

APLICAÇÃO DO MÉTODO DE TEXTURIZAÇÃO SUPERFICIAL ELETROQUÍMICA SEM MASCARAMENTO EM AMOSTRAS DE FERRO FUNDIDO CINZENTO

Leonardo Rosa Ribeiro da Silva, LTM-UFU, leonardo.rrs@gmail.com

Henara Lilian Costa Murray, LTM-UFU, ltm-henara@ufu.br

Resumo. O presente trabalho visa investigar a possibilidade de se texturizar superficialmente amostras de ferro fundido cinzento através do Método de Texturização Eletroquímica Sem Mascaramento (MECT). O método foi implementado em amostras de ferro fundido cinzento de matriz perlítica, sendo entre cada teste variada a tensão verificando assim seu efeito nos padrões inseridos resultantes. O método se mostrou satisfatório para este material, contudo se mostra necessária a investigação de outros parâmetros que permeiam o processo.

Palavras chave: engenharia de superfície, texturização superficial, lubrificação

1. INTRODUÇÃO

A superfície de um material é o local onde ocorre a maioria das interações físico-químicas. O controle da topografia superficial de componentes mecânicos, em particular a imposição de padrões regulares de protuberâncias e/ou depressões, têm sido objetivo de estudos em diversos campos da ciência, com avanços principalmente nos campos da óptica, termodinâmica, biologia e tribologia, originando as então chamadas superfícies funcionais (Bruzzzone et al., 2008). O ferro fundido cinzento é utilizado em diversos componentes sujeitos ao desgaste por deslizamento, como por exemplo cilindros automotivos, graças as suas propriedades auto-lubrificantes oriundas dos veios de grafita presentes em sua micro-estrutura. Este trabalho tem como objetivo investigar a utilização da técnica de texturização superficial sem mascaramento (MECT) em amostras de ferro fundido cinzento, com o objetivo posterior de estudar a sinergia entre os efeitos benéficos na lubrificação oriundos tanto da grafita presente na matriz como da aplicação de micro-padrões superficiais.

2. TEXTURIZAÇÃO SUPERFICIAL SEM MASCARAMENTO

Os métodos de texturização superficial são divididos de acordo com a natureza física de sua modificação superficial, segundo Costa e Hutchings (2015) em:

- Adição: os padrões superficiais são criados a partir da adição de material a uma determinada superfície.
- Remoção: os padrões superficiais são criados a partir da remoção de material da superfície a ser modificada.
- Movimentação: a modificação superficial ocorre através da deformação plástica e redistribuição do material da superfície.
- Auto-formação: Regiões com diferentes resistências ao desgaste originam os padrões superficiais.

No que tange a melhoria da lubrificação em sistemas mecânicos os métodos de remoção são os mais utilizados visto seus padrões superficiais servirem tanto como reservatórios de lubrificante como depósito de partículas endógenas ou exógenas que por ventura existam na região de contato (Tomanik, 2013). Dentre os métodos de remoção o mais utilizado em industrialmente é o método de ablação a Laser (Etsion, 2005), contudo este método apresenta alguns problemas representados na Fig. (1), como uma considerável zona afetada pelo calor (ZAC) dada as altas temperaturas necessárias para ablar o material, bem como a presença de protuberâncias oriundas de uma zona refundida, que por se resfriarem rapidamente tendem a ter uma dureza mais elevada que a matriz do material, podendo agir como partículas de desgaste caso a superfície não seja polida. O uso de laser com pulsos menores, na ordem dos femto-segundos é uma solução para diminuir a ZAC e a zona refundida, contudo os equipamentos a laser com capacidade de pulsos tão diminutos tem custo mais elevado.

Como alternativa ao método de texturização superficial a laser Costa e Hutchings (2009) propuseram o MECT, que por ser um método eletroquímico não produz ZAC nem zona refundida como o método a laser. Outra vantagem deste método é de não ser necessário a proteção seletiva nas regiões onde se deseja manter a topografia original das peças a serem texturizadas (mascaramento) visto que esta proteção é feita na ferramenta de trabalho. Como na maior parte dos processos de dissolução eletroquímica a equação que rege o fenômeno é a lei de Faraday, representada pela Eq. (1), que dita a quantidade de material que será dissolvida desde que 3 condições sejam atendidas: a valência dos íons produzidos

deve ser conhecida, a dissolução iônica deve ser a única reação no ânodo e o metal deve ser removido apenas por dissolução e não por desintegração da ferramenta. Com base nesta equação fica claro que os parâmetros chave do processo são o tempo e a corrente impostos nos testes, contudo como a resistência elétrica do sistema é constante durante o teste, a tensão é variada no lugar da corrente, visto ser mais fácil encontrar fontes que variem a mesma.

O aparato básico para se texturizar superficialmente amostras planas pelo MECT é apresentado na Fig. (2).

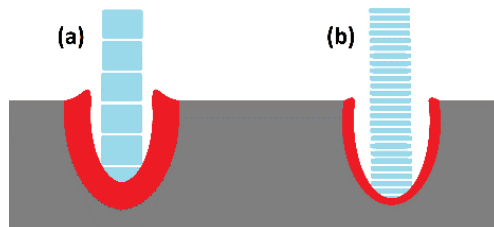


Figura 1. Ablação a laser. (a) Pulsos maiores resultam em maior ZAC bem como zona refundida protuberante. (b) Pulsos menores permitem uma menor ZAC e diminuição das zonas refundidas.

$$m = \left(\frac{It}{f} \right) \left(\frac{M}{z} \right) \quad (1)$$

Onde:

m = massa da substância liberada em um eletrodo em gramas.

I = corrente elétrica constante inserida no sistema.

t = tempo total em que a corrente é aplicada.

f = 96.485 C mol⁻¹, constante de Faraday.

M = Massa molar da substância.

z = Número de valência dos íons da substância.

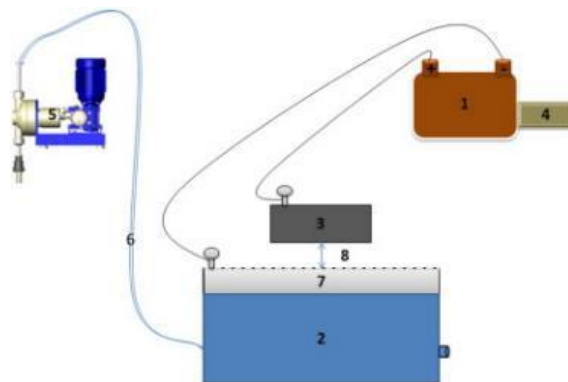


Figura 2. Aparato experimental utilizado na MECT (Parreira et al., 2012).

Uma fonte de voltagem contínua 1 fornece a corrente necessária para a dissolução eletroquímica, sendo o polo negativo conectado à ferramenta 7 e o positivo à peça a ser texturizada 3. O eletrólito 2 é bombeado por uma tubulação 6 através de uma bomba peristáltica, entrando em contato com a peça 3 por meio de furos na ferramenta 7, escoando posteriormente pela distância entre a ferramenta e a peça (DFP) 8. Um circuito eletrônico 4 é utilizado para pulsar a corrente, visando assim durante os pulsos não eletrizados limpar os produtos oriundos da dissolução anódica bem como arrefecer a superfície. Foram obtidos bons resultados para pulsos eletrizados de 3.2 ms intercalados por pulsos de limpeza e arrefecimento por 18.2 ms (Parreira et al., 2012), bem como com o uso de NaNO₃ (Costa e Hutchings, 2009) e NaCl (Parreira et al., 2012) como eletrólitos.

A Fig. (3) detalha o processo de usinagem eletroquímico envolvido neste método. Apesar de toda região em contato com o eletrólito ser atacada eletroquimicamente, a região diretamente atingida pelo fluxo de eletrólito sofre menor queda de potencial ôhmico do que as demais regiões, sofrendo assim maior dissolução.

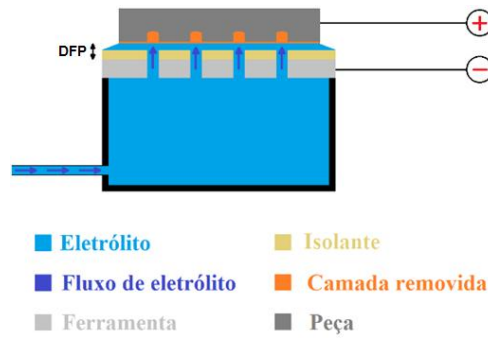


Figura 3. – Processo de usinagem eletroquímica sem mascaramento.

3. METODOLOGIA

Para realização dos testes foram utilizadas amostras de ferro fundido cinzento de matriz perlítica como mostrado na Fig. (4), os padrões a serem inseridos fora padrões em “V” os quais segundo Costa e Hutchings (2007) apresentam o melhor desempenho quanto a redução no atrito. O eletrólito utilizado foi o NaCl. Foram variadas tensões de 10, 20, 30, 40 e 50 V, sendo fixado um tempo de 30 segundos e uma DFP de 0,1 mm para todos os testes, verificando assim a influência da tensão nos padrões superficiais inseridos. Após texturizadas as amostras foram mapeadas por interferometria a laser para avaliação topográfica.

Dentre os resultados obtidos, os critérios para escolha da tensão mais efetiva para o processo foram: a rugosidade quadrática média (S_q) em regiões externas adjacentes aos padrões em “V” e a relação entre profundidade e largura (R_{pl}). Segundo Costa e Hutchings (2007) a relação entre a profundidade e a largura deve ser de aproximadamente 0,1 para ser atingida a melhor eficiência na redução de atrito.

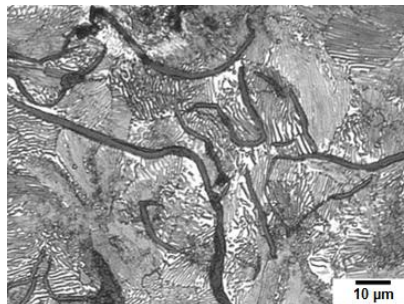


Figura 4. Microestrutura dos corpos de prova.

4. RESULTADOS

Os resultados das interferometrias para as tensões de 10 e 20 V, 30 e 40V e 50 V são ilustrados respectivamente nas Figs. 5, 6 e 7.

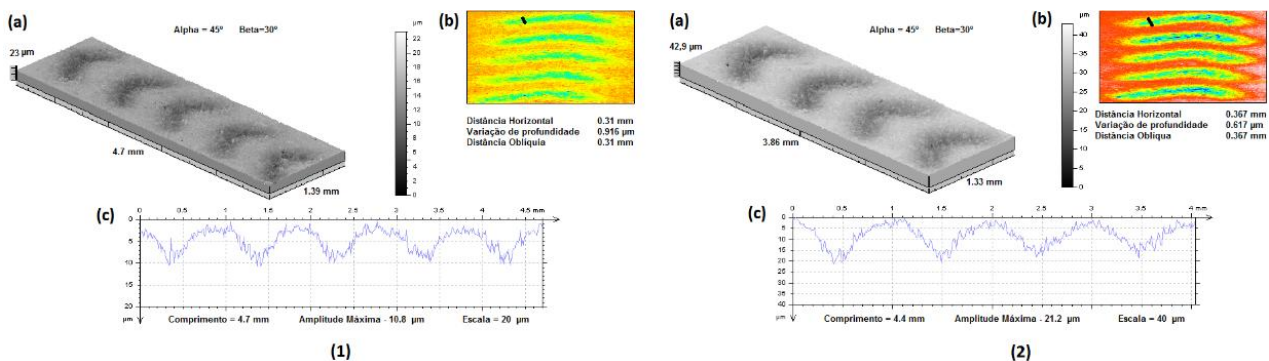


Figura 5. Resultados para: 10 V (1); 20 V e 30 s (2).

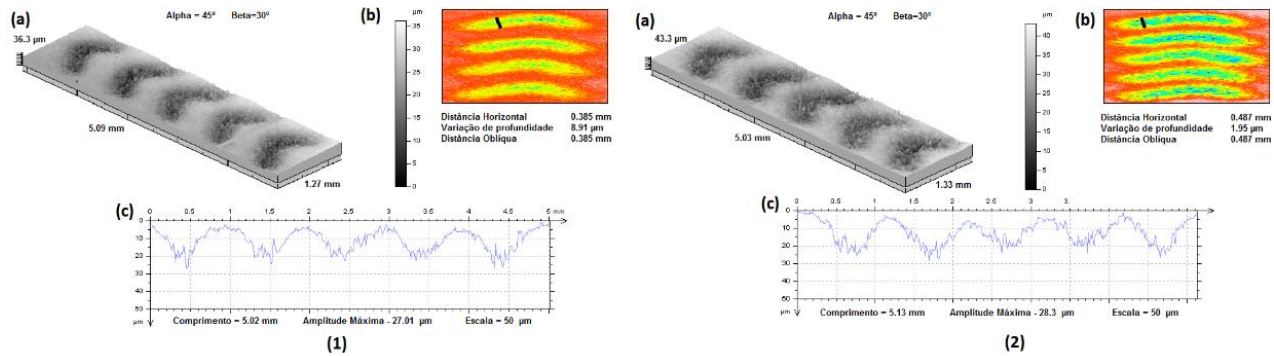


Figura 6. Resultados para: 30 V (1); 40 V e 30 s (2).

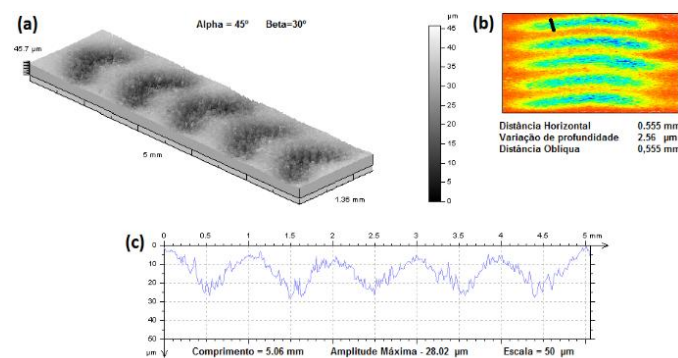


Figura 7. Resultados para 50 V.

Os valores para os parâmetros de rugosidade média quadrática (S_q) e relação entre profundidade e largura dos padrões em “V” (R_{pl}) são exibidos na Tab. 1.

Tabela 1. Valores para a rugosidade e relação entre profundidade e largura (R_{pl}) em relação a tensão.

Tensão (V)	S_q (μm)	R_{pl}
10	0.591	0,032
20	0.912	0,042
30	0.947	0,052
40	1.44	0,041
50	1.53	0,036

Para uma tensão de 10 V observa-se o menor valor de S_q , espessura e profundidade entre os padrões em “V”. A pouca profundidade obtida (em torno de 10 μm) em relação a espessura fez com que este padrão obtivesse o pior resultado em relação a R_{pl} .

Com o aumento da tensão para 20 V houve um aumento na rugosidade e na largura, contudo o ganho em profundidade fez com que o valor de R_{pl} subisse para 0,042.

Para 30 V o aumento no S_q em relação a 20 V foi pequena se comparada com as demais variações entre tensões, tendo o R_{pl} subido para 0,052, o melhor valor entre os analisados.

Nas tensões de 40 e 50 V não se observou aumento significativo profundidade média que ficou em torno de 20 μm , a exceção de alguns vales mais profundos. A largura dos padrões inseridos aumentou consideravelmente em relação aos anteriores, o que levou a valores de R_{pl} de 0,041 e 0,036 respectivamente.

5. CONCLUSÃO

Para a tensão de 10 V se obteve o melhor resultado referente a rugosidade e espessura dos padrões em “V”. O aumento na tensão resulta em um aumento na rugosidade e espessura dos padrões em “V”, sendo o aumento na rugosidade menos significativo quando se aumenta de 20 V para 30 V que para as demais variações de tensão.

A profundidade dos padrões inseridos aumenta com a tensão até atingir a estabilidade em um valor por volta de 20 μm na tensão de 30 V, sendo negligenciável o aumento da profundidade a exceção de alguns vales quando se aumenta a tensão para 40 e 50 V. Observa-se também um aumento expressivo na espessura dos padrões inseridos para tensões de 40 e 50 V. Este fato indica que para profundidades superiores a 20 μm , a queda de potencial elétrico faz com que a dissolução anódica seja menos eficiente, sendo então mais favorável a dissolução nas bordas dos padrões inseridos, aumentando por consequência a largura dos mesmos ao invés da profundidade.

6. REFERÊNCIAS

- Costa, H.; Hutchings, I. M. "Some innovative surface texturing techniques for tribological purposes", *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part J: Journal of Engineering Tribology*, v. 229, n. 4, p. 429-448, April 1, 2015 2015.
- Costa, H.; Hutchings, I. M. "Hydrodynamic lubrication of textured steel surfaces under reciprocating sliding conditions", *Tribology International*, v. 40, n. 8, p. 1227-1238, 8// 2007. ISSN 0301-679X.
- Costa, H.; Hutchings, I. M. "Development of a maskless electrochemical texturing method", *Journal of Materials Processing Technology*, v. 209, n. 8, p. 3869-3878, 4/21/2009 2009. ISSN 0924-0136.
- Etsion, I. "State of the Art in Laser Surface Texturing", *Journal of Tribology*, v. 127, n. 1, p. 248-253, 2005. ISSN 0742-4787.
- Parreira, J. G.; Gallo, C. A.; Costa, H. L. "New advances on maskless electrochemical texturing (MECT) for tribological purposes", *Surface and Coatings Technology*, v. 212, n. 0, p. 1-13, 11// 2012. ISSN 0257-8972.
- Tomanik, E. "Modelling the hydrodynamic support of cylinder bore and piston rings with laser textured surfaces", *Tribology International*, v. 59, n. 0, p. 90-96, 3// 2013. ISSN 0301-679X.

7. AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha orientadora Henara Lilian Costa pela paciência em me ajudar na condução deste trabalho.
Agradeço a CNPQ, CAPES e FAPEMIG por fomentarem as atividades de pesquisa do meu laboratório.

8. ABSTRACT

This paper aims to investigate the possibility of surface texturing samples of gray cast iron by Maskless Electrochemical Texturing Method (MECT). The method was implemented in cast iron samples of pearlitic matrix, being between each test varied the voltage so can be verified its effect on the resulting patterns inserted. The method was satisfactory for this material, however it is necessary to investigate other parameters that permeate the process.

9. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

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