

PARAMETRIZAÇÃO DA TÉCNICA CMT (COLD-METAL TRANSFER) PIN VISANDO SUA APLICAÇÃO EM TROCADORES DE CALOR

Iaroslav Skhabovskiy, Universidade Federal de Uberlândia (UFU), skhabovskiy@hotmail.com
Nicolas Gartner, Institut Français de Mécanique Avancée (IFMA), nicolas.gartner@gmail.com
Caio Franco Rodrigues, Universidade Federal de Uberlândia (UFU), caio.franco93@hotmail.com
Ruham Pablo Reis, Universidade Federal de Uberlândia (UFU), ruhamreis@mecanica.ufu.br
Américo Scotti, Universidade Federal de Uberlândia (UFU), ascotti@ufu.br

Resumo. A fabricação de trocadores de calor eficientes de maneira robusta, rápida, e de menor custo sempre é desejado para indústria. Por exemplo, o setor eletrônico todo dia mais e mais exige aumento de processamento de dados, por meio de novos processadores, para resolver os problemas numéricos mais rápido. Como consequência disso é aumento de calor gerado no processador que necessário ser retirado para não danificá-lo. Outras aplicações seriam indústria termoeletrônica, automobilística, aeronáutica ou qualquer uma onde exista ciclos térmicos para gerar/perder energia térmica. A proposta deste trabalho é utilizar uma nova técnica de soldagem, denominada CMT (Cold-Metal Transfer) PIN. Esta aparece como um meio promissor para adicionar os pinos por processo a arco em superfícies metálicas para fins de construção os trocadores de calor. Mas por ser uma técnica muito particular e nova, pouco se sabe sobre a parametrização e também potencialidade desta técnica. Assim, este trabalho tem como objetivo principal verificar a influência dos parâmetros da técnica CMT PIN disponíveis ao usuário nas características geométricas dos pinos depositados e visando aplicação em trocadores de calor. Através de uma série de experimentos encontrou-se os limites operacionais da técnica CMT PIN tais como altura de $3,52 \pm 0,17$ até $5,42 \pm 0,08$ mm para o pino do tipo cabeça cilíndrica (cylindrical) e diâmetro de cabeça $1,21 \pm 0,11$ até $1,81 \pm 0,05$ mm para o pino do tipo cabeça abaulada (ball-head). Concluiu-se que o parâmetro “Ball/Cyl. Adaptation” é governante para definir entre o pino do tipo cabeça abaulada ou cabeça cilíndrica. Considerando o estudo de parametrização da técnica, fabricou-se uma pequena placa de aço ABNT 1020 com os pinos para fins de testar como um mini trocador de calor. Os resultados acompanhados com a câmera térmica mostraram o potencial da ideia.

Palavras chave: CMT (Cold-Metal Transfer) PIN, trocadores de calor, parametrização.

1. INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, a maneira de se fabricar produtos, incluindo bens manufaturados, tem se modificado. Para se manter competitivos, os fabricantes têm procurado produzir com mais qualidade, mas sempre buscando concomitantemente minimizar os tempos e os custos de produção e por outro lado maximizar aproveitamento da matéria prima. Nesta linha se enquadra a chamada Manufatura Aditiva (*Additive Manufacturing*). Na manufatura aditiva peças são construídas com alto grau de automação depositando material de maneira a se ter produtos pelo menos próximos do formato final. Vários processos podem ser utilizados para manufatura aditiva: os baseados em tecnologias de cama de pó (*powder bed*), como fusão seletiva por laser ou por feixe de elétrons (fontes de energia ainda de elevado custo, o que torna máquinas dedicadas muito caras e fora do alcance da maioria das empresas) e os processos baseados em tecnologias de deposição propriamente dita, como deposição de metal por feixe de elétrons, por laser ou por processos de soldagem a arco elétrico, estes últimos de menor custo.

O processo proposto para se desenvolver a manufatura aditiva por soldagem neste caso é o MIG/MAG CMT PIN. Este processo tem como base o processo mãe denominado CMT (*Cold-Metal Transfer*). No CMT, um arame é alimentado continuamente e um arco elétrico (protegido por um gás inerte ou neutro) é aberto entre a ponta do arame e o material a ser soldado, semelhantemente ao processo MIG/MAG convencional. A diferença entre o MIG/MAG convencional e o CMT está numa tocha especial, que permite a reversão do avanço do arame. Esta reversão se dá sempre que o arame toca a poça de fusão, permitindo uma transferência suave da gota para a poça (neste instante, a corrente é também reduzida drasticamente, não havendo os picos de correntes de curtos-circuitos), sem respingos (perda de material). Como o arco consegue ficar sempre curto, a energia calorífica transferida para a peça é muito baixa, justificando o nome *Cold-Metal Transfer* e causando poucas alterações metalúrgicas no metal de base. A diferença do CMT convencional para o CMT PIN reside no fato que este último embarca um programa de controle que, antes de haver a reversão, faz com que o arame fique um tempo mais longo encostado na poça, mas com o arco apagado, permitindo um esfriamento e uma consequente soldagem da ponta do arame no metal de base. Logo em seguida, uma corrente baixa é imposta, de tal forma a aquecer e amolecer o arame soldado, mas não o suficiente por si só para rompê-lo e abrir o arco. Com o movimento de reversão iniciado, o arame fica sujeito a uma força trativa e é rompido no ponto menos resistente, como num ensaio de tração, formando pinos sobre a chapa. Modificações de alguns parâmetros permitem formar pinos de diferentes tamanhos e geometrias conforme mostrado na Figura 1.

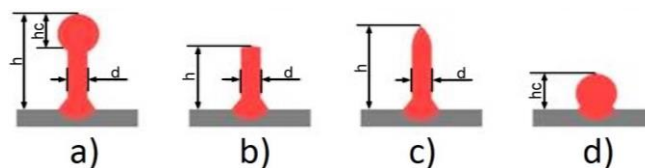


Figura 1. Diferentes geometrias de pinos possíveis com a técnica CMT PIN: a) cabeça abaulada (*ball-head*); b) cabeça cilíndrica (*cylindrical*); c) cabeça pontiaguda (*pike*) e d) impressão (*print*), onde: h – altura do pino; hc – altura/diâmetro da cabeça do pino; d – diâmetro do pino (Fronius, 2008)

2. METODOLOGIA, RESULTADOS E CONCLUSÕES

Neste trabalho buscou-se conhecer cada parâmetro passível de mudança pelo usuário no controle remoto RCU 5000i (modo sinérgico) para ver a influência dos mesmos nas características geométricas dos pinos depositados e sua posterior aplicação na superfície metálica de chapa fabricando um trocador de calor. A Figura 2 mostra a tela do controle remoto RCU 5000i com programa-sinérgico para depositar os pinos e os possíveis mudanças neste modo sinérgico. Foi utilizado arquivo do programa-sinérgico DB0875 que permite depositar os dois tipos de pinos de arame de aço ao carbono (G3Si1) com diâmetro de 1,0 mm do tipo cabeça abaulada e cabeça cilíndrica. Neste programa apenas duas opções são disponíveis ao usuário para mudar as características geométricas do pino. A primeira é “Altitude Adaptation” correspondendo a altura do pino com sua faixa de regulagem de -30 até +30 e a segunda é “Ball/Cyl. Adaptation”, que é relação entre pino do tipo cabeça abaulada e cabeça cilíndrica. Consequentemente, quanto maior o valor da relação (o máximo é +5,0), maior abaulamento/cabeça do pino depositado. Quanto menor (o mínimo é -5,0), o pino fica com cabeça mais cilíndrica (Figura 2). Este trabalho foi feito combinando os valores de cada um destes parâmetros.

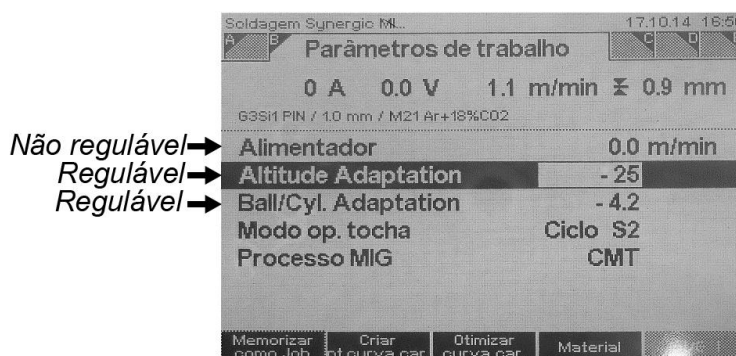


Figura 2. Tela do controle remoto RCU 5000i com o programa-sinérgico DB0875 para depositar os pinos pela técnica CMT PIN e as possíveis mudanças neste modo sinérgico

Os experimentos com deposição dos pinos desta etapa foram feitos com um arame da classe AWS ER70S-6, com diâmetro nominal de 1 mm (valor verificado de $0,99 \pm 0,00$ mm). Uma mistura nominal de Ar+10,7%CO₂ foi usada como gás de proteção a uma vazão de 10 l/min (confirmada por meio de um fluxômetro - bibímetro calibrado). A composição química da mistura foi verificada 3 vezes através de um analisador comercial de gás (Oxybaby®). A DBCP (Distância Bico de Contato Peça) foi de 15 mm, a chapa de aço consistiu de aço ABNT 1020 de $1,48 \pm 0,02$ mm de espessura e o programa-sinérgico DB0875 com seu subprograma G3Si1 PIN foi utilizado. Todas as deposições de pinos foram realizadas com o robô modelo HP20 da MOTOMAN com seis graus de liberdade e demais equipamentos necessários, tais como, a fonte de soldagem da Fronius TPS5000 CMT regulada pelo controle remoto RCU 5000i com programa DB0875; cabeçote alimentador de arame Fronius VR 7000 CMT; tocha de soldagem Fronius PullMig CMT refrigerada à água e mesa de soldagem. Foram feitos todos os procedimentos necessários para começar o processo de deposição conforme descrito no manual da fabricante do equipamento (Fronius, 2012). O processo de deposição dos pinos foi realizado na posição plana com no mínimo de 3 repetições de cada parâmetro (experimento).

Após conhecer cada parâmetro de regulagem disponível ao usuário da técnica CMT PIN, foram escolhidos os parâmetros de pino do tipo cabeça cilíndrica com maior altura que a técnica conseguiu depositar para aplicar na superfície de chapa metálica por fins de fabricar um mini trocador de calor. A Fig. 3 mostra a ilustração da chapa com pinos depositados que foi produzida e comparada com outra sem pinos por meio de uma câmera térmica. Como metodologia, propõe-se avaliar o uso de pinos produzidos em loco, por manufatura aditiva, sobre superfícies de substratos a serem utilizados como trocadores de calor.

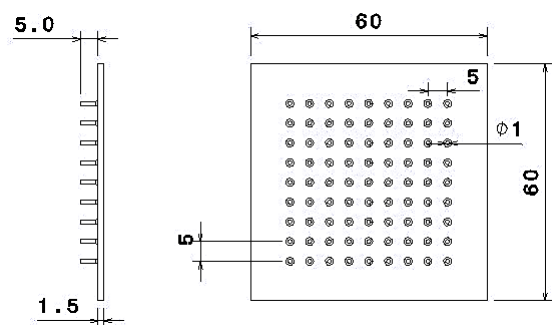


Figura 3. Ilustração da placa com os pinos com suas características geométricas

A Tab. 1 mostra a combinação dos parâmetros de deposição dos pinos com suas características geométricas obtidas da etapa de parametrização deste trabalho. Todas as medidas das características dos pinos foram feitas por meio de um micrômetro devidamente calibrado. Neste trabalho duas maneiras de variação dos parâmetros de deposição dos pinos foram utilizadas: primeiro fixando “*Ball/Cyl. Adaptation*” e variando “*Altitude Adaptation*” com suas características geométricas obtidas e segundo fixando “*Altitude Adaptation*” e variando “*Ball/Cyl. Adaptation*” com suas características geométricas obtidas. Os valores dos parâmetros variados foram testados dentro do seu limite operacional disponível no controle remoto (de máximo até mínimo), enquanto o parâmetro fixo foi mantido na regulagem zero. Assim, o experimento denominado de Exp 1.4 é a referência, uma vez que ambos fatores de entrada estavam na posição intermediária (zero). A Fig. 4 mostra aspectos de alguns dos pinos depositados do tipo cabeça cilíndrica (Exp. 1.1) e do tipo cabeça abaulada (Exp. 2.6).

Tabela 1. Parâmetros de deposição dos pinos com suas características geométricas obtidas

Nº exp.	Parâmetro “ <i>Altitude Adaptation</i> ”	Parâmetro “ <i>Ball/Cyl. Adaptation</i> ”	Altura média de pino depositados (mm)	Diâmetro médio de cabeça (mm)	Tipo de pino depositado
1.1	+30,0	0,0	5,42 ± 0,08	—	Cabeça cilíndrica
1.2	+20,0	0,0	5,17 ± 0,10	—	Cabeça cilíndrica
1.3	+10,0	0,0	4,99 ± 0,07	—	Cabeça cilíndrica
1.4	0,0	0,0	4,64 ± 0,08	—	Cabeça cilíndrica
1.5	-10,0	0,0	4,26 ± 0,02	—	Cabeça cilíndrica
1.6	-20,0	0,0	3,83 ± 0,08	—	Cabeça cilíndrica
1.7	-30,0	0,0	3,52 ± 0,17	—	Cabeça cilíndrica
2.1	0,0	-5,0	—	—	—
2.2	0,0	-2,5	4,06 ± 0,18	—	Cabeça cilíndrica
2.3	0,0	-1,3	4,13 ± 0,21	—	Cabeça cilíndrica
2.4	0,0	0,0	4,64 ± 0,08	—	Cabeça cilíndrica
2.5	0,0	+1,3	4,49 ± 0,16	—	Cabeça abaulada
2.6	0,0	+1,6	4,16 ± 0,20	1,65 ± 0,04	Cabeça abaulada
2.7	0,0	+1,9	4,57 ± 0,18	1,30 ± 0,05	Cabeça abaulada
2.8	0,0	+2,1	4,19 ± 0,04	1,21 ± 0,11	Cabeça abaulada
2.9	0,0	+2,5	4,62 ± 0,14	1,53 ± 0,03	Cabeça abaulada
2.10	0,0	+5,0	4,05 ± 0,18	1,81 ± 0,05	Cabeça abaulada

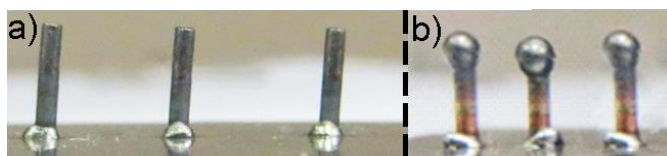


Figura 4. Aspecto dos pinos depositados dos Exp. 1.1 (a) e Exp. 2.6 (b) pela técnica CMT PIN com três repetições de cada experimento

Durante execução dos Exp. de 1.1 até 1.7 (Tabela 1) obteve-se pinos somente do tipo cabeça cilíndrica, já que a regulagem do “Ball/Cyl. Adaptation” estava em zero. A Figura 4(a) mostra o aspecto típico dos pinos depositados, neste caso do Exp. 1.1, onde percebe-se boa aparência e repetibilidade do processo de deposição. A Figura 5 (esquerda) mostra a altura do pino depositado em função do “Altitude Adaptation”. É importante destacar que o aumento do valor de “Altitude Adaptation” faz realmente crescer o tamanho do pino com tendência quase linear, mas apenas em cerca de 2 mm.

Já durante a execução dos Exp. de 2.1 até 2.10 (Tabela 1) foram obtidos os dois tipos de pinos do tipo cabeça cilíndrica e cabeça abaulada já que a regulagem do “Altitude Adaptation” estava em zero variando somente “Ball/Cyl. Adaptation”. A Figura 5 (direita) mostra relação entre a altura média e o diâmetro médio de cabeça do pino depositado em função da regulagem do “Ball/Cyl Adaptation”, com “Altitude Adaptation” fixado em 0. Percebe-se que não existe uma tendência muito clara em relação à altura do pino, mas quando o parâmetro de entrada “Ball/Cyl Adaptation” fica mais próximo do 0.0 os pinos ficam maiores. E quando mais longe do 0 os pinos ficam menores. É importante destacar que na faixa do parâmetro de entrada “Ball/Cyl Adaptation” de -3.0 até +1.0 o efeito da regulagem sobre a altura do pino não é claro. Isso demonstra que o parâmetro “Ball/Cyl Adaptation” não tem função de controlar a altura do pino depositado, apesar de afetar marginalmente seu valor.

Após o estudo do processo foi construído um mini trocador de calor, para isso, foram escolhidos os parâmetros de deposição dos pinos pela técnica CMT PIN para realizar a ideia mostrada na Fig. 3. Os parâmetros de deposição dos pinos para fabricar uma placa (mini trocador de calor) foram “Ball/Cyl Adaptation” igual a 0.0 e “Altitude Adaptation” igual a +30. Os mesmos garantem um pino do tipo cabeça cilíndrica com altura de $5,42 \pm 0,08$ mm e foram escolhidos levando em consideração maior área superficial e volume do material/massa do pino para aumentar a eficiência de trocador de calor máximo possível. A Fig. 6 mostra placa com 81 pinos depositados no total (mini trocador de calor), onde: (a) aspecto da placa; (b) imagem da câmera térmica durante teste de aquecimento. Esta placa foi aquecida e resfriada por meio de um soprador de ar quente e de ar ambiente, respectivamente, para fins de comparação. O mesmo procedimento foi feito com a placa igual só que sem pinos depositados na superfície. Como esperado, os resultados mostraram que a placa com os pinos depositados na superfície se aquece e resfria mais rápido, indicando o potencial para uso do processo CMT PIN para fabricação de trocadores de calor.

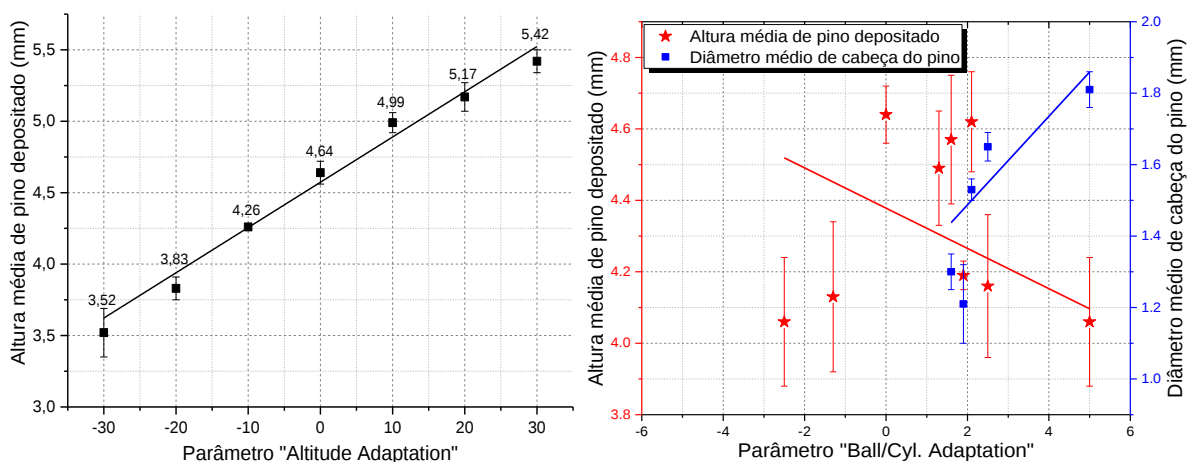


Figura 5. Características geométricas dos pinos, onde: esquerda - relação entre a altura média do pino depositado e a regulagem do “Altitude Adaptation”, com “Ball/Cyl. Adaptation” fixando em 0; direita - relação entre a altura média e o diâmetro médio de cabeça do pino depositado e a regulagem do “Ball/Cyl Adaptation”, com “Altitude Adaptation” fixando em 0

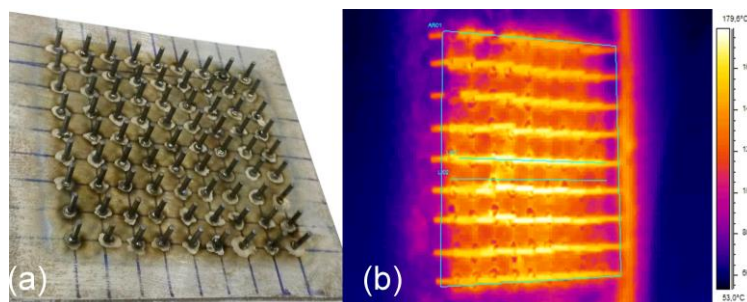


Figura 6. Placa com 81 pinos depositados no total (mini trocador de calor), onde: (a) aspecto da placa; (b) imagem da câmera térmica durante teste de aquecimento

Finalmente, pode-se concluir que:

- Os dois parâmetros de regulagem para deposição dos pinos do tipo cabeça abaulada e cabeça cilíndrica da técnica CMT PIN disponíveis ao usuário – “*Altitude Adaptation*” e “*Ball/Cyl. Adaptation*” regulam altura e tipo/diâmetro de cabeça do pino, respectivamente.
- O presente trabalho mostrou que a técnica CMT PIN tem seus limites operacionais relacionados às características geométricas dos pinos. Por exemplo, a altura do pino pode ser alterada de $3,52 \pm 0,17$ até $5,42 \pm 0,08$ mm, aproximadamente de 2 mm entre o ponto mínimo e máximo da regulagem. E o diâmetro de cabeça $1,21 \pm 0,11$ até $1,81 \pm 0,05$ mm. É importante destacar que os resultados das características geométricas dos pinos pela técnica CMT PIN foram obtidos fixando outros parâmetros do processo de deposição, tais como, DBCP, gás de proteção, temperatura de ambiente e superfície da chapa, tocha com refrigeração à água, grau de inclinação da tocha, etc. Se um destes parâmetros for modificado, não há garantias que as características geométricas serão as mesmas. A influência dos parâmetros citados será verificada em trabalhos futuros.
- Foi observado o potencial processo CMT PIN para fabricação de trocadores de calor.

3. REFERÊNCIAS

Fronius, 2012. Manual de Instrução de Operação do Controle Remoto RCU 5000i. pp. 195-200.
 Fronius, 2008. www.alganmetal.com.tr/eng/default.asp?sayfa=urundetay&AlbumID=187&Kid=4.

4. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o grupo Laprosolda da FEMEC-UFU pela oportunidade de realização deste trabalho, assim como à CAPES, CNPq e FAPEMIG, pelas bolsas de pós-graduação e pesquisa dos autores.

5. ABSTRACT

The manufacture of robust, faster, cheaper and efficient heat exchangers is always important to industry. For example, in the electronic industry always demands increase of the data processing by means of new processors for solving numerical problems faster. As a result, heat generated is generally increased in the processor that needs to be cool down to not suffer damage. Other applications would be in thermoelectric, automobile, aeronautics or any other industry where exist thermal cycles to generate/lose thermal energy. The purpose of this work is to use a new welding technique, called CMT (Cold Metal Transfer) PIN, that appears promising as a means to add the pins by arc process on metal surfaces for construction of heat exchangers. However, this technique is quite new and there is almost no disclosed information about the parameterization and potential of this technique. The objective of this work is to investigate the influence of CMT PIN process parameters available to the user in the geometric characteristics of the deposited pins and the potential of application of this technique for manufacturing of heat exchangers. Through a series of experiments the operating limits of CMT PIN were found, such as the height of pin from 3.52 ± 0.17 to 5.42 ± 0.08 mm for the cylinder pin type and diameter of the head from 1.21 ± 0.11 to 1.81 ± 0.05 mm for the ball-head pin type. It was concluded that the parameter "Ball/Cyl. Adaptation" is responsible to change between the cylindrical and ball-head pin types. Considering the parameterization of the technique, a small heat exchanger was manufactured as a small steel plate with pins deposited on it for testing. The results accompanied with a thermal camera showed the potential of the idea.

6. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

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