

## ANÁLISE DE SINTERIZAÇÃO DE PEÇAS METÁLICAS ASSISTIDA A ARCO ELÉTRICO

Fernanda Signor, signor.aero@gmail.com<sup>1</sup>

Cristiano José Scheuer, cristiano.scheuer@gmail.com<sup>1</sup>

Natália de Freitas Daudt, natalia.daudt@ufsm.br<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal de Santa Maria, Grupo de Tecnologia e Mecânica dos Materiais - GMAT - Departamento de Engenharia Mecânica, UFSM, 97105-900, Santa Maria, RS, Brasil.

**Resumo.** Os processos de soldagem a arco elétrico são tradicionalmente utilizados nos setores industriais para união de componentes. Entretanto, com os avanços tecnológicos, surgiram novas abordagens produtivas utilizando tais processos. No caso da utilização de pós metálicos, a aplicação de processos de soldagem de alta densidade de energia (laser e feixe de elétrons) já foi amplamente investigada, estando em vias de transferência para o setor produtivo. Porém, o elevado custo destes processos constitui uma limitante à sua consolidação na indústria. Objetivando contribuir com a difusão do emprego dos processos de manufatura aditiva a arco elétrico, neste trabalho foi investigada a viabilidade técnica de emprego do processo de soldagem TIG para consolidação de pós na manufatura aditiva de metais. Amostras compactadas de Fe-2P vol.% foram submetidas a ação do arco elétrico produzido por uma corrente de soldagem de 30 A. Especificamente, foi avaliado o efeito da velocidade de varredura da tocha, sendo investigados os valores de 200, 300 e 400 mm/min. O material processado foi caracterizado utilizando microscopia óptica e medidas de microdureza na escala Vickers. Os resultados preliminares apresentados evidenciam um potencial promissor de emprego dos processos de soldagem a arco para consolidação de pós na manufatura aditiva de metais.

**Palavras chave:** Manufatura aditiva de metais. Consolidação de pós metálicos. Soldagem a arco. Soldagem TIG.

**Abstract.** The electrical arc assembly processes are used in industrial components to join components. Technological advances, innovative solutions using production processes. In the case of using metallic powders, the application of high-density installation processes (laser and electrons) has already been widely investigated, and is in the process of transferring energy to the productive sector. However, the cost of these processes constitutes a limitation to their consolidation in the industry. Aiming to contribute to the diffusion of the use of additive manufacturing processes to electric arc, this work investigated the technical feasibility of using the TIG fixing process for the construction of post-natural additive metals. Current flow samples 2P vol.% Fe were compressed to the arc flash operation values produced by an arc flash measurement action of 30 A, and the torch current measurement methods were evaluated, and the torch current measurement values were evaluated. specific measurements of 200, 300 and 400 mm/min. The processed material was characterized using optical microscopy and microhardness measurements on the Vickers scale. The preliminary results presented show a promising potential for the use of the processes of installing an arc for consolidation of powders in the additive manufacturing of metals.

**Keywords:** Additive manufacturing of metals. Consolidation of metallic powders. Arc welding. TIG welding.

### 1. INTRODUÇÃO

A manufatura aditiva (MA) é uma tecnologia que promete reduzir os custos dos produtos, mitigando o desperdício de matéria-prima e tempo durante a sua produção. Além disso, a fabricação empregando técnicas de MA também propicia uma economia de peso pela possibilidade de otimização topológica dos produtos (WILLIAMS et al., 2014). Essas características têm propiciado uma atenção cada vez maior do meio acadêmico e setor produtivo em relação aos processos de MA (DING et al., 2015). Uma confirmação disso, é o grande número de processos de MA desenvolvidos ao longo das últimas décadas.

De acordo com a terminologia padrão da norma ASTM F2792 (2012), as tecnologias para MA de metais são classificadas principalmente em: fusão de pó, deposição por energia dirigida, jato de aglutinante e laminação. Estas técnicas de MA empregam matéria-prima na forma de pó ou fio metálico.

A maioria das pesquisas envolvendo o tema MA de metais tem se concentrado nos processos de fusão em leito de pó utilizando laser e feixe de elétrons, deposição direta de pó e arame utilizando laser, e deposição direta de arame utilizando processos a arco elétrico (GMA – *gas metal arc welding*, GTA – *gas tungsten-arc welding* e PTA – *plasma transferred arc welding*) (DING et al., 2015).

O emprego de pós metálicos para produção de componentes por MA reflete as vantagens tradicionalmente creditadas à técnica de Metalurgia do Pó (elevado aproveitamento da matéria-prima, capacidade de produção de peças com características estruturais específicas, fabricação de componentes partindo-se de matéria-prima com composição química diversa, etc.) (CREMONEZI et al., 2009). Todavia, na MA a sua utilização exige o emprego de fontes de energia de alto custo e baixa taxa de produção, o que dificulta a sua consolidação em meio produtivo como técnica de fabricação (FRAZIER, 2013).

Uma alternativa para contornar essas limitações é empregar métodos de junção com elevado aporte térmico, como por exemplo os processos de soldagem a arco elétrico. Tais processos, além de propiciarem menor tempo de produção, também apresentam custos operacionais reduzidos (TALAŞ et al., 2014). Embora estas vantagens tornem os referidos processos atrativos para MA de peças a partir de pós-metálicos, a dificuldade de controle do aporte térmico, e a frequente ocorrência de porosidade, oxidação e fissuras nos componentes produzidos acabam por desestimular o seu emprego (HAMILL 2007). Entre as técnicas de soldagem a arco disponíveis, o processo de soldagem a arco elétrico com proteção gasosa e eletrodo de tungstênio – TIG, é o mais indicado para a união de pós metálicos devido à flexibilidade no controle dos parâmetros de influência, como por exemplo o aporte térmico e a proteção gasosa (XIA et al., 2010).

Com o intuito de contribuir com a expansão do emprego dos processos de manufatura aditiva de metais a arco elétrico, neste trabalho foi investigada a viabilidade técnica de emprego do processo de soldagem TIG para consolidação de pós da liga Fe-2P vol.%, avaliando o efeito da velocidade de varredura da tocha.

## 2. METODOLOGIA

As amostras utilizadas neste estudo foram produzidas a partir da compactação a quente de uma carga injetável utilizada para moldagem por injeção. Para sua produção, utilizou-se uma prensa metalográfica. A carga empregada é composta por 72% em volume de pós da liga Fe-2P e 28% de um sistema de ligantes, o qual por sua vez é constituído por 70% em volume de parafina, 25% em volume de polietileno e 5% de ácido esteárico. O procedimento de preparação da matéria-prima é descrito em detalhes por Daudt et al. (2018). As amostras de compactado a verde obtidas apresentam simetria circular com diâmetro de 3,5 mm e altura de 0,5 mm, conforme ilustrado na Fig. 1.

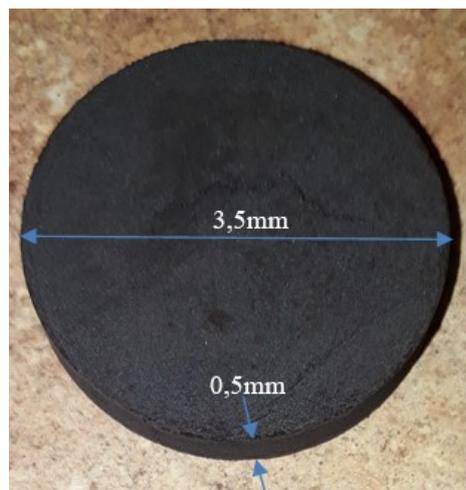


Figura 1. Dimensões das amostras de compactado a verde produzidas (Autores)

A Figura 2 esquematiza o aparato experimental utilizado para consolidação à arco elétrico das amostras de compactado a verde. Este é composto por: uma fonte de soldagem da marca Lincoln Eletronic, modelo IM467-B, a qual é constituída por um sistema de ignição por alta frequência; um sistema mecanizado de movimentação de tocha de soldagem do tipo tartilope da marca White Martins, modelo MC 46; uma tocha para soldagem TIG da marca Vonder, com sistema de refrigeração por circulação de água; e uma bancada de trabalho sobre a qual foi montado o porta amostra e o tartilope. Clarifica-se que as amostras de compactado a verde foram simplesmente apoiadas sobre o porta amostra.

Um eletrodo de tungstênio classe EWTh-2 (com adição 2% de óxido de tório) de 1,6 mm de diâmetro e ângulo de afiação de 30° foi utilizado (o ângulo de afiação foi verificado após cada refusão, sendo o eletrodo re-afiado quando verificado o seu desgaste). A extensão livre de eletrodo adotada foi de 5 mm, e a distância entre o eletrodo e a peça de 5 mm.

A consolidação do compactado a verde foi realizada na sua região central, utilizando modulação da fonte de soldagem em corrente contínua com polaridade direta. A corrente de soldagem empregada foi de 30 A. O gás utilizado foi o argônio, alimentado a uma vazão de 12 l/min. As velocidades de deslocamento da tocha foram avaliadas forma 200, 300 e 400 mm/min.

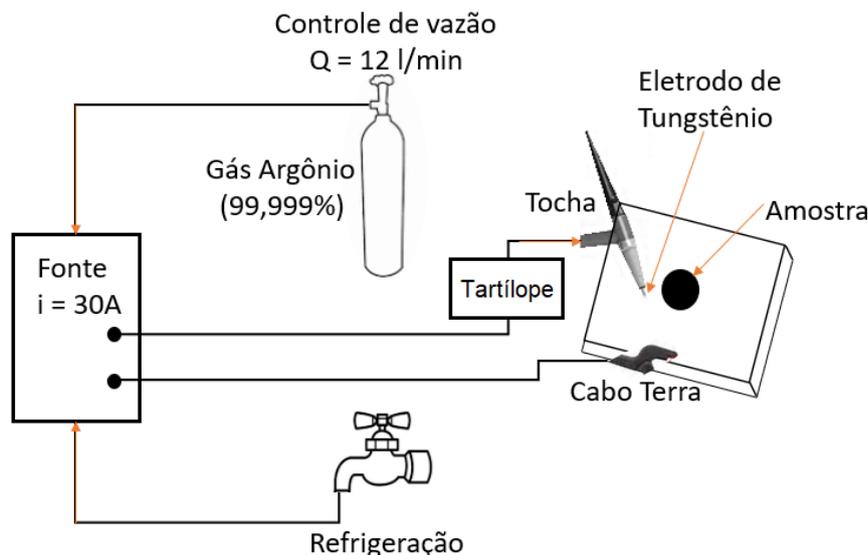


Figura 2. Esquema do aparato utilizado para consolidação dos pós metálicos (Autores)

As amostras consolidadas foram caracterizadas através de ensaio metalográfico e por medidas de microdureza na escala Vickers. Para possibilitar a realização da caracterização metalográfica, as amostras foram cortadas perpendicularmente ao sentido de consolidação. Para a execução destes cortes, utilizou-se uma cortadeira metalográfica da marca Struers-Panambra modelo Mesoton. Os corpos de prova obtidos foram moldados em resina Baquelite utilizando uma prensa embutidora metalográfica da marca Risitec modelo RS-30. Posteriormente, estes foram preparados por meio de operações de lixamento e polimento, empregando-se uma lixadeira politriz da marca 38 Struers-Panambra modelo DP-10. Após preparo, a análise da microestrutura dos corpos de prova consolidados foi realizada por meio de microscopia óptica, usando um microscópio ótico da marca Olympus modelo BX60M. As medições de microdureza foram realizadas no topo das amostras sobre a região consolidada pelo arco elétrico, utilizando um microdurômetro da marca Shimadzu modelo HMU-2, aplicando-se uma carga de 100 gf por 10 s.

### 3. RESULTADOS

#### 3.1 Análise Micrográfica

Nas Figura 3 são ilustradas as micrografias da seção transversal das amostras consolidadas empregando-se as velocidades de deslocamento da tocha de (a) 200, (b) 300 e (c) 400 mm/min, respectivamente. Por meio da análise da Figura 3a é possível identificar a ocorrência de uma camada superficial densificada por fusão-solidificação. Essa camada foi formada junto à região de acoplamento da amostra com o arco elétrico de soldagem, devido ao elevado aporte térmico desenvolvido localmente, em função da conversão da energia cinética dos elétrons que compõem o arco elétrico em energia térmica. Na região abaixo desta camada superficial densificada, é observada uma região intermediária constituída por óxidos que possivelmente sofreram flotação a partir da poça de fusão. Acredita-se que essa camada de óxido tenha se formado a partir da interação entre o metal fundido e o oxigênio contido no interior da porosidade interligada das amostras compactadas a verde.

Ainda, abaixo desta camada de óxidos, verifica-se a existência de uma região onde ocorre a sinterização das partículas de pós. Neste ponto, devido à maior distância em relação à região de acoplamento com o arco e maior proximidade do porta amostras, supõem-se que a temperatura atingida seja inferior ao ponto de fusão da liga, promovendo a densificação por sinterização. Esse mesmo padrão de morfologia (ou seja, densificação por fusão-solidificação, camada de óxido e densificação por sinterização) também é verificado para a amostras consolidada empregando uma velocidade de 400 mm/min (Fig. 3c). Neste último caso, porém, verifica-se que os poros existentes na camada superficial densificada por

fusão-deposição (Fig. 3a) apresentam dimensões maiores àqueles observadas para o caso da densificação utilizando a velocidade de 200 mm/min (Fig. 3c).

Uma justificativa possível para isso é que a maior instabilidade da poça de fusão produzida pela maior velocidade de deslocamento da tocha, possa facilitar a absorção de gases, gerando maior porosidade. A micrografia da amostra consolidada utilizando uma velocidade de deslocamento da tocha de 300 mm/min (Figura 3b), por sua vez, não evidencia a ocorrência da camada intermediária de óxidos e a existência de porosidade na camada externa densificada por fusão-solidificação. Neste caso, acredita-se que o valor de velocidade adotada seja adequado para permitir tanto a expulsão dos gases retidos na poça de fusão antes da sua solidificação, evitando assim a formação dos poros; quanto de possibilitar a exaustão da camada de óxido na sua subsuperfície. Entretanto, não foi encontrada uma evidência clara que suporte este argumento, sendo necessários estudos adicionais para detalhar melhor esse fenômeno.

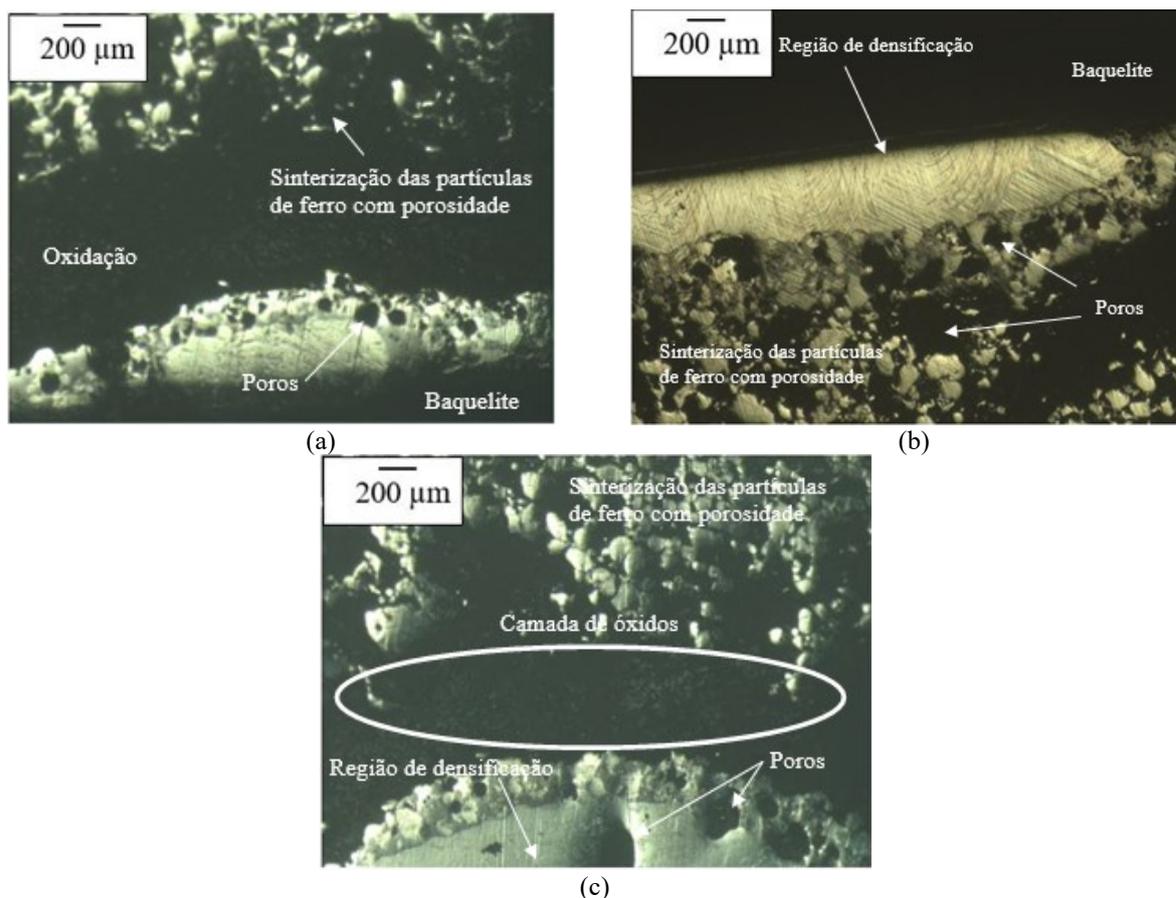


Figura 1. Micrografias da seção transversal da amostra consolidada empregando a velocidade de (a) 200 mm/min, (b) 300 mm/min e (c) 400 mm/min (Autores)

### 3.2 Microdureza

Na Figura 4 são apresentados os valores de dureza medidos no topo das amostras (sobre a região consolidada pelo arco elétrico) consolidadas sob as diferentes velocidades de deslocamento da tocha. Verifica-se que o emprego da velocidade de 300 mm/min levou à obtenção de uma maior dureza. Neste caso, supõem-se que a maior dureza deve-se a inexistência de porosidade na camada superficial consolidada por fusão-solidificação (conforme comprovado na Fig. 3b). A menor dureza da amostra consolidada sob a velocidade de 200 mm/min em relação àquela consolidada sob a velocidade de 400 mm/min provavelmente esteja vinculada ao maior número de poros existentes na primeira (conforme pode ser verificado pela análise comparativa entre as Fig. 3a e Fig. 3c).

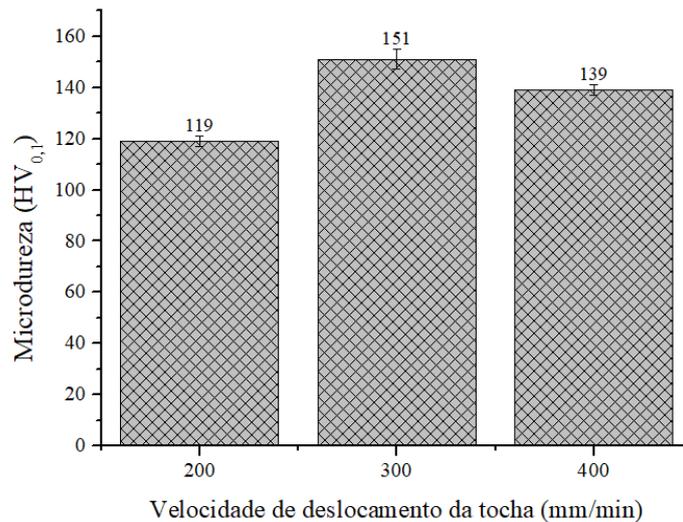


Figura 4. Microdureza das amostras em função da velocidade de deslocamento da tocha (Autores)

#### 4. CONCLUSÕES

Os resultados preliminares aqui obtidos evidenciam o potencial promissor de emprego do processo de soldagem TIG para consolidação de pós na manufatura aditiva de metais. Para as amostras consolidadas sob as velocidades de 200 e 400 mm/min, a ação do calor do arco elétrico promoveu a formação de uma camada consolidada por fusão-solidificação na região do seu acoplamento com as amostras; uma camada intermediária de óxidos; e uma região sinterizada abaixo desta. O emprego da velocidade de varredura da tocha de 300 mm/min além de gerar uma densificação mais homogênea (isenta de poros), não exibiu a ocorrência de camada intermediária de óxidos. Estas características são responsáveis pela maior dureza exibida por esta condição.

#### 5. AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Universidade Federal de Santa Maria por nos proporcionar oportunidades de conhecimento e à CAPES pelo suporte aos estudos.

#### 6. REFERÊNCIAS

- ASTM F2792-12a. Standard Terminology for Additive Manufacturing Technologies: (Withdrawn 2015), ASTM International, West Conshohocken, PA, 2012.
- A. Cremonesi *et al.* Metalurgia do Pó. 1ª ed. São Paulo: Editora Metallum, 2009.
- C.Z. Xia; Y. J. Li; J. Wang; U.A. Puchkov; Y.N. Jiang. *Studies on weldability of NiChrome-laminated powder alloy using TIG welding.* Kovove Materialy 48 (2010) 257–263.
- D. Ding; Z. Pan; D. Cuiuri. H. Li. *Wire-feed additive manufacturing of metal components: technologies, developments and future interests.* International Journal of Advanced Manufacturing Technology 81 (2015) 465-481.
- J. Hamill. *Weld techniques give powder metal a different dimension.* Metal Powder Report 62 (2007) 22-31.
- N.F. Daudt; T.L. Schütz dos Santos; I.F. Limberger; R.L. Seeger; L.S. Dorneles; C. Binder; L. Schaeffer. *Highly porous Fe-2wt%P alloy produced by plasma assisted debinding and sintering of injection-molded parts.* Materials Letters 231 (2018) 163-166.
- S.W. Williams; F. Martina; A.C. Addison; J. Ding; G. Pardal; P. Colegrove. *Wire & Arc Additive Manufacturing.* Materials Science and Technology 32 (2015) 641-647.
- Ş. Talaş; M. Doğan; M. Çakmakkay; A. Kurt. *The Effect of Voltage on the Arc Stud Welding of Microwave Sintered Fe+Al Powder Mixture.* Materials Research 17 (2014) 632-637
- W.E. Frazier. *Metal Additive Manufacturing: A Review* 23 (2014) 1917-1928.

#### 7. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

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