variations of the CD stud welding process, initial-contact and initial-gap, as well as its parameters, evaluating the differences of the welds obtained and the results of the qualification tests to which the welded studs were submitted. The study verified the difference between CD stud welding processes (initial-contact and initial-gap) through high speed filming, in which it was possible to observe the characteristics of the process during the open electric arc. The results suggest that the initial-contact DC stud welding process is more reliable as it has a longer arc time, and consequently, a greater amount of melted material.*

Keywords: Stud Welding; Capacitor-Discharge; Initial-gap; Initial-contact.

RESPONSIBILITY NOTICE

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