

ENDURECIMENTO SUPERFICIAL DE UMA LIGA Ti6Al4V POR MEIO DE USINAGEM POR DESCARGAS ELÉTRICAS

Bruno Costa Camargo, b.c.camargo@gmail.com¹.
Henara Lillian Costa, ltm-henara@ufu.br¹.
Alberto Arnaldo Raslan, ltm-raslanufu.br¹.

¹Universidade Federal de Uberlândia - Faculdade de Engenharia Mecânica - Av. João Naves de Ávila, 2160 - Campus Santa Mônica - Bloco 1M - Uberlândia - MG - 38400-902.

Resumo: As ligas de Titânio são utilizadas nas indústrias aeronáutica, aeroespacial, biomédica e em outros ambientes agressivos. Suas principais características são altas resistência específica, resistência à corrosão e resistência à fadiga, biocompatibilidade e boas propriedades criogênicas. Entretanto, possuem uma baixa resistência ao desgaste adesivo e abrasivo, além de um alto coeficiente de atrito. Neste trabalho será abordado um processo que possibilita o endurecimento superficial de uma liga Ti6Al4V. Os ensaios consistiram em mergulhar amostras de liga Ti6Al4V em um fluido composto por 10% de uréia e 90% de água deionizada e, então, submetê-la a descargas elétricas através de processo EDM. Os parâmetros operacionais da máquina foram selecionados com base em informações da literatura técnica existente. As técnicas de caracterização utilizadas foram: análise micrográfica, microdureza Vickers e EDX. Os resultados obtidos mostraram a formação de uma camada enriquecida com nitretos, o que permitiu um ganho de cerca de 60% de dureza em relação à matriz. Pode-se concluir que o processo de enriquecimento empregado foi eficaz no endurecimento superficial de uma liga de Ti6Al4V.

Palavras-chave: EDM, Titânio, Endurecimento Superficial, Nitretos, Microdureza.

1. INTRODUÇÃO

A técnica de enriquecer com nitretos superfícies através de descargas elétricas torna-se uma alternativa atraente, tanto sob o ponto de vista técnico quanto econômico. Neste contexto é que se propõe esta investigação, ou seja, a viabilidade de enriquecer com nitretos superfícies através de descargas elétricas geradas por máquinas de usinagem por eletroerosão (EDM).

O princípio fundamental do processo EDM é a remoção do material pelo efeito térmico de descargas elétricas. Ao aplicar-se, através de uma fonte de potência, uma diferença de potencial entre duas placas condutoras de eletricidade, chamadas de eletrodo e peça, respectivamente, separadas por uma pequena distância, ocorrem descargas elétricas entre elas. Estas descargas precisam ser pulsadas, pois se fossem contínuas gerariam altas temperaturas na superfície da peça e esta se fundiria e evaporaria de forma desordenada. As descargas duram apenas alguns milionésimos de segundo. Este período é chamado de T_{on} . Cessada as descargas elétricas, inicia-se, por alguns milionésimos de segundo, o período T_{off} . As faíscas geradas podem gerar temperaturas de até 20.000°C, e a potência por unidade de área pode chegar até 1000 W/m². O eletrodo e a peça precisam ser separados por uma pequena distância, denominada de *gap*, pois se estas se encostarem, provocam um curto-circuito e, conseqüentemente, não haverá a liberação das descargas elétricas.

No momento em que ocorrem as descargas elétricas, o fluido que se encontra entre a peça e a ferramenta vai superaquecer, tornando-se um vapor eletrolítico. No meio gasoso a pressão poderá alcançar marcas de até 200 atm (McGeough, 1988). Após uma descarga, ocorre a formação de uma cratera e certa quantidade de material fundido deposita-se na superfície da cratera, devido à tensão superficial e efeitos de resfriamento. Esse material vai resfriar-se devido às paredes frias da cratera e ao poder de refrigeração do fluido dielétrico. Essa camada constituída de material refundido é chamada de camada refundida. Abaixo dela, fica a chamada zona afetada pelo calor (ZAC), que é apenas parcialmente afetada pelas altas temperaturas. As durezas da camada refundida e da ZAC, imediatamente abaixo, dependem da corrente e da frequência usadas durante a usinagem, além da capacidade de condução de calor do próprio material. A camada refundida pode afetar a estrutura e/ou a integridade da superfície usinada por EDM (Miller e Guha, 1999). Após a formação do gás, o fluido a uma temperatura baixa se encontrará com a parte gasosa e ocorrerá um choque térmico, que proporcionará micro-explosões e a desagregação das partículas fundidas da peça. Este é o ponto de início do processo de usinagem propriamente dito (Kaminski e Capuano, 1999).

Um processo EDM é tão melhor quanto maiores forem a taxa de remoção de material (TRM) e a relação de desgaste (RD) e quanto menores forem os valores da rugosidade. Entretanto, estes parâmetros de avaliação são influenciados por algumas variáveis do processo como, por exemplo, o material da ferramenta e da peça, o regime de operação e as características físico-químicas do fluido dielétrico.

Este trabalho tem como objetivo verificar a viabilidade do enriquecimento superficial de Titânio aeronáutico (Ti6Al4V), com a utilização de uma combinação de uréia e água deionizada como fluido dielétrico. Ao sofrer o superaquecimento devido à fagulha liberada pela ferramenta, a uréia torna-se gasosa, e com isto libera Nitrogênio no meio. Este Nitrogênio irá combinar-se com o Titânio existente na peça, e com isto ocorrerá a formação de nitretos na superfície da peça. Esta camada enriquecida com nitretos será a responsável pelo aumento da dureza e, eventualmente, do aumento à resistência ao desgaste do material.

2. METODOLOGIA

Primeiramente foram confeccionadas as amostras de ligas Ti6Al4V, através de métodos convencionais de usinagem. Como eletrodo de usinagem via EDM foi utilizado um cilindro maciço de cobre eletrolítico com diâmetro de 8 mm.

As amostras de Ti6Al4V foram usinadas em uma máquina EDM por penetração modelo Engemac 440 NC. A representação esquemática do processo utilizado por esta máquina está mostrada na Fig. (1). Nota-se que o eletrodo é colocado próximo à peça a ser usinada, sendo estes separados por uma distância muito pequena, cujos valores típicos encontram-se na faixa de 0,01–0,05 mm (Benedict, 1987). A distância entre o eletrodo e a peça é preenchida pelo fluido dielétrico, bombeado e filtrado de um reservatório até a região de usinagem. O fluido dielétrico tem um papel importante no processo EDM: refrigerar a região de usinagem, conduzir as partículas removidas e controlar a potência de abertura da descarga (Fuller, 1989).

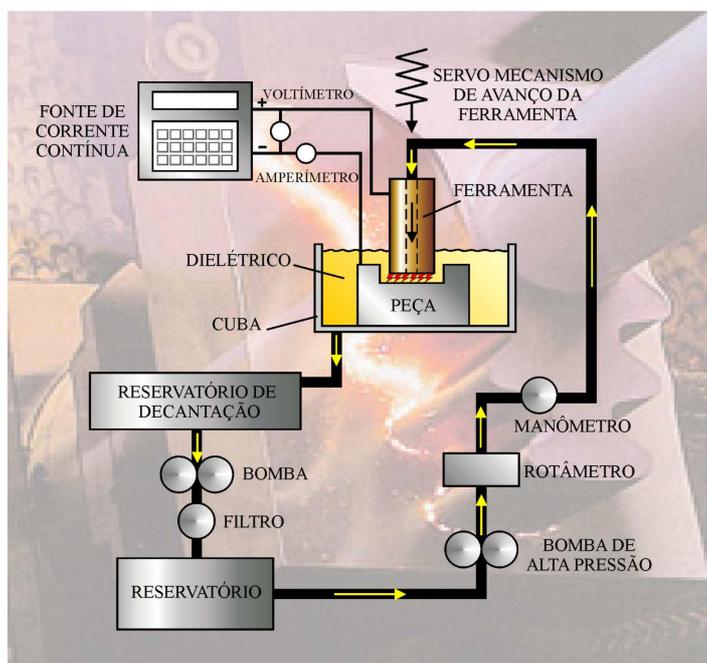


Figura 1. Representação esquemática do equipamento EDM.

Foram utilizados dois fluidos diferentes na usinagem para se obter uma comparação. O primeiro fluido consistiu de cristais de uréia diluída em água (50g de uréia em 5 litros de água). O segundo fluido foi composto de 5 litros de água deionizada sem mistura.

A definição dos parâmetros de usinagem mais adequados à produção de superfícies nitretadas foi feita a partir de indicações da literatura (Yan et al., 2005) e estão especificados na Tab. (1), onde: DT = porcentual relativo entre T_{on} e T_{off} ; i = corrente elétrica; V = diferença de potencial; $Z_{máx}$ = máxima profundidade de penetração; T_s = potência da descarga.

Tabela 1. Parâmetros de usinagem utilizados nos ensaios.

Parâmetros de usinagem	Valores
T_{on} (s)	20
DT (%)	55
T_s (s)	3
Tempo de erosão (s)	10
Afastamento (mm)	1
Intervalo (s)	0
$Z_{máx}$ (μm)	500
GAP (mm)	2
i (A)	6 ± 1
V (V)	22 ± 2

Após submissão das amostras de Titânio a descargas elétricas, elas sofreram preparação metalográfica convencional que permitiu a observação da superfície afetada pela descarga.

Para avaliar o endurecimento decorrente da formação de nitretos, mediu-se a microdureza Vickers da camada refundida, da camada enriquecida com nitretos e da matriz. Nos testes de microdureza utilizou-se uma carga de 10 gramas em um microdurômetro Shimadzu. As espessuras das camadas refundida e enriquecida com nitretos também foram medidas no Microdurômetro Shimadzu.

Para se analisar a formação de nitretos sobre a camada endurecida foi-se feita uma análise por EDX (energia dispersiva de raios-x) em microscópio eletrônico de varredura (MEV). Através deste procedimento foi possível detectar os principais elementos químicos presentes na amostra.

3. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A Tabela (2) apresenta os resultados de microdureza da camada refundida, da camada enriquecida com nitretos e da matriz. Nesta mesma tabela são também apresentados os resultados obtidos para as espessuras das camadas, com média e desvio padrão. Observa-se que houve um aumento significativo do valor de microdureza na camada enriquecida com nitretos. Nota-se ainda uma diminuição do valor de microdureza na camada refundida em relação ao material da matriz.

A espessura da camada enriquecida com nitretos foi da ordem de 7 μm , consideravelmente menor que a espessura da camada refundida, que foi de 54 μm .

Tabela 2. Valores de microdureza Vickers Hv (carga de 10g) e de espessura das camadas nas amostras usinadas com uréia.

	Camada refundida		Camada com nitretos		Matriz	
	Média	Desvio padrão	Média	Desvio padrão	Média	Desvio padrão
Microdureza Hv (Kgf/mm^2)	156	24	546	20	342	22
Espessura de camadas (μm)	54	15	7	1	-	-

A Figura (2) mostra as duas regiões distintas na amostra usinada com água. A Figura (3) mostra as três regiões distintas na amostra usinada com uréia.

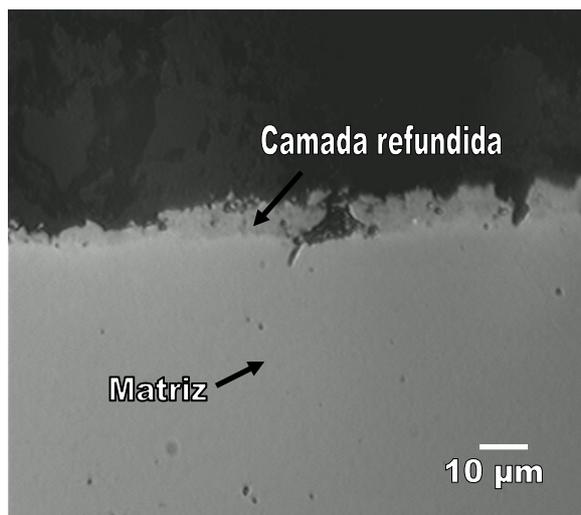


Figura 2. Regiões da amostra usinada com água.

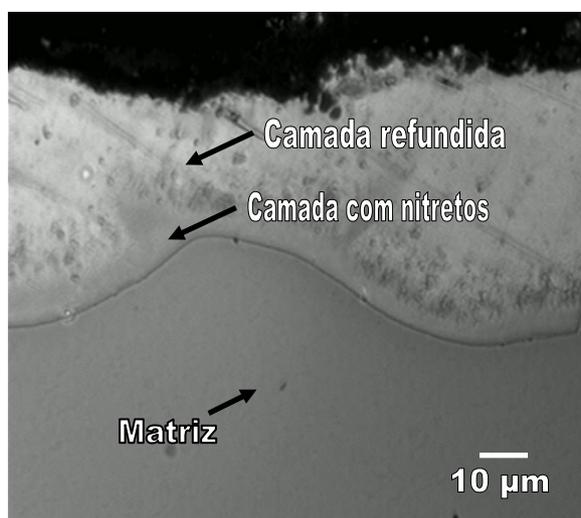


Figura 3. Regiões da amostra usinada com uréia.

A análise por EDX para a amostra usinada com uréia foi feita em duas diferentes áreas para que se pudesse obter uma comparação. A área 1 corresponde à área não nitretada, e a área 2 corresponde à área nitretada. Estas áreas estão mostradas na Fig. (4). A mesma figura mostra o gráfico dos principais componentes químicos encontrados na área 1.

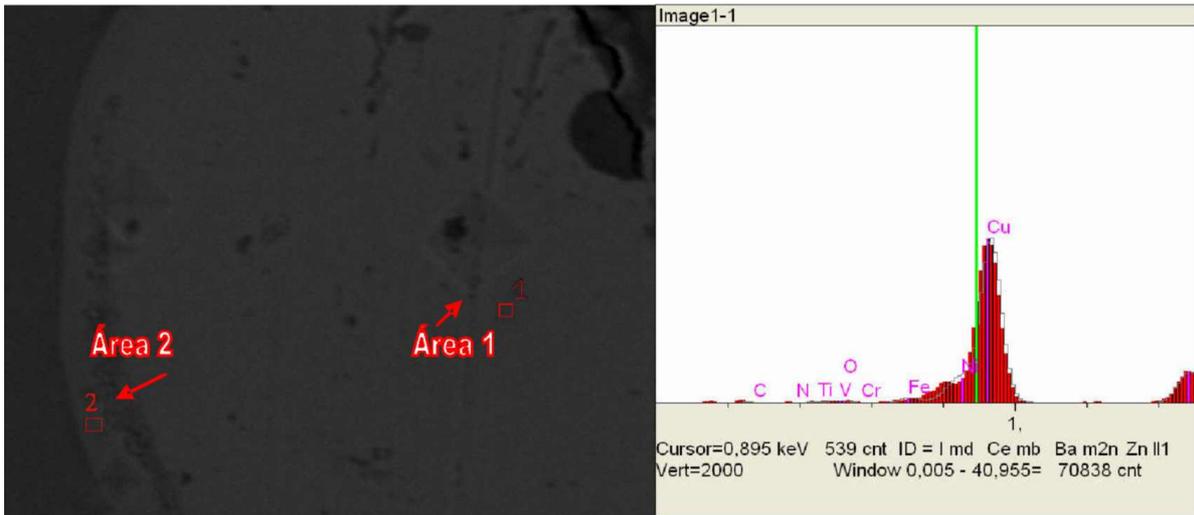


Figura 4: Áreas selecionadas para a análise por EDX.

A Figura (5) mostra a superfície da seção transversal da amostra usinada com uréia, com as respectivas impressões de microdureza nas 3 diferentes regiões: camada refundida, camada enriquecida com nitretos e matriz.

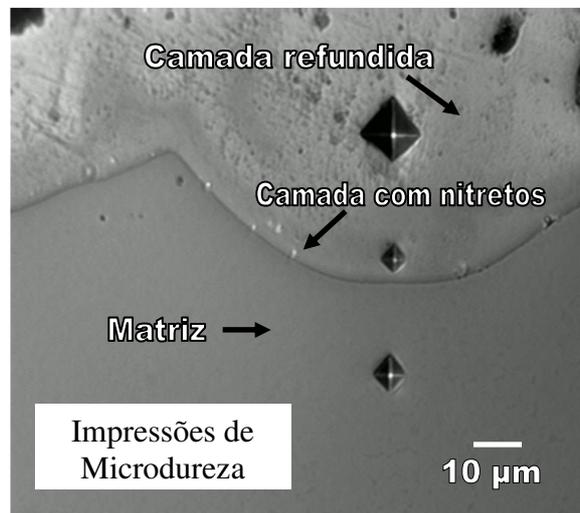


Figura 5. Amostra usinada com uréia. Impressões de microdureza Vickers com carga de 10g.

A liga Ti6Al4V foi selecionada na condução do trabalho pelo alto potencial formador de nitretos dos seus elementos constituintes. A água deionizada foi escolhida como eletrólito pela necessidade de se diluir uréia, utilizada como fonte fornecedora de Nitrogênio.

O material do eletrodo não foi considerado relevante no processo. Desta forma, optou-se por trabalhar com um eletrodo tradicional de Cobre eletrolítico. A geometria cilíndrica maciça foi adotada pela facilidade de fabricação do eletrodo e obtenção de uma superfície mais extensa para análise. Julgou-se desnecessário utilizar um eletrodo vazado, uma vez que as condições adotadas na implementação do processo não requerem lavagem da área submetida à descarga. A profundidade é demasiado pequena (500 µm). As dimensões foram adequadas ao tamanho das amostras da liga de Titânio.

A quantidade de 10g/l foi escolhida com base em informação da literatura (Yan et al., 2005). Foi usado um volume de 5l de água deionizada no reservatório. A utilização de um pequeno volume de eletrólito foi possível graças à adaptação de uma cuba auxiliar ao reservatório principal, que requer a utilização de um grande volume de fluido dielétrico (cerca de 450l). O risco de aquecimento pelo pequeno volume de fluido empregado e conseqüente interferência nos resultados foi considerado desprezível, já que as descargas foram típicas de acabamento fino, ou seja, de baixa energia. Além disso, o volume de material removido foi muito pequeno, correspondente a uma profundidade de apenas 500 µm.

Os processos de preparação metalográfica empregados permitiram a caracterização das amostras em termos de microdureza, identificação e medidas de espessura de camadas produzidas pelo processo. Os ensaios foram conduzidos em duas amostras, sendo uma usada como referência, ou seja, sem a diluição de uréia na água.

Como as camadas produzidas são, em geral, muito finas, tornou-se necessário o uso de microdurômetro para avaliar a dureza das camadas.

A microscopia ótica mostrou-se uma técnica adequada na determinação da espessura das camadas produzidas.

Os resultados obtidos para as microestruturas evidenciam a presença de uma camada branca e matriz na amostra usinada com água sem a presença de uréia e de uma camada intermediária entre ambas para amostra usinada com água e uréia diluída. A camada branca surge em decorrência de um refusão de material na superfície pelas altas temperaturas geradas com as descargas elétricas. A presença da camada intermediária pode ser atribuída à incorporação de Nitrogênio liberado pela uréia.

Os resultados de dureza mostram um acréscimo substancial, cerca de 60%, de dureza nesta camada intermediária, sugerindo formação de nitretos. Observação semelhante foi feita por Yan et al. (2005), também em liga de Titânio aeronáutico. Entretanto, o ganho em dureza obtido foi bastante inferior ao obtido neste trabalho, sendo da ordem de 15%. A dureza mais elevada encontrada no presente trabalho pode estar relacionada com a menor espessura da camada. Com a camada mais fina, há uma maior concentração de nitretos e, portanto, um maior endurecimento. Os parâmetros operacionais empregados por Yan et al. (2005) permitiram, como vantagem, a obtenção de camadas nitretadas mais espessas dos que as obtidas no presente trabalho. A explicação para esta discrepância está relacionada a diferenças nos parâmetros operacionais empregados.

O baixo desvio padrão observado nos valores de microdureza indicam que os nitretos formados estão distribuídos de maneira uniforme na camada enriquecida.

A análise de composição química realizada por EDX mostrou a presença de Nitrogênio na camada endurecida, evidenciando a formação de nitretos e confirmando o que já havia sido observado por Yan et al. (2005) que, além disso, identificaram os nitretos formados como sendo de Titânio (TiN).

O fato de o processo requerer a utilização de água deionizada como fluido constitui uma desvantagem do processo. As taxas de remoção de matéria na EDM por penetração tornam-se muito lentas quando se usa água como fluido dielétrico. É possível que a adoção de um processo híbrido possa contribuir para a otimização do processo.

Sob o ponto de vista econômico, o processo é, sem dúvida, competitivo com os processos tradicionais de nitretação. Utiliza-se matéria prima barata (água deionizada e uréia), além de se poder trabalhar em um equipamento pouco sofisticado e de fácil operação.

Pelo fato de haver a formação de uma camada endurecida na superfície submetida a descargas elétricas, pode-se deduzir um forte potencial destas ligas para uma melhora de desempenho em relação ao desgaste abrasivo.

4. CONCLUSÕES

Amostras de Titânio aeronáutico (Ti6Al4V) foram submetidas a descargas elétricas em uma máquina de usinagem por eletroerosão por penetração (EDM) usando como fluido dielétrico água deionizada com uréia. Com base nos resultados obtidos, pode-se concluir que:

- ◆ Ocorreu a formação de uma camada enriquecida com nitretos, com espessura da ordem de 7 μm , na superfície da liga de titânio;
- ◆ Houve um aumento de cerca de 60% na microdureza da camada enriquecida com nitretos em relação à matriz.

Pode-se comprovar, assim, a viabilidade técnica de enriquecer e elevar a dureza de superfícies, pela formação de nitretos em ligas Ti6Al4V, através de processos EDM por penetração.

5. REFERÊNCIAS

- Benedict, G.F.; 1987, "Nontraditional Manufacturing Processes", New York, Marcel Dekker, pp.207-246.
- Fuller, J.E., 1989, "Electrical Discharge Machining", Metals Handbook, 9ª Ed. Vol. 16, machining, p. 557-564.
- Kaminski, P.C.; Capuano, M.N., 1999, "Usinagem de Microfuros pelo Processo de Eletroerosão por Penetração", Revista OESP Metal-Mecânica, Ano 4, n.º 25, OESP Mídia, São Paulo, pp. 42-47.
- McGeough, J.A., 1988, "Advanced Methods of Machining", London, Chapman and Hall, pp.128-152.
- Miller, P.; Guha, A., 1999. "Guia dos Fabricantes de Ferramentas de Corte", São Paulo, Revista Máquinas & Metais, Aranda Editora – Ano XXXV, Junho, nº401, pp. 40-51.
- Yan, B.H., Tsai, H.C. and Huang, F.Y., 2005, "The Effect in EDM of a Dielectric of a Urea Solutions in Water on Modifying the Surface of Titanium", International Journal of Machining Tools and Manufacture, 45 (2005) 194-200.

Study of viability of titanium alloys nitriding using the electrical discharge machining process

Bruno Costa Camargo, b.c.camargo@gmail.com¹.

Henara Lillian Costa, ltm-henara@ufu.br¹.

Alberto Arnaldo Raslan, ltm-raslanufu.br¹.

¹Universidade Federal de Uberlândia - Faculdade de Engenharia Mecânica - Av. João Naves de Ávila, 2160 - Campus Santa Mônica - Bloco 1M - Uberlândia - MG - 38400-902.

Abstract: *Titanium alloys are largely used in applications involving aggressive environments, such as the aerospace and biomedical industries. They present high specific strength, corrosion resistance and fatigue resistance, biocompatibility and good cryogenic properties. However, they present a high friction and a low abrasive and sliding wear resistance. This work investigates the nitriding of a Ti6Al4V alloy. In the tests, aeronautical titanium samples were subjected to electrical discharges using EDM immersed in a fluid containing 10% of urea and 90% of deionized water. The choice of the machining parameters was based in the recommendations in the literature. Optical microscopy, Vickers micro hardness and EDX were used to characterize the sample after the tests. The results showed the presence of a nitrided layer, which led to an increase of 60% in hardness. It was concluded that the nitriding was efficient to promote surface hardening of a Ti6Al4V alloy.*

Keywords: *nitriding, titanium, micro hardness, EDM.*