



Manufatura Aditiva de Metal: Desafios e Oportunidades para a Indústria Metalomecânica Portuguesa

Introdução

Embora a **Manufatura Aditiva de Metal (MAM)**, ou **impressão 3D**, tenha sido desenvolvida nos anos 1980, nos últimos cinco anos assistiu-se a tendência crescente da sua utilização, como focado em várias notícias. Contudo, muitas notícias focam a aplicação em indústrias de alto nível como a aeroespacial e biomédica, onde os materiais usados são muito caros e com relativamente baixos volumes de produção. Estes sectores são constituídos por grandes empresas que têm recursos para dedicar milhões de euros por ano a atividades de investigação e desenvolvimento.

Portanto, a questão que se coloca é se existe um lugar para a MAM na indústria metalomecânica. Talvez seja surpreendente saber que a primeira máquina de MAM em Portugal foi adquirida a finais dos anos 90 pelo INETI, dentro do projeto da Rede Nacional de Prototipagem Rápida (Henriques and Osório 2002). Atualmente, existem meia dúzia de máquinas a trabalhar no país, especialmente na região centro do país, onde houve um crescimento orgânico à volta da indústria de moldes.

Escrever sobre MAM é um desafio dada a diversidade de sistemas encontrados no mercado. Existem, por exemplo, três tipos diferentes de fontes de calor com as quais derreter o material: lasers, feixe de electrões e arcos de plasma. O material pode ser adquirido em fio ou em pó. Os sistemas podem ser abertos ou fechados (Horn and Harrysson 2012). Em termos absolutos, não existe um sistema melhor que outro, a escolha óptima para uma empresa depende do material a ser usado, da aplicação, e do volume esperado de produção. Neste artigo, pretende-se dar uma visão global das vantagens e desafios da MAM, e estimular o debate sobre como a sua introdução pode afectar a competitividade global da indústria Portuguesa a longo prazo.

Vantagens da MAM

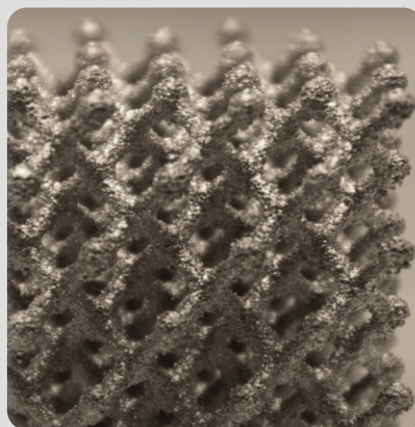
A MAM oferece uma série de vantagens que a tornam atraente para determinados sectores. A vantagem mais óbvia da sua utilização é a possibilidade de criar objetos com geometrias muito complexas, o que é muito difícil, se não mesmo impossível, de alcançar com outros métodos de fabrico. Isto faz com que esta tecnologia seja particularmente atraente para a indústria de moldes, onde canais de arrefecimento muito complexos podem ser criados com MAM, permitindo uma redução do tempo de ciclo de moldação por injeção (Levy, Schindel, and Kruth 2003). Além disso, a optimização de uma determinada geometria pode também ajudar a reduzir a utilização de material. Isto pode ser importante em aplicações onde o peso tenha um papel relevante no desempenho (por exemplo aeroespacial), ou caso seja necessário controlar a densidade da peça (Murr et al. 2010).

Adicionalmente, a MAM poder reduzir a necessidade de produzir conjuntos complexos. Por exemplo, a *GE Aviation* criou um injector de combustível combinando mais de 20 partes numa única peça (GE 2014). Isto permitiu à empresa reduzir custos em atividades de montagem de sistemas complexos e aumentou a longevidade do injector através da remoção de cantos e da optimização da geometria interna da peça (GE 2014). Estes injectores permitiram também reduzir o consumo global de combustível no motor, uma vez que agora é possível injetar o combustível de forma mais eficiente (Morris 2014). Outra vantagem importante diz respeito à redução do número de Unidades de Manutenção de Estoque, e à necessidade de inventário. Portanto, quando se olha para MAM não se pode apenas considerar os custos de produção, é ainda necessário considerar os seus benefícios adicionais.

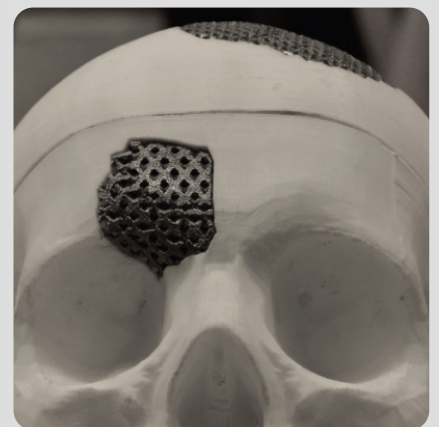
A MAM conduz ainda a uma maior flexibilidade de fabricação e oportunidades para a produção "just in time" e "customização em



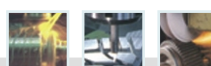
Manufatura Aditiva de metal (MAM) permite a criação de estruturas internas como as escadas em espiral ao longo desta peça de xadrez. Na aviação, isto pode permitir a construção de pás de compressão com canais de arrefecimento interno, prevenindo o metal de derreter ou deformar a altas temperaturas.



Estruturas complexas como esta malha de titânio podem ser impressas para reduzir peso, e para variar as propriedades do material no volume da peça. Esta malha, impressa usando feixe de electrões, também ilustra alguns desafios da MAM. Por exemplo, a superfície áspera pode necessitar de tratamento adicional para assegurar que a estrutura não falha quando submetida a cargas cíclicas.



Componentes de MAM têm sido muito utilizados em aplicações biomédicas para produzir implantes com formas complexas e não uniformizadas. Isto faz a MAM atrativa para a indústria de manutenção aeroespacial, onde pode ser usada para reparar e remendar peças tais como superfícies aerodinâmicas.



massa". Em aplicações de prototipagem, a MAM pode também reduzir o tempo de desenvolvimento de um determinado produto, visto que ajuda a criar protótipos de uma forma célere, o que permite ao fabricante iterar mais rapidamente do que com outros métodos.

A MAM tem ainda potenciais aplicações na reparação de peças, especialmente sistemas abertos. Reparar uma fissura num produto de elevado valor pode ser muito mais barato e mais rápido, do que ter que construir uma outra unidade. Por exemplo, a ponta das pás de turbina desgastam-se com o uso e podem ser reparadas através da adição de camadas de matéria (Guo and Leu 2013). De forma semelhante, reparar um molde fracturado pode ser uma boa solução para estender sua vida útil (Jhavar, Paul, and Jain 2013).

Desafios de Implementação

Apesar dos seus potenciais benefícios, as empresas que desejam implementar sistemas de MAM nas suas fábricas terão certamente muitos desafios pela frente. Embora a tecnologia esteja a avançar rapidamente, existe ainda muita variabilidade, o que significa que se imprimir a mesma peça duas vezes com a mesma máquina, essas duas peças serão ligeiramente diferentes (Frazier 2014). Mais, as máquinas têm mais de 100 parâmetros diferentes (Materialise 2015) e as empresas podem necessitar de vários meses até atingirem uma configuração com a microestrutura e propriedades mecânicas satisfatórias. Embora os fornecedores deste tipo de equipamentos tenham configurações recomendáveis, muitas vezes estas combinações de parâmetros não são totalmente satisfatórias.

As peças fabricadas através da MAM não têm as mesmas propriedades que as fabricadas convencionalmente, visto que a sua microestrutura é diferente. As propriedades mecânicas dependem não só dos parâmetros de produção, mas também do pós tratamento (Jahn et al. 2015). Embora a peça esteja perto da sua geometria final, provavelmente precisará ainda certos refinamentos finais para cumprir as tolerâncias desejadas. As condutividades térmica e elétrica são geralmente mais baixas (Ivanova, Williams, and Campbell 2013). A rigidez e resistência à corrosão pode também ser inferiores às peças maquinadas por processos convencionais (Tolosa et al. 2010).

Aprender a controlar todos estes parâmetros e efeitos de pós tratamento é tipicamente um processo moroso e dispendioso. A quantidade de tempo necessário para aprender a trabalhar com estas máquinas e a variabilidade adicional pode ou não ser importante dependendo do tipo de aplicação. Na maioria das aplicações metálicas, ter uma parte que é 99% densa seria perfeitamente aceitável e não prejudicaria o desempenho da peça. Contudo, para aplicações onde a fadiga é um constrangimento importante e onde o nível de porosidade não é suficiente, pode ser difícil (mas possível) atingir densidades mais elevadas (Cooper et al. 2012).

Conclusão: comprar ou não uma máquina de MAM?

Até agora, evitou-se deliberadamente falar sobre custos. Máquinas de MAM são equipamentos caros, e os materiais de MAM são ainda mais caros que os materiais usados para fabricação

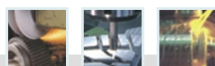
convencional. Contudo, a flexibilidade e os potenciais benefícios que a MAM oferece é muito difícil de quantificar. Conversas com empresários industriais sugerem que, uma vez ultrapassada a dificuldade inicial dos técnicos em trabalhar com MAM, aparecerão novas oportunidades para usar esta tecnologia. Por outro lado, existem empresas, que após uma primeira má experiência com MAM, não querem voltar a ouvir falar no assunto. Uma forma de reduzir o risco é partilhar o equipamento com outras empresas.

Uma empresa que esteja a considerar adquirir um equipamento de MAM deverá estar pronta para aceitar os compromissos mencionados anteriormente. A tecnologia tem avançado rapidamente, e é razoável hesitar entre comprar a máquina agora ou esperar pela próxima geração. No entanto, a tecnologia atual é já capaz de alcançar padrões de desempenho rigorosos. À medida que a MAM se torna mais uniformizada, é expectável esperar que os custos baixem, em particular os custos do material. Não obstante, ninguém sabe ao certo quanto tempo é que a indústria levará até atingir esse ponto.

Quando se fala em adoção tecnológica existe sempre uma questão relacionada com competitividade, que vai para além de uma análise de custo-benefício de curto prazo. Ser um especialista numa determinada tecnologia é visto como uma questão estratégica em determinados sectores, o que pode trazer novas oportunidades para as empresas, aumentando o poder de negociação dos fornecedores. A implementação de MAM nas fábricas pode ajudar a atrair novos talentos difíceis de adquirir de outra forma. Os jovens podem ver as atividades de metalomecânica convencional como "sujas" e "fisicamente intensas". Os licenciados preferem muitas vezes emigrar para países do Norte que oferecem condições mais atraentes do que ficar em Portugal numa posição que não gostam. Para estes talentosos engenheiros, a MAM proporciona uma tecnologia digital, limpa, com a qual podem exercer a sua criatividade.

Não investir numa nova tecnologia hoje pode não ter consequências relevantes no curto prazo, mas significa uma perda considerável a longo prazo. Muitos países estão a gastar centenas de milhões de euros no desenvolvimento de competências nacionais. Estes não incluem apenas países bem desenvolvidos como a Alemanha ou a Suécia, mas também países em desenvolvimento como a China, Malásia e África do Sul, que vêm na MAM o potencial para ultrapassar algumas das suas limitações industriais no acesso a novos mercados. Infelizmente, em Portugal o investimento nesta área tem sido muito mais modesto e hoje em dia é mais barato comprar peças de fornecedores Alemães ou Chineses (muitas vezes com melhores propriedades mecânicas) e enviá-las para Portugal, do que comprar de fornecedores Portugueses. Estes volumes são ainda muito baixos, mas os empresários industriais deveriam ter cuidado para não perder o comboio. Afinal, não seria a primeira vez que a indústria metalúrgica Portuguesa sofreria com a falta de investimento na sua modernização.

Cooper, David E., Mark Stanford, Kevin A. Kibble, and Gregory J. Gibbons. 2012. "Additive Manufacturing for Product Improvement at Red Bull Technology." *Materials & Design* 41 (October): 22630. Doi:10.1016/j.matdes.2012.05.017.





Frazier, William E. 2014. "Metal Additive Manufacturing: A Review." *Journal of Materials Engineering and Performance* 23 (6): 191728. Doi:10.1007/s11665-014-0958-z.

GE. 2014. "World's First Plant to Print Jet Engine Nozzles in Mass Production." July 15. <http://www.gereports.com/post/91763815095/worlds-first-plant-to-print-jet-engine-nozzles-in>.

Guo, Nannan, and Ming C. Leu. 2013. "Additive Manufacturing: Technology, Applications and Research Needs." *Frontiers of Mechanical Engineering* 8 (3): 21543. Doi:10.1007/s11465-013-0248-8.

Henriques, Elsa, and António Osório. 2002. "Prototipagem Rápida Em Portugal."

Horn, Timothy J., and Ola L.A. Harrysson. 2012. "Overview of Current Additive Manufacturing Technologies and Selected Applications." *Science Progress* 95 (3): 25582. Doi:10.3184/003685012X13420984463047.

Ivanova, Olga, Christopher Williams, and Thomas Campbell. 2013. "Additive Manufacturing (AM) and Nanotechnology: Promises and Challenges." *Rapid Prototyping Journal* 19 (5): 35364. Doi:10.1108/RPJ-12-2011-0127.

Jahn, Simon, Vanessa Seyda, Claus Emmelmann, and Sabine Sändig. 2015. "Influences of Post Processing on Laser Powder Bed Fused Ti-6Al-4V Part Properties." In *Contributed Papers from Materials Science and Technology (MS&T)* 2015.

Jhavar, S., C.P. Paul, and N.K. Jain. 2013. "Causes of Failure and Repairing Options for Dies and Molds: A Review." *Engineering Failure Analysis* 34 (December): 51935. Doi:10.1016/j.engfailanal.2013.09.006.

Levy, Gideon N., Ralf Schindel, and J.P. Kruth. 2003. "Rapid Manufacturing and Rapid Tooling with Layer Manufacturing (LM) Technologies, State of the Art and Future Perspectives." *CIRP Annals - Manufacturing Technology* 52 (2): 589609. Doi:10.1016/S0007-8506(07)60206-6.

Materialise. 2015. "Materialise's Renishaw Build Processor Brings Industry Leading Magics Software Functions to the AM250 Additive Manufacturing System." March 4. <http://www.materialise.com/press/materialise-s-renishaw-build-processor-brings-industry-leading-magics-software-functions-to>.

Morris, Greg. 2014. "Additive Manufacturing of Medical Devices."

Murr, L. E., S. M. Gaytan, F. Medina, H. Lopez, E. Martinez, B. I. Machado, D. H. Hernandez, et al. 2010. "Next-Generation Biomedical Implants Using Additive Manufacturing of Complex, Cellular and Functional Mesh Arrays." *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences* 368 (1917): 19992032. Doi:10.1098/rsta.2010.0010.

Tolosa, Itziar, Fermin Garcandía, Fidel Zubiri, Fidel Zapirain, and Aritz Esnaola. 2010. "Study of Mechanical Properties of AISI 316 Stainless Steel Processed by 'selective Laser Melting', Following Different Manufacturing Strategies." *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 51 (58): 63947. Doi:10.1007/s00170-010-2631-5. ■

Jaime Bonín Roca | Anabela Reis - Instituto Superior Técnico, Lisboa

