

MANUFATURA ADITIVA POR FUSÃO LOCALIZADA: PRODUÇÃO DE PRÉ-FORMA PARA O PROCESSO DE FORJAMENTO

Tiago Luís Andrade Pereira¹

Anderson Daleffe²

Resumo: O processo de forjamento em matriz fechada, é utilizado mundialmente para dar formas em metais, dependendo do design e da forma geométrica, esse protótipo poderá ser comprimido repetidas vezes para obter o modelo desejado. Porém nessa fase a pré-forma poderá apresentar desperdícios de material na forma de rebarba, devido a sua geometria complexa, tais como cantos e furos. O objetivo deste estudo é de realizar prototipagem rápida na produção de pré-formas com manufatura aditiva através do processo de fusão localizada, logo visando uma economia em matéria prima, mão de obra e de tempo laboratorial utilizado. Foram preparados quatro corpos de provas através da fusão localizada, que gerou a deposição do aço sobre uma superfície base, para constituir uma pré-forma de uma biela, onde três desses corpos de provas foram submetidos ao processo de forjamento. Realizou-se análise da macroestrutura e microestrutura do aço, sendo que foi possível comprovar que o corpo de prova utilizado no processo de forjamento sofreu um refinamento dos grãos, onde a força de compressão impulsionou a reoxidação superficial para dentro da cavidade da biela. Através do uso de manufatura aditiva com fusão localizada é viável realizar a pré-forma com as características necessárias. Busca-se com esse método, a inovação para forjamento de forma eficaz, atendendo as normas de fabricação e as necessidades do mercado como personalização, custo baixo e eficiência no processo.

Palavras-chave: Manufatura Aditiva, Forjamento, Pré-forma, Impressora 3D.

1 INTRODUÇÃO

O contexto global é resultado das revoluções industriais que percorremos até o momento, de forma a atender as necessidades da atualidade. A partir da primeira revolução industrial destaca-se à produção mecânica apoiada na máquina a vapor. Na segunda revolução o fator principal foi a energia elétrica com o objetivo da produção em massa. Depois a terceira revolução automatizou a produção por meio da eletrônica e das tecnologias de informação e comunicação. Atualmente, na quarta

¹ Graduando em Engenharia Mecatrônica. E-mail: tiago.pereira.x@gmail.com

² Professor do Centro Universitário UniSATC, E-mail: Anderson.daleffe@satc.edu.br

revolução industrial está sendo caracterizada pelo desenvolvimento da inteligência artificial e robótica (ALMEIDA, 2017).

A indústria 4.0 evoluiu o método de manufatura e destaca-se pela junção do mundo físico com o mundo digital através das impressoras 3D por exemplo. Nesse contexto, a manufatura aditiva está presente na quarta revolução. Com a aplicação desse processo é possível o desenvolvimento de novas tecnologias de produção, novos materiais, novas formas de armazenamento, processamento, partilha de dados, menor quantidade de resíduos gerados pelo processo, customização, menor tempo de produção e destinação final, dentre outras vantagens (FÉLIX, 2017).

Por meio da utilização de impressoras 3D por arco elétrico de solda é possível a fabricação de peças complexas pela deposição de material camada a camada, sem restrições em seus projetos geométricos. A partir dessa impressão torna-se viável a criação de peças únicas, que possam ser reprojctadas e dimensionadas para impressões em grande volume, sem custos de reequipamento além de resultar em uma maior eficiência referente a outros modos de manufaturas (PAMPLONA, 2018).

A impressão por arco elétrico de solda é realizada por vários tipos de processos, tais como a MIG/MAG - GMAW (*Gás Metal Arc Welding*). Mediante esse processo de automatização obtêm-se excelentes propriedades mecânicas em decorrência de sua alta taxa de deposição e baixo custo operacional (PAMPLONA, 2018). Com a utilização desse processo camada a camada, o metal fundente torna-se uma gota, sendo que a junção de várias gotas constitui a geometria. Porém em razão da deposição do material ser esférica não produz uma resolução ideal para a peça (SILVA et al. 2020). Logo é necessário aprimorar as técnicas de controle da estrutura formada, visando melhorar a qualidade superficial do produto manufaturado por meio do controle do aporte térmico.

Nesse contexto, o presente trabalho versará sobre como realizar a deposição do material na fabricação de pré-formas para o processo de forjamento. Desse modo, através da manufatura aditiva objetiva-se permitir que a indústria reduza o tempo de produção de uma determinada peça, devido a mesma não precisar passar pelo processo de fundição; logo possibilitando a produção de peças com geometrias complexas, podendo utilizar mais de um tipo de metal na confecção do objeto e assim reduzindo a quantidade de material depositado internamente do modelo 3D.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 FUSÃO POR ARCO ELÉTRICO DE SOLDA

Devido a sua grande aplicabilidade, a soldagem representa um papel de grande importância dentro da cadeia produtiva industrial, sendo utilizada na fabricação dos mais variados componentes e estruturas metálicas e na recuperação de peças danificadas. Conforme estudos desenvolvidos, por definição, a soldagem é um método de união, mas podemos utilizar alguns processos de soldagem para fazer a deposição do material camada a camada denominada como manufatura aditiva ou buscando recuperar peças desgastadas formando um revestimento, normalmente este revestimento contém propriedades especiais como maior dureza (IFSC, 2016).

Segundo o estudo desenvolvido pela AWS – (*American Welding Society*, 1994) a soldagem é definida como uma coalescência localizada de metais ou não metais, produzida pelo aquecimento dos materiais até a temperatura de fusão, com ou sem a aplicação de pressão, ou com aplicação de pressão com ou sem o uso de metal de adição. Os processos de soldagem a arco elétrico mais utilizados são: com eletrodo revestido, TIG, MIG/MAG, arame tubular e plasma (MODENESI, 2012).

Sobre esse assunto, discorre Modenesi (2012), que o arco elétrico é uma fonte de calor bastante utilizada na soldagem por fusão de materiais metálicos. Com a utilização desse método, possibilitará vantagens como uma concentração adequada de energia para a fusão localizada do metal de base, baixo custo relativo do equipamento, facilidade de controle, dentre outros.

2.2 MANUFATURA ADITIVA

A manufatura aditiva é vista como um novo princípio de fabricação no qual impulsiona o projeto e a modelagem de peças metálicas de forma eficiente e célere. Essa MA (*Additive Manufacturing - AM*) é conceituada como um grupo de tecnologias que utiliza uma abordagem camada por camada para criar peças com forma livre; da parte de baixo até ao topo. Constitui-se em converter um modelo CAD 3D em camadas, e a partir dessa informação determinar a trajetória e os métodos de deposição, que posteriormente são processados por quatro componentes básicos:

controlador CNC; sistema de movimentação; fonte de energia; e um sistema alimentação do material de adição (GIBSON et al., 2010).

Nesse assunto, a manufatura aditiva segue uma sequência de oito etapas. São elas: modelagem em software (surgimento da ideia da função que o produto deve exercer e como ele deve se parecer, desenho em CAD); conversão em arquivo STL (formato STL é forma de representar a peça apenas com informação de geometria, as faces do modelo são aproximadas por uma série de faces triangulares,) transferência para a máquina (momento em que ocorre verificação se o formato e a escala da peça estão corretos, verificar o local onde a peça será construída dentro da máquina, e se o usuário pretende uma ou mais peças por vez, utilização de *softwares*); preparação do equipamento (as máquinas de manufatura aditiva possuem parâmetros que poderão ser alterados conforme a necessidade ou utilização de materiais que exigirão um parâmetro diverso do que estava); construção (processos semiautomatizados que exigem algumas tomadas de decisão e controles manuais nos primeiros momentos, logo após o equipamento começa a depositar as camadas de material); remoção e limpeza (as vezes para que ocorra as aplicações à qual a peça está sujeita serão as partes exigem uma superfície sem sujeiras/ excessos de material); pós processamento (momento em que ocorre ações manuais para finalização do objeto a ser produzido, como exemplo o polimento); e aplicação (seguido dos pós processamento as partes impressas estarão prontas para uso, sendo que com a impressão podem se formar pequenas bolhas e vazios no interior do material gerando anisotropia nas propriedades mecânicas do componente), (COTTELEER, 2016).

2.3 APORTE TÉRMICO

O aporte térmico é considerado a energia de soldagem, onde a estrutura molecular do aço será transformado em decorrência da temperatura aplicada, podendo interferir nas propriedades mecânicas do cordão de solda, tornando a região muito frágil a tração. Uma vez que a intensidade da fonte de calor de soldagem é de difícil medição, avalia-se um parâmetro diferente, chamado de aporte térmico ou energia de soldagem (E), resultante da energia introduzida no metal base pelo comprimento do cordão depositado (MODENESI, 2012).

Como o processo da manufatura aditiva ocorre através da sobreposição de camadas, é de suma observância que não haja uma grande concentração de calor na peça, para que as camadas não fiquem deformadas. O calor na manufatura aditiva é perdido por duas formas, condução e convecção. Com a adição de camadas, o calor começa a ficar mais concentrado já que a transferência do mesmo por condução é dificultada. A primeira camada possui a chapa de base para dissipar seu calor, já as camadas adjacentes possuem somente as camadas anteriores para cumprir essa tarefa, fazendo com que o aporte térmico aumente. Em decorrência da corrente no processo não ser muito elevada, trará como consequência, a transferência metálica por curto-circuito, caso haja aumento de corrente a transferência metálica se altera para modo spray (PAMPLONA, 2018).

A utilização do tempo de espera entre camadas é considerada como uma das técnicas de construções. Esse tempo tende a ficar maior nas camadas mais altas. Para diminuir esse tempo entre camadas, normalmente é aplicado métodos de resfriamento, tais como inserção de água ou outro material refrigerante, possibilitando assim o aumento na produtividade. Observa-se ainda que o sentido do cordão é capaz de mudar a estrutura do objeto formado. Quando o cordão se inicia no mesmo ponto, ocorre uma convexidade na poça de fusão, logo o início do cordão ficará mais alto. O inverso acontecerá com o final do cordão, e ocorre o rebaixamento do mesmo. Utiliza-se o termo “ZIG”, para formar o sentido de construção da soldagem, para que essa adição seja uniforme. A adição de camadas a parede terá uma visível diferença de altura entre o seu início e o seu final conforme apresentado na Fig. 1, característica do cordão de solda (PAMPLONA, 2018).

Figura 1: Parede formada pela deposição do material.



Fonte: Pamplona (2018)

2.4 PRÉ-FORMAS EM FORJAMENTO

As pré-formas para os produtos forjados são importantes ferramentas usadas e indicadas quando há uma elevada complexidade na geometria dos produtos, onde a sua obtenção não se dá adequadamente numa única etapa de operação. A grande cautela é que em muitos casos devido à complexidade da forma da peça, e mesmo adotando geratrizes (matérias-primas) semelhantes, podem ocorrer defeitos, que vão comprometer a qualidade do produto final. Nestes casos, a fim de suavizar a deformação do material entre as matrizes, devem ser previstas as pré-formas para garantir a qualidade e economia de matéria prima, (BRITES, 2009).

No forjamento em matriz é frequente a utilização de pré-formas, as quais têm impacto sobre a viabilidade técnica e/ou econômica do processo, já que o uso otimizado das pré-formas geram redução no custo da produção, em virtude da matéria-prima ser responsável por 30 a 50% do custo total unitário de um forjado. Logo, toda e qualquer redução na quantidade de material empregado no forjamento se reflete em economia para as empresas (FLAUSINO, 2010).

O dimensionamento correto da pré-forma proporciona um fluxo uniforme de material na matriz, evitando choques entre o material que está sendo deformado e a matriz, possibilitando ainda maior vida útil da ferramenta e melhor acabamento superficial do forjado. Outro fator que favorece a utilização de pré-formas é minimizar a força necessária à deformação, possibilitando a utilização de maquinário com menor capacidade (DINIZ, 2019).

3 PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS

Através dos testes experimentais desenvolvidos, o objetivo principal foi de produzir pré-formas em geometrias complexas para serem utilizadas no processo de forjamento. Nesse sentido, realizou-se experimentos iniciais que buscaram obter uma melhor geometria possível da pré-forma, sem que houvesse inclusões ou precipitações no objeto a ser elaborado. Para realização desse processo, foi utilizado um robô cartesiano com uma tocha MIG/MAG para a deposição do material. Após a fabricação dessa geometria, a mesma foi inserida a um forno à resistência de 1200°C

para normalização do material. Desta maneira a peça ficou submetida a compressão de forjamento. Nos ensaios realizados executou-se os procedimentos metalúrgicos, tais como macrografia e micrografia. Por meio desses testes foram verificados inclusões e precipitações.

3.1 MODELO GEOMÉTRICO

No estudo apresentado, foi utilizado uma biela representada na Fig.2, justamente em decorrência de sua geometria, visto que este objeto possui características únicas como furos e ângulos, que estão sujeitos a defeitos gerados durante o escorregamento no processo de forjamento.

Figura 2: Biela formada pelo processo de forjamento.

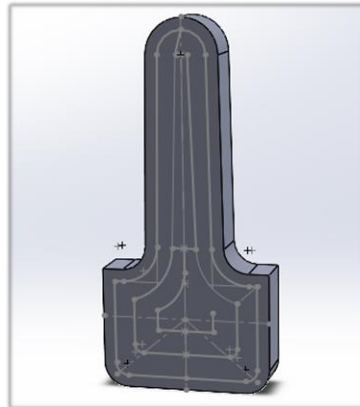


Fonte: Do autor (2021).

3.2 DESENHO DA GEOMETRIA

No processo de fabricação da biela por manufatura aditiva, o primeiro passo foi desenhar a peça em *SolidWorks* conforme a Fig. 3, para que fosse possível visualizar o caminho onde a tocha de deposição percorresse. Nessa etapa, foi verificado se o caminho deixado entre espaçamentos se tocam, mas, ao mesmo tempo não se sobreponham uns aos outros. Outro ponto importante foi a realização de testes de entrada e saída da tocha, com objetivo de evitar o acúmulo de material ou até mesmo falta do mesmo, como exemplo o surgimento de uma cratera.

Figura 3: Desenho dos passes da Biela.

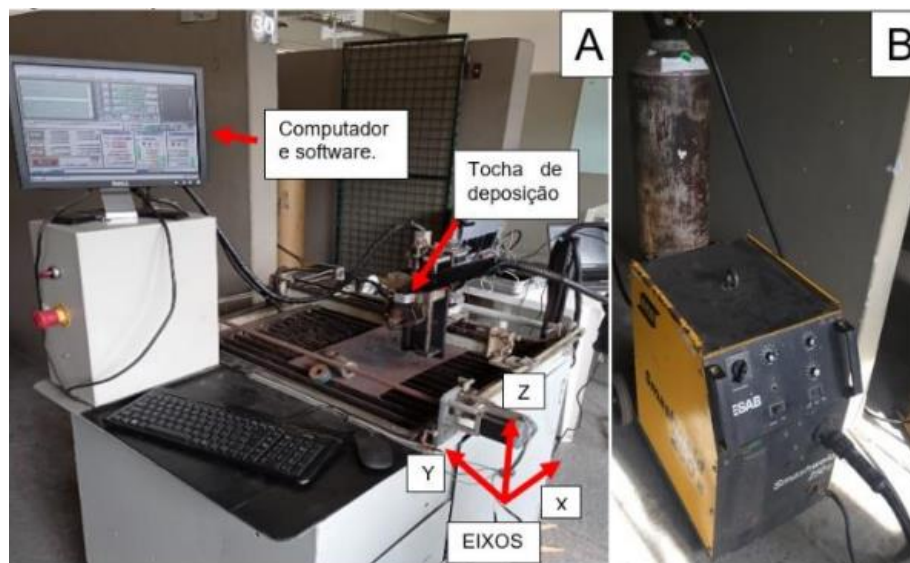


Fonte: Do autor (2021).

3.3 FUSÃO LOCALIZADA COM ROBÔ CARTESIANO

Na produção do estudo apresentado, utilizou-se de um robô cartesiano de 3 (três) eixos Fig. 4, que através de programação aplicada em um *software* de usinagem foi inserido dados da geometria disposto em *SolidWorks*. O equipamento utiliza-se da interface *mach3*, que através de coordenadas de usinagem desenhou a geometria da peça forjada. Para realização da fusão localizada utilizou-se uma máquina do processo MIG/MAG.

Figura 4: Conjunto de equipamentos para aplicação da manufatura aditiva. (A) máquina CNC dedicada, (B) máquina de soldagem MAG.



Fonte: Do autor (2021).

3.3.1 Ajuste de parâmetros para o ajuste da poça de fusão

Através dos testes para determinar a poça de fusão, os parâmetros utilizados foram na escala de 6 para o ajuste de tensão, e escala de 9,5 m/min para o avanço do arame. Nesse modelo de geometria, os testes realizados demonstraram uma poça de fusão ideal, conforme apresentado na Fig. 5.

Figura 5: Pré-forma de biela.

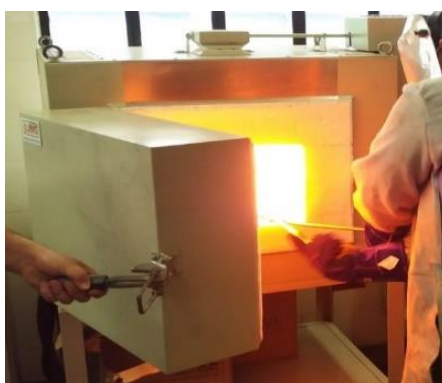


Fonte: Do autor (2021).

3.4 FORJAMENTO

Na operação de conformação mecânica, as peças foram inseridas no forno à resistência à uma temperatura de 1.200°C, em um forno da marca *Jung*, conforme apresentado na Fig.6, reduzindo assim as tensões do material, do encruamento e deixando a microestrutura homogênea.

Figura 6: Forno de Resistências.



Fonte: Do autor (2021).

3.4.1 Compressão

No trabalho foi utilizado uma prensa da marca FKL - Máquinas Hidráulicas, apresentado na Fig. 7, com uma compressão de 100 toneladas, nessa deformação mecânica o material assumiu o contorno da ferramenta conformadora chamada de matriz ou estampo.

Figura 7: Prensa de forjamento.

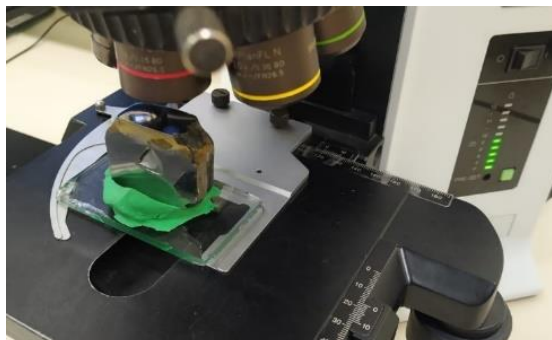


Fonte: Do autor (2021).

3.5 ANÁLISE MICROSCÓPICA

No processo de preparação para visualização da microestrutura, o material foi embutido, lixado, polido e atacado com uma solução de 2% de Nital. Nessa fase, o objetivo foi de adquirir as características necessárias do ensaio de micrografia e visualizar a formação dos grãos ou dentritas geradas na peça através do microscópio, apresentado na Fig.8.

Figura 8: Análise microscópica



Fonte: Do autor (2021).

4 RESULTADOS E ANÁLISE

4.1 CORPOS DE PROVA

Na realização da análise dos corpos de prova, foram fabricadas quatro peças conforme Fig. 9, onde as mesmas conseguiram definir uma pré-forma similar à geometria da biela proposta. Dentre esses corpos de provas, apenas um passou pela análise de macroestrutura e microestrutura sem forjamento, e os demais corpos de prova passaram pelo processo de forjamento. Depois desse processo foram realizadas análises no microscópio para verificação da sua microestrutura.

Figura 9: Pré-forma em Manufatura Aditiva.

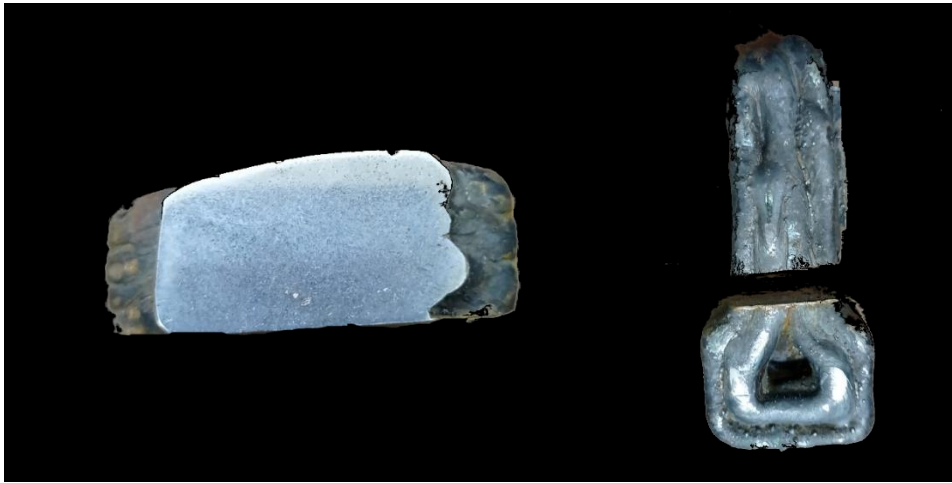


Fonte: Do autor (2021).

4.2 MACROESTRUTURA

O corpo de prova que não passou pelo processo de forjamento, foi condicionado a um corte na transversal para o ensaio de macrografia, sendo que constatou - se que a peça apresentou características homogêneas com a distribuição do material uniforme, como apresentado na Fig.10.

Figura 10: Ensaio de Macrografia sem forjamento.

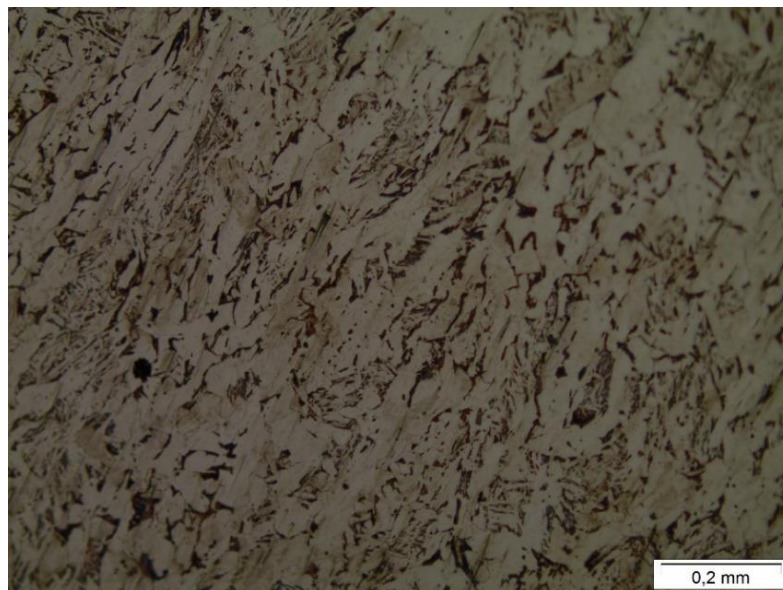


Fonte: Do autor (2021).

4.3 MICROESTRUTURA PRÉ-FORMA

Na análise de microestrutura apresentada na Fig.11, foi possível visualizar a orientação dos grãos e verificar que o processo de fusão do material não apresentou impurezas, como a reoxidação, carepa do metal base, dentre outros. Nesse sentido, o processo de fusão ficou uniforme à medida que camada a camada foram depositadas.

Figure 11: Micrografia sem forjamento.



Fonte: Do autor (2021).

4.4 FORMATO BIELA DEFINIDA

Conforme os testes realizados, após a compressão o formato de biela ficou definido, como demonstrado na Fig. 12. Aguardou - se o resfriamento natural e adequado da peça e foi realizado então um corte transversal para apresentação da orientação dos grãos internos.

Figura 12: Forjamento de bielas pelo processo de manufatura aditiva

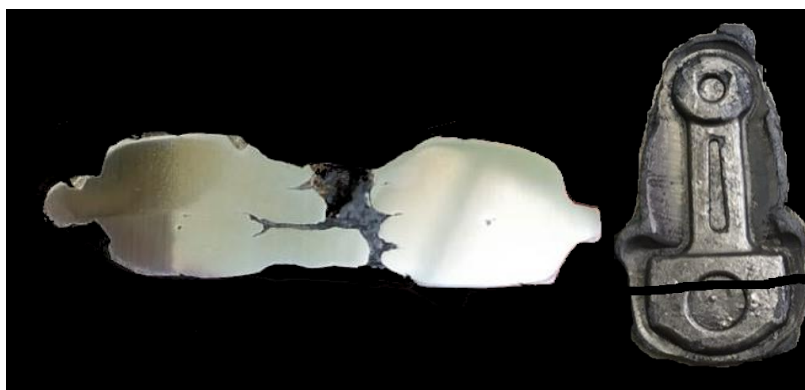


Fonte: Do autor (2021).

4.5 MACROESTRUTURA FORJADA

Após o processo de forjamento, realizou-se o ensaio de macrografia no corpo de prova e ficou constatado que a peça apresentou homogeneidade e fusão uniforme, sem inclusões na peça, como apresentado na Fig.13. Verificou-se também que a compressão impulsionou a reoxidação do material soldado para cavidade da matriz.

Figura 13: Corte para macroestrutura

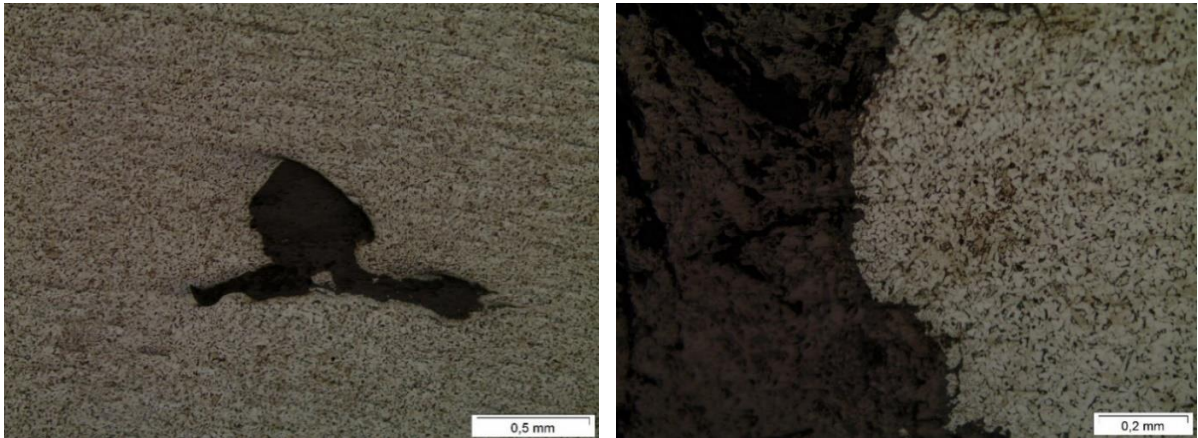


Fonte: Do autor (2021)

4.6 ANÁLISE DA MICROESTRUTURA

Na fase da análise da microestrutura foi realizado um corte transversal onde foram encontrados ferritas, perlitas e alguns pontos de reoxidação do material, conforme apresentado na Fig.14.

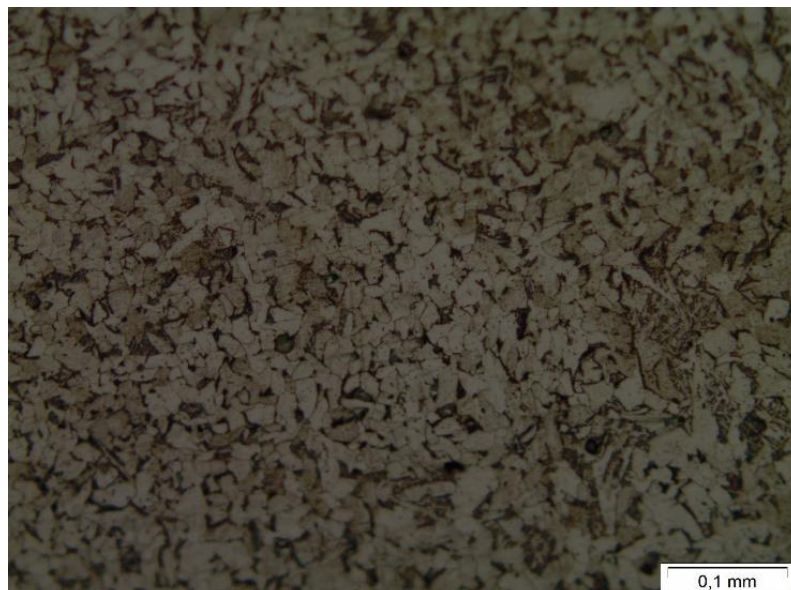
Figura 14: Inclusão de devido a reoxidação.



Fonte: Do autor (2021)

Devido a compressão do corpo de prova ocasionou o refinamento dos grãos, características normais para o processo de forjamento, conforme ilustrado na Fig.15.

Figura 15: Refinamento dos grãos.



Fonte: Do autor (2021)

5 CONCLUSÃO

O presente trabalho viabilizou a produção de pré-formas para o processo de forjamento com a sua prototipagem rápida, desse modo não se faz necessário a produção de matrizes para induzir uma pré-forma no material. Essa viabilidade diminuiu o tempo de produção de uma peça única com geometria variada ou indefinida, mostrando que a manufatura aditiva traz um novo marco para a produção de peças metálicas no ramo de forjamento.

Essas geometrias complexas como a da biela em questão, necessitou da realização de um projeto em CAD e CAM, para direcionar onde a tocha iria realizar o caminho da deposição do arame de solda e definir sua zona termicamente afetada. Ainda nesse sentido definir a sua posição de entrada e saída, sua cratera, dentre outras análises que são necessárias nesse processo de soldagem.

As análises de macroestrutura que foram realizadas nos quatro corpos de provas, demonstraram que houve fusão completa do material adicionado viabilizando a manufatura aditiva para construção de geometrias complexas.

Referente as microestruturas, o refinamento de grão ficou dentro do esperado, apresentando pequenas inclusões devido a reoxidação do material em decorrência do processo de soldagem. Também foi constatado que em razão do processo de compressão essas impurezas foram impulsionadas para o centro da cavidade da biela.

De acordo com os experimentos realizados, constatou-se que o processo de fusão localizada através de arco de solda, conseguiu gerar uma pré-forma, onde a mesma trará benefícios para as empresas de forjamento para viabilizar a prototipagem rápida de uma geometria complexa. Nota-se que através desse estudo, foi possível extrair o refinamento dos grãos e o realinhamento devido a compressão em que foi submetida, porém com a deposição de camadas sob camadas, o arco elétrico extraiu impurezas do metal base, sendo que ficou visível a camada de reoxidação.

Para trabalhos futuros propõem-se a utilização de materiais de uma melhor qualidade, maior dureza ou outros tipos de ligas metálicas na mesma geometria, e assim testar a viabilidade técnica do processo de manufatura aditiva e também utilizar arames de menor espessura para atingir maior definição ao protótipo a ser desenvolvido.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, Sílvia Marlene Canelas de. **Estudo sobre Perspectiva de Aplicação de Tecnologia de Manufatura Aditiva ao Setor Aeronáutico**. 2017. 117 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Aeronáutica, Universidade da Beira Interior, Covilhã - Portugal, 2017. Cap. 19. Disponível em: <https://ubibliorum.ubi.pt/handle/10400.6/7969> . Acesso em: 22 fev. 2021.
- BRITES, Fabiano da Silva. **Desenvolvimento Integrado de Produto par Forjamento**. 2009. 122 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/18594/000730345.pdf?sequen ce=1&isAllowed=y>. Acesso em: 23 jun. 2021.
- COTTELEER, Mark; HOLDOWSKY, Jonathan; MAHTO, **Monika**. **An overview of additive manufacturing (3D printing)**. 2016 The 3D Opportunity Primer: The basics of additive manufacturing, Deloitte University Press, Westlake, Texas, EUA, mai. 2021.
- DINIZ, Mariana Mendonça. **Influência da redução de área em aço SAE-1070. Forjado a quente em matriz aberta**. 2019. 81 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Materiais, Engenharia de Materiais do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Engenharia de Materiais do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2019. Disponível em: https://www.eng-materiais.bh.cefetmg.br/wp-content/uploads/sites/189/2019/12/TCC-II_Vers%c3%a3o-Final_MARIANA-M-DINIZ.pdf. Acesso em: 25 fev. 2021.
- FÉLIX, Luiz Antonio Girianelli. **Potencial disruptivo da manufatura aditiva: influência nas cadeias de suprimentos e uma aplicação na marinha do brasil**. 2017. 116 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Industrial, Departamento de Engenharia Industrial, Puc- Rio, Rio de Janeiro, 2017. Disponível em: <https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/30104/30104.PDF> . Acesso em: 23 fev. 2021.
- FLAUSINO, Paula Cibely Alves. **Desgaste de uma matriz de forjamento a quente, considerando o amaciamento devido ao revenimento**. 2010. 112 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Metalúrgica e de Minas, Curso de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Minas, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010. Disponível em: https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/BUDB-8DHKZR/1/paula_cibely_alves_flausino.pdf. Acesso em: 14 mar. 2021.
- GIBSON, I.; STUCKER, B.; ROSEN, D. W. **Additive Manufacturing Technologies: Rapid Prototyping to Direct Digital Manufacturing**. New York: Springer, 2010. Disponível em: <https://www.springer.com/gp/book/9781493944552> . Acesso em: 01 mai. 2021.
- IFSC. Definição de Soldagem. **Apostila de Soldagem**, [S. l.], p. 1-64, 1 abr. 2016. Disponível em: www.joinville.ifsc.edu.br › Soldagem › apostila soldagem. Acesso em: 28 abril . 2021.

MODENESI, Paulo J.. **Introdução à Física do Arco Elétrico E sua Aplicação na Soldagem dos Metais**. 2012. 172 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012. Disponível em: <http://asmtreinamentos.com.br/downloads/soldador/arquivo85.pdf> . Acesso em: 03 maio. 2021.

PAMPLONA, Guilherme Roberto. **Parametrização e análise da soldagem mig/mag convencional para a manufatura aditiva utilizando refrigeração forçada**. 2018. 57 f. TCC (Doutorado) - Curso de Engenharia Mecatrônica, Departamento Acadêmico de Metal-Mecânica, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina, Florianópolis, 2018. Cap. 1. Disponível em: <https://repositorio.ifsc.edu.br/bitstream/handle/123456789/1298/GUILHERME%20ROBERTO%20PAMPLONA%20-%20TCC.pdf?sequence=1> . Acesso em: 24 fev. 2021.

Silva RHG, Rocha PCJ, Rodrigues MB, Pereira M, Galeazzi D. **Análise do tempo ocioso interlayer como técnica de controle de temperatura na fabricação aditiva de paredes espessas por meio dos processos de soldagem CMT e CMT pulsada**. Soldagem & Inspeção. 2020; 25: e2501. <https://doi.org/10.1590/0104-9224/SI25.01> Acesso em: 23 fev. 2021.