

NITRETAÇÃO POR DESCARGAS ELÉTRICAS DO AÇO AISI 4340

Victor Souza Esteves Lima, victorselima@gmail.com¹

Roberta Nunes Nery dos Santos, robertannery@gmail.com¹

Claudinei Alfredo do Nascimento, cadclau@gmail.com¹

Aderci de Freitas Filho, aderciff@gmail.com¹

Ernani Rodrigues da Silva, ernanerodrigues@gmail.com¹

¹Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – CEFET-MG, Av. Amazonas, 5253 - Nova Suíça, Belo Horizonte – MG – CEP. 30480-000

Resumo: O processo de usinagem por descargas elétricas (EDM), utilizando como fluido dielétrico a água deionizada com adição de ureia, composto rico em nitrogênio, possibilita formação de nitretos em uma camada homogênea abaixo da camada branca (zona refundida). O principal objetivo deste trabalho foi avaliar a variação da espessura desta camada nitretada no aço AISI 4340 variando os eletrodos ferramenta (cobre eletrolítico e grafita) no processo (EDM), utilizando uma máquina de eletroerosão por penetração. Os parâmetros operacionais da máquina EDM são ajustados de tal modo a permitir a formação e dissipação de um canal de plasma. Os resultados encontrados mostram a formação de camadas superficiais e sub-superficiais enriquecida por elementos químicos presente inicialmente na solução aquosa e íons provenientes dos eletrodos de cobre ou grafita. Foi possível comparar que a taxa de remoção de material e a profundidade da camada nitretada foram maiores utilizando o eletrodo de grafita. As técnicas de caracterização utilizadas foram: análise micrográfica, microdureza Vickers e Difração de Raio-x, assim foi possível verificar o aumento da dureza e o aparecimento de nitretos nas amostras analisadas.

Palavras-chave: Nitretação por descargas elétricas, Ureia, EDM, AISI 4340.

1. INTRODUÇÃO

O aço AISI 4340 combina dureza com alta ductilidade. Ele tem alta resistência à fadiga e à fluência. Muitas vezes é usado na fabricação de eixos, engrenagens e cilindros, onde existem condições severas de serviço e, é necessária uma alta resistência (ASM HANDBOOK, 1990). Este aço pode ser nitretado para elevar a resistência ao desgaste pelo endurecimento superficial.

O processo de usinagem por descargas elétricas (EDM) se destaca como um dos processos mais utilizados na fabricação de moldes e matrizes por trabalhar peças de elevadas durezas, com geometrias complexas e com alto grau de exatidão que seriam difíceis de serem usinadas pelos processos convencionais (EL-HOFY, 2005).

A usinagem por EDM pode ser feita em qualquer material condutor elétrico em operações de desbaste e acabamento e as propriedades mecânicas tanto da peça quanto do eletrodo ferramenta têm pouca influência no desempenho do processo (SANTOS, 2013).

Embora EDM seja essencialmente um processo de remoção de material, estudos vêm sendo feitos para aplicação como um método de tratamento de superfície. Essa modificação segundo Kumar et al. (2009) pode ocorrer usando eletrodos convencionais, eletrodos fabricados através da metalurgia do pó ou adição de partículas ao fluido dielétrico.

Ao longo dos últimos anos muitas pesquisas têm sido feitas usando diferentes fluidos dielétricos ou diferentes misturas diluídas no fluido, visando possibilitar o enriquecimento da superfície da peça com nitrogênio, carbono, cálcio, fósforo, boro e outros elementos. Melhorias significativas nas propriedades têm sido relatadas utilizando o processo por descargas elétricas, tornando assim uma técnica atrativa e que têm sido exploradas.

Yan et al. (2005) possibilitaram o enriquecimento da superfície com nitrogênio em uma liga de Ti6Al4V no qual foram verificados os efeitos da diluição de ureia em água destilada para ser utilizada como fluido dielétrico, ureia que é a fonte de nitrogênio a ser incorporada a superfície da peça.

Camargo et al. (2009) também pesquisaram o enriquecimento da superfície da liga de titânio utilizando ureia diluída (10g/l) em água deionizada comprovando 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.

Utilizando o aço AISI 4140, Santos (2013) verificou a possibilidade de nitretar utilizando as descargas elétricas da eletroerosão com solução de água deionizada e ureia como fluido dielétrico, os resultados mostraram a formação de uma camada rica em nitretos, com espessura entre 20 e 25µm.

Molinetti et al. (2016) investigaram a influência de pós de silício e manganês suspensas no dielétrico para usinar por EDM o AISI H13 avaliando a rugosidade e dureza da superfície. Seus resultados evidenciaram que o silício reduziu a rugosidade da superfície e o pó de silício e manganês promoveu um aumento dureza da camada refundida em 40% se comparado com usinagem EDM convencional.

Amorim et. al. (2017) estudaram a modificação da superfície da ferramenta AISI H13 na usinagem por descargas elétricas utilizando pó de molibdênio (Mo) suspensos no meio dielétrico. Os resultados mostraram um enriquecimento da camada refundida com Mo, na qual foram observadas a formação de fases de Fe-Mo e Mo₃C e também a presença de Mo em solução sólida, resultando em aumento de dureza quatro vezes maior em comparação com a matriz.

O objetivo desse trabalho foi avaliar a técnica de enriquecimento superficial do aço AISI 4340 com nitretos, por meio do processo de nitretação por descargas elétricas (NDE).

2. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Os experimentos foram realizados em uma máquina de eletroerosão por penetração, modelo Servspark Eletroplus EDM-540. Foram necessárias adaptações para possibilitar o emprego do processo NDE. Utilizou-se uma cuba auxiliar apresentada na Fig. 1 fabricada em aço inox AISI 304. Fez-se necessária essa adaptação para a não contaminação do fluido utilizado nos testes com o fluido da máquina. O fluido dielétrico utilizado foi uma solução de água deionizada e ureia, na concentração de 33,33 g/l. Uma bomba centrífuga foi utilizada, com o objetivo de circular o fluido dielétrico. Esse procedimento foi feito para a limpeza da fenda de trabalho pelo jato.

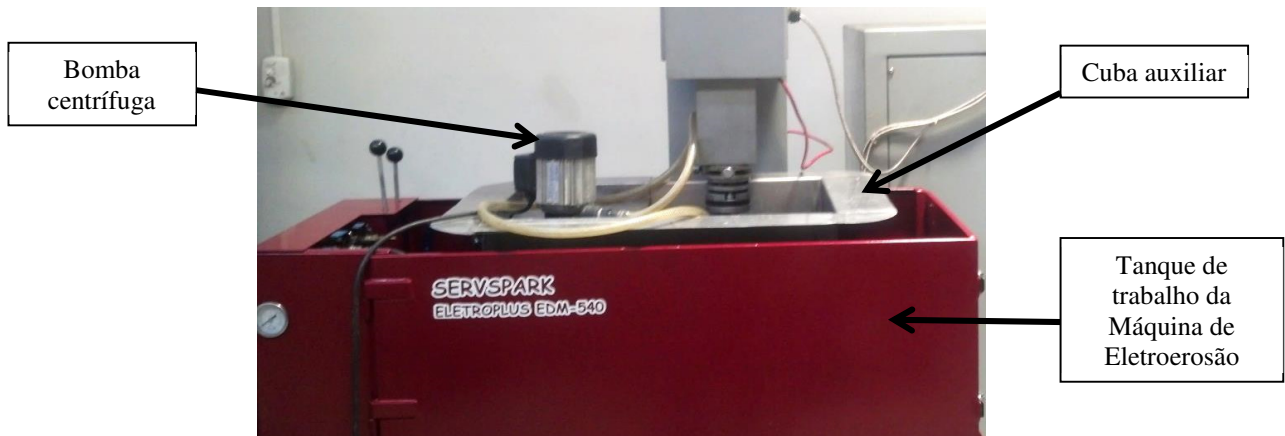


Figura 1. Máquina de eletroerosão utilizada no processo de Nitretação com a cuba auxiliar.

Os eletrodos peça foram fabricados de aço AISI 4340, com dimensões de 19mm x 19mm x 13,5mm. Os eletrodos ferramenta usados no processo NDE foram confeccionados em cobre eletrolítico dimensões de 25mm x 25mm x 23mm e grafita com dimensões de 31mm x 25mm x 37mm. Os eletrodos foram pesados utilizando uma balança de precisão com resolução 10^{-3} g e taxa de remoção de material e a taxa de desgaste dos eletrodos foram calculados a partir da perda de peso das peças e dos eletrodos. A Fig. 2 ilustra a montagem dos eletrodos no interior da cuba auxiliar.

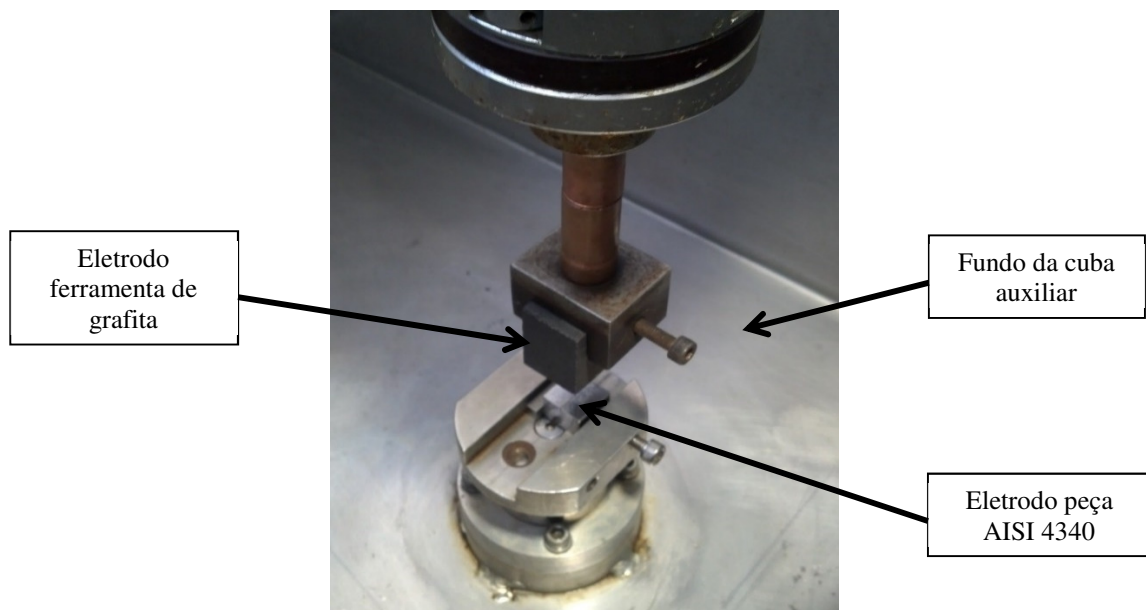


Figura 2. Máquina de eletroerosão utilizada no processo de Nitretação com a cuba auxiliar.

A tabela 1 apresenta os parâmetros operacionais selecionados, que possibilitaram a aplicação do processo NDE na máquina EDM Servspark.

Tabela 1. Parâmetros operacionais ajustados na máquina EDM para aplicação do processo NDE.

<i>Parâmetros de trabalho</i>	<i>Descrição</i>
Polaridade do eletrodo ferramenta	Positiva (+)
Corrente	40A
Tempo de pulso (T_{on})	500 μ s
Tempo de pausa (T_{off})	1,5*
Fenda de trabalho (gap)	1*
Velocidade do servo	5*
Afastamento periódico da ferramenta	3*
Tempo de erosão	5*

*Parâmetros ajustados nos botões do painel de controle da máquina

A Figura 3 ilustra o painel de controle da máquina Servspark Eletroplus EDM-540 com indicação dos parâmetros operacionais para aplicação do processo NDE no aço AISI 4340. O tempo de duração de cada teste foi de 10 minutos.



Figura 3. Painel de controle da máquina de eletroerosão com indicação dos parâmetros ajustados.

Após a usinagem por descargas elétricas para conseguir produzir a superfície nitretada, uma amostra usinada com cobre e uma usinada com grafita foi seccionada ao meio com o objetivo de conseguir superfícies planas da secção transversal, para análise via microscopia óptica. As análises micrográficas das zonas refundidas (ZR) e camada nitretada foram realizadas em microscópio óptico. As imagens foram capturadas por meio de câmera digital acoplada ao equipamento. Os ensaios de microdureza Vickers foram realizados em microdurômetro com cargas de 10 gf a 20s. A presença de nitretos na superfície foi verificada via difração de raios-x convencional, Bragg-Brentano ou θ -2 θ .

3. RESULTADOS E DISCURSSÃO

A Figura 4 compara a taxa de remoção de material (TRM) do aço AISI 4340 que foi usinado com eletrodo ferramenta de cobre eletrolítico e grafita. O resultado mostra que a TRM utilizando o eletrodo de grafita é maior que a TRM se utilizar o eletrodo de cobre.

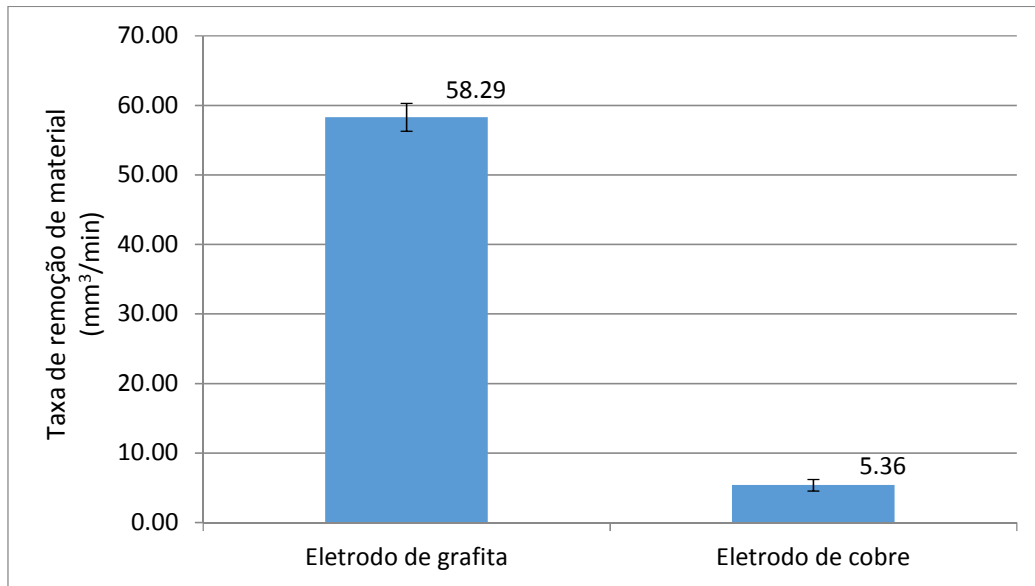


Figura 4. Taxa de remoção de material do aço AISI 4340 utilizando eletrodo de cobre eletrolítico e grafita.

A Figura 5 compara a taxa de desgaste dos eletrodos (TD) de cobre e grafita. O resultado mostra que a TD utilizando o eletrodo de grafita é maior que a TD se utilizar o eletrodo de cobre.

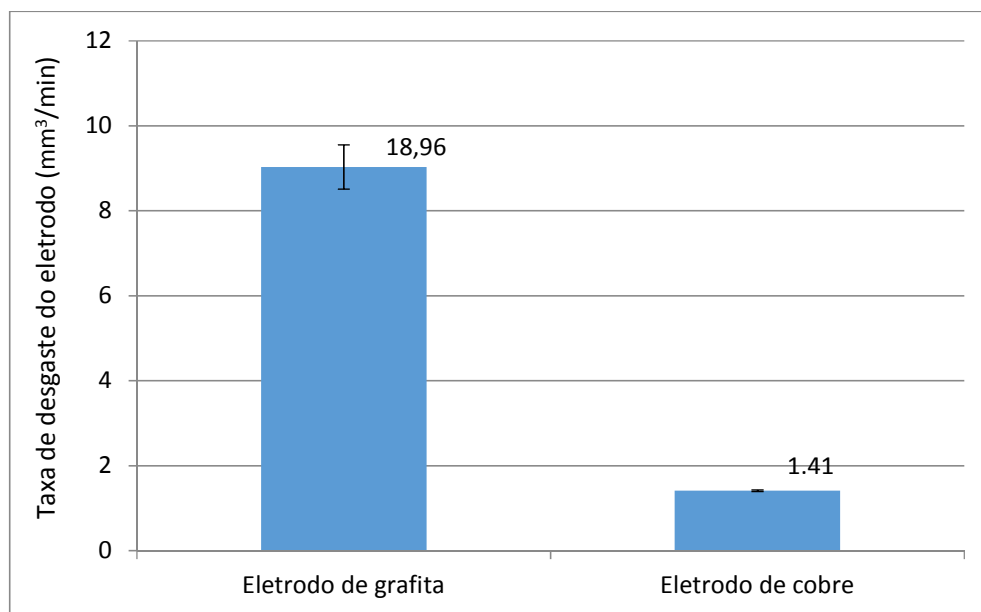


Figura 5. Taxa de desgaste dos eletrodos utilizados na NDE.

A microestrutura da seção transversal é mostrada na Fig. 6. Nota-se, a formação de uma camada afetada por calor, típica de processos EDM. Pode-se observar 3 regiões diferentes: camada refundida, camada nitretada e material base. Pode-se observar diferentes profundidades da camada nitretada comparando a usinagem pelos dois eletrodos, cobre e grafita. Observa-se uma camada mais espessa com a utilização do eletrodo de grafita.

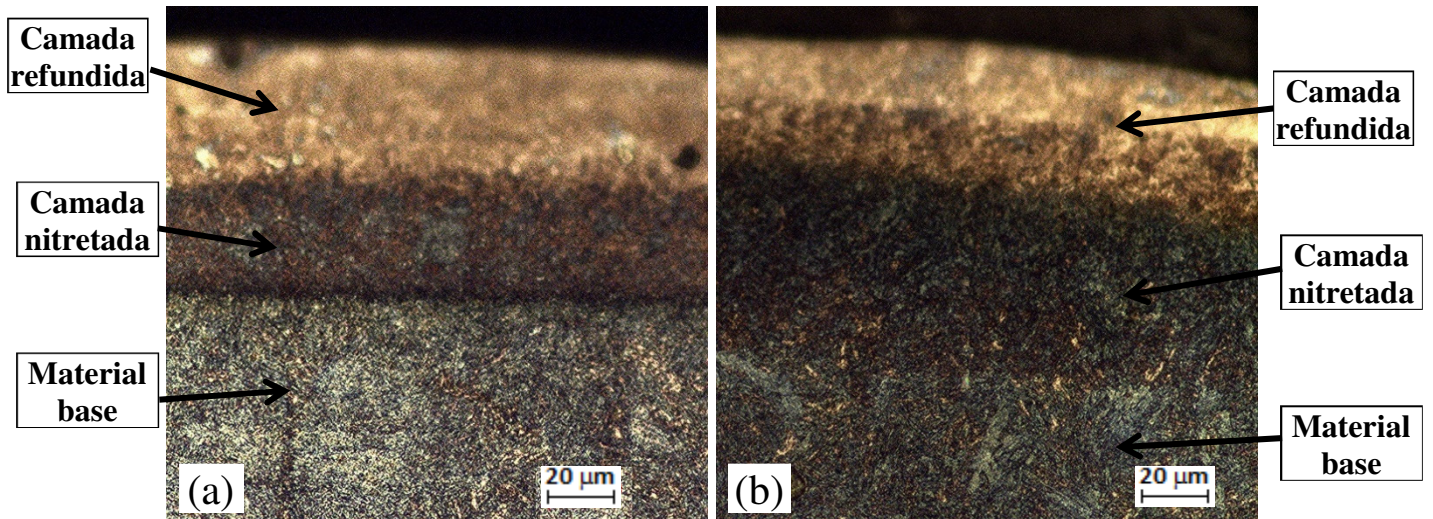


Figura 6. Microestrutura seção transversal (a) Usinada eletrodo de cobre e (b) usinada eletrodo de grafita

A Tabela 2 apresenta os resultados médios e os respectivos desvios padrões obtidos com a microdureza Vickers da camada nitretada com ambos os eletrodos ferramenta e da matriz. Os resultados médios foram obtidos em 6 testes de cada região de amostra, aplicando uma carga de 10gf por 20s.

Tabela 2. Valores de microdureza Vickers (carga de 10gf por 20s) do aço AISI4340 e da camada nitretada obtida com eletrodos ferramenta de cobre e grafita.

	<i>Metal Base (AISI4340)</i>	<i>Camada nitretada (NDE)</i>	
		<i>Eletrodo de cobre</i>	<i>Eletrodo de grafita</i>
Dureza HV	276,83 ±14,82	487,00 ±16,43	425,33 ±12,59
Ganho no valor da microdureza HV		75,92%	53,64%

A Figura 7 mostra uma imagem de microscopia óptica da seção transversal de uma amostra nitretada com eletrodo ferramenta de cobre eletrolítico e grafita, capturadas via câmera digital acoplada ao microdurômetro, após os testes de dureza.

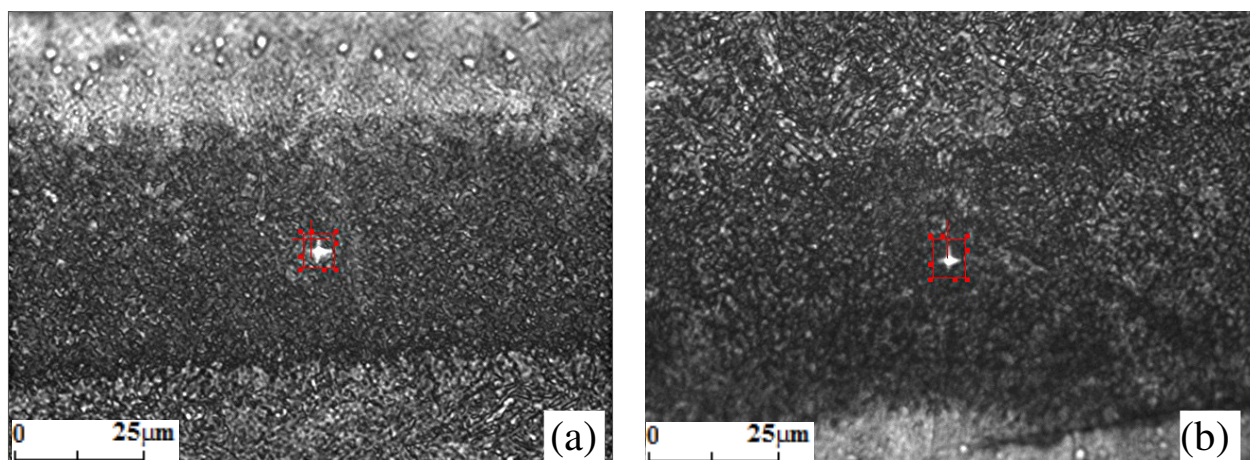


Figura 7. Imagens de microscopia óptica durante os testes de microdureza (a) usinada com eletrodo de cobre e (b) usinada com eletrodo de grafita

Ocorreu aumento no valor da microdureza na camada nitretada. Os resultados de microdureza mostraram um acréscimo de cerca de 75% de dureza na camada nitretada com o eletrodo de cobre e de 53% com o eletrodo de grafita aproximadamente. Esses resultados são semelhantes aos obtidos por Raslan (2015) quando avaliou o aço AISI 4140. A camada nitretada de dureza superior à do metal base, se estende por toda sua espessura, cerca de 35 μm para eletrodo de cobre e de 60 μm para a camada usinada com eletrodo de grafita. Para ambos os tipos de eletrodo ferramenta, a camada nitretada se junta à refundida.

A Figura 8 mostra o perfil de dureza realizado para os dois eletrodos, observou-se que a camada refundida no eletrodo de cobre apresentou dureza menor que camada refundida no eletrodo de grafita, observa-se também que a dureza na camada nitretada com o eletrodo de cobre apresentou-se com dureza maior que a camada nitretada com o eletrodo de grafita. O perfil de dureza mostra ganho na dureza ao metal base por volta de 180% para o eletrodo de grafita e 82% para eletrodo de cobre.

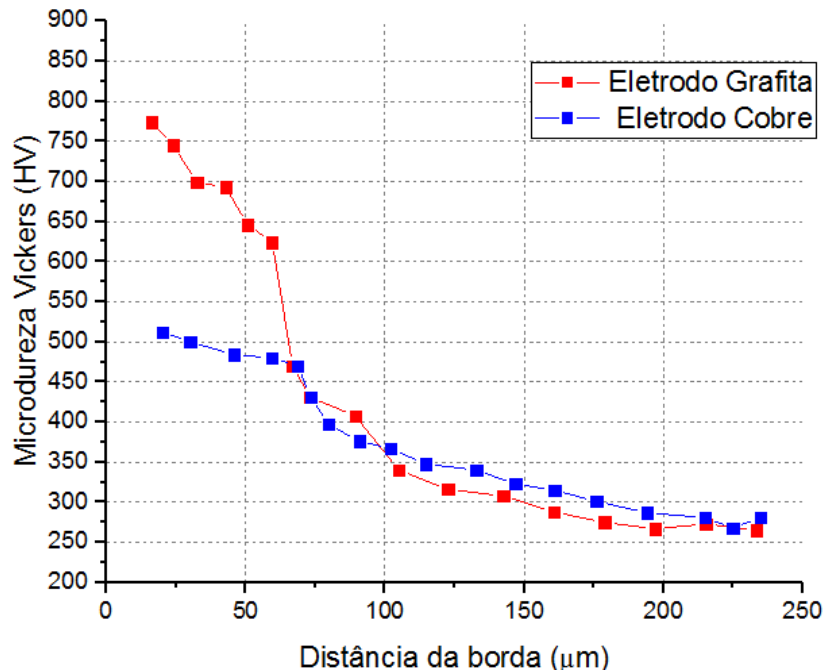


Figura 8. Perfil de dureza para as amostras usinadas com eletrodo de cobre e grafita.

A análise por difração de raios-x (DRX), Figuras 9 a 11, das amostras nitretada com eletrodos ferramenta de cobre e grafita comparadas com o metal base revelam a presença de diferentes nitretos. O aumento na dureza pode ser atribuído a essa formação de nitretos.

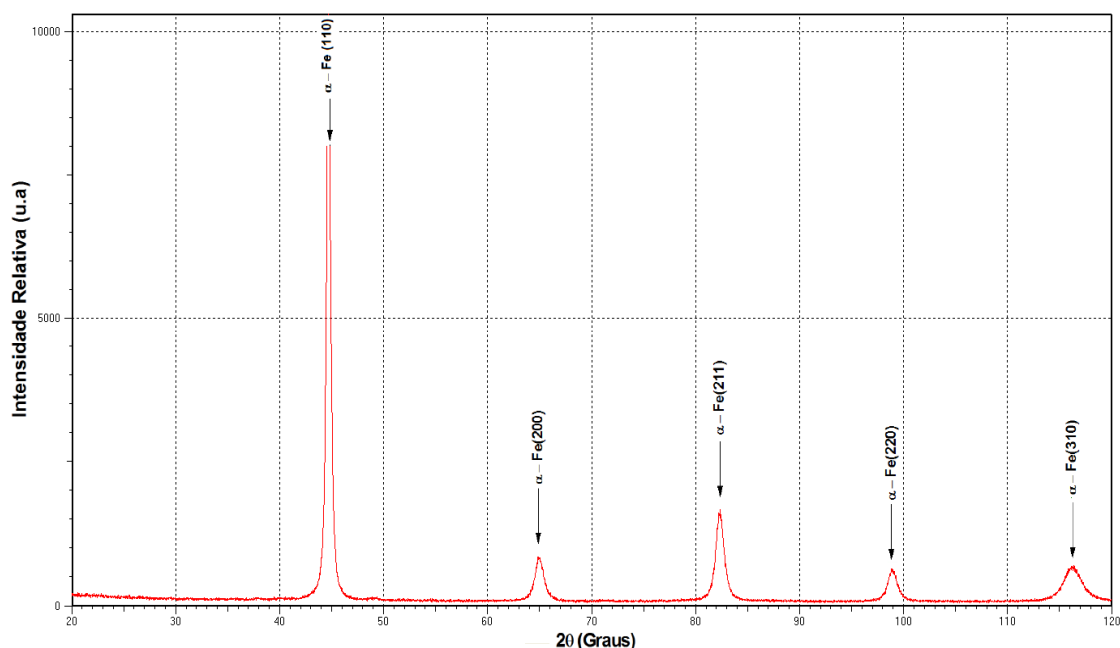


Figura 9. Difratograma da amostra de aço AISI 4340 de referência.

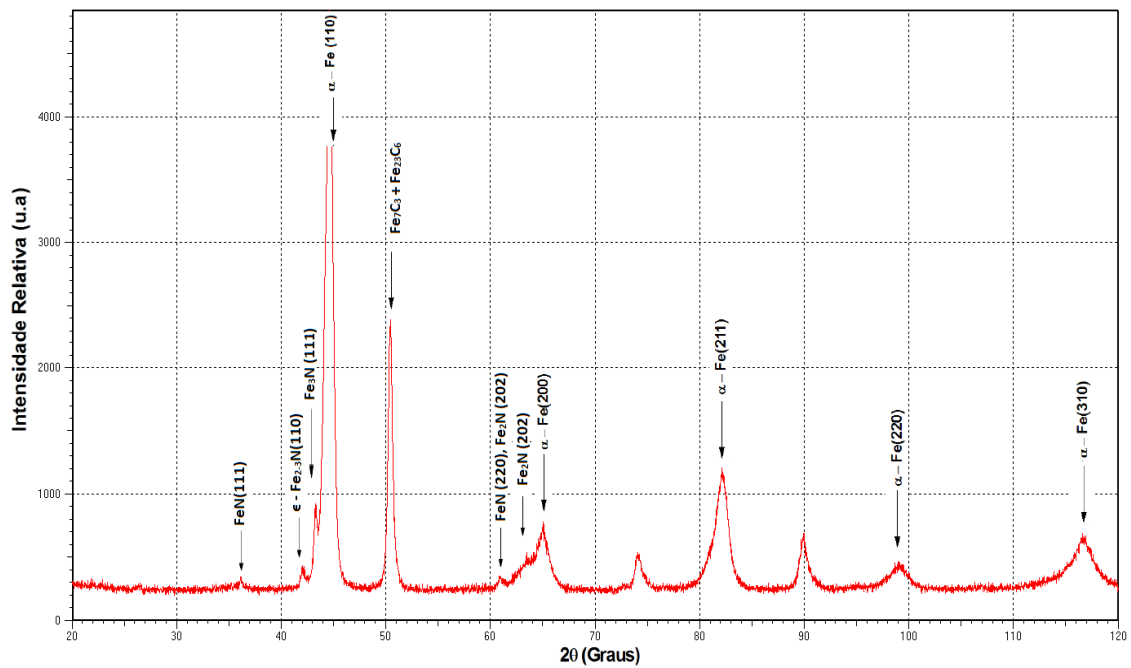


Figura 10. Difratoograma da amostra de aço AISI 4340 nitretada com eletrodo de grafita.

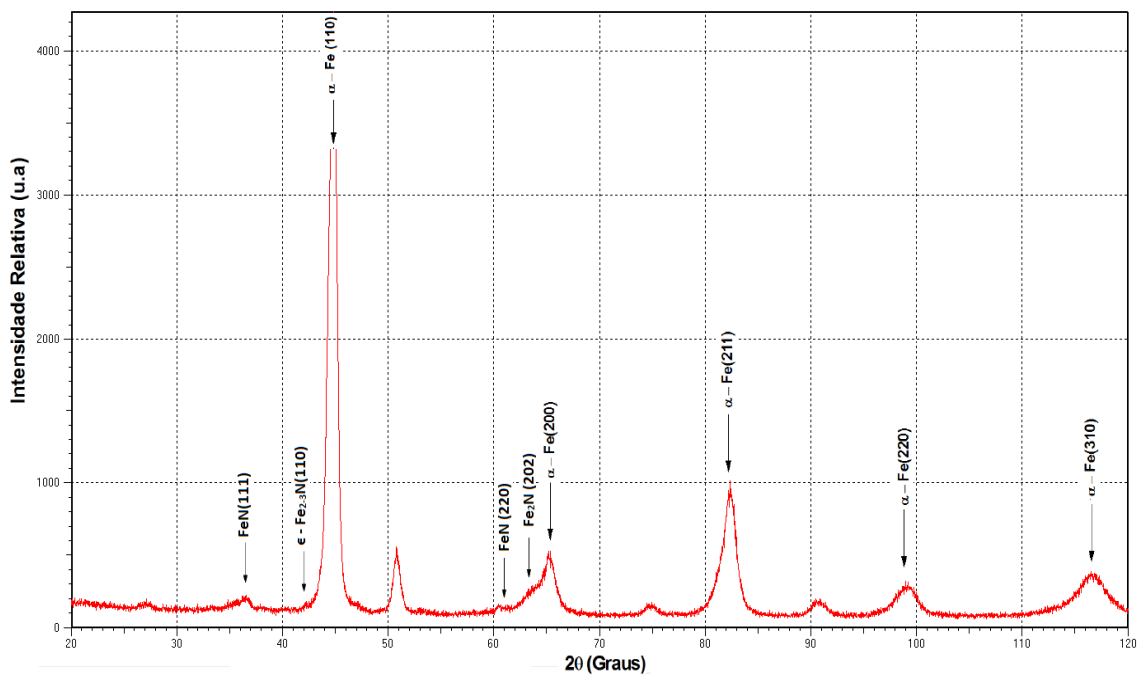


Figura 11. Difratoograma da amostra de aço AISI 4340 nitretada com eletrodo de cobre.

4. CONCLUSÃO

Foi observada a formação de uma camada nitretada na superfície da amostra usinada por NDE com eletrodos ferramenta de cobre e grafita. A espessura da camada nitretada com eletrodo de cobre ficou em torno de 35 μm , já com eletrodo de grafita 60 μm , aproximadamente.

Ocorreu um ganho na dureza da camada nitretada com o eletrodo de cobre de aproximadamente de 75% e de 53% aproximadamente com eletrodo de grafita, em relação à matriz.

Obteve uma taxa de remoção de material maior utilizando-se o eletrodo de grafita.

Foi evidenciada a formação de nitretos de ferro na camada nitretada, por meio de difração de raio x, para ambos os tipos de eletrodo ferramenta. Os nitretos formados são principalmente do tipo FeN e $\epsilon\text{-Fe}_3\text{N}$.

5. AGRADECIMENTOS

Ao CEFET MG pelo apoio para participação e apresentação do trabalho no Congresso.

6. REFERÊNCIAS

- Amorim, F. L.; Dalsin, V. A.; Soares, P.; Mendes, L. A. Surface modification of tool steel by electrical discharge machining with molybdenum powder mixed in dielectric fluid. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. v. 91, 2017, Issue 1-4, p.341-350.
- ASM Handbook. Properties and selection: irons, steels, and high-performance alloys. 10ed. American Society for Metals – ASM International, Ohio, v.1, 1990.
- Camargo, B. C.; Costa, L. H.; Raslan, A. A. Endurecimento superficial de uma liga Ti6Al4V por meio de usinagem por descargas elétricas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE FABRICAÇÃO – COBEF, 2009, Belo Horizonte, Anais... v.5, Belo Horizonte: COBEF, 2009.
- El-Hofy, H. Advanced machining processes. Egypt. Mechanical Engineering Series, 2005. p.115-130.
- Kumar, S.; Singh, R.; Singh, T. P.; Sethi, B. L. Surface modification by electrical discharge machining: a review. Journal of Materials processing Technology. India, v. 209, 3675-3687, 2009.
- Molinetti, A.; Amorim, F. L.; Soares JR., P. C.; Czelusniak, T. Surface modification of AISI H13 tool steel with silicon or manganese powders mixed to the dielectric in electrical discharge machining process. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. v. 83, 2016, Issue 5-8, p.1057-1068.
- Raslan, A. A. Implantação iônica em meio aquoso por EDM: Resistência ao desgaste de aço AISI 4140. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE FABRICAÇÃO – COBEF, 2015, Belo Horizonte, Anais... v.8, Belo Horizonte: COBEF, 2015.
- Santos, R. F. – Nitretação por EDM no aço AISI 4140. 2013. 129f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica, Uberlândia, 2013.
- Yan, B. H.; Tsai, H. C.; Huang, F. Y. The effect in EDM of a dielectric of a urea solution in water on modifying the surface of titanium. International Journal of Machine Tools & Manufacture. n. 45, 2005, p. 194-200.

7. RESPONSABILIDADE AUTURAL

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho.

NITRETATION BY ELECTRIC SHOCK OF AISI STEEL 4340

Victor Souza Esteves Lima, victorselima@gmail.com¹

Roberta Nunes Nery dos Santos, robertannery@gmail.com¹

Claudinei Alfredo do Nascimento, cadclau@gmail.com¹

Aderci de Freitas Filho, aderciff@gmail.com¹

Ernani Rodrigues da Silva, ernanerodrigues@gmail.com¹

¹Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – CEFET-MG, Av. Amazonas, 5253 - Nova Suíça, Belo Horizonte – MG – CEP. 30480-000

Abstract. The EDM process, using as a dielectric fluid the deionized water with the addition of urea, a compound rich in nitrogen, allows the formation of nitrides in a homogenous layer below the white layer (recast zone). The main objective of this work was to evaluate the variation of the thickness of this nitrated layer in the AISI 4340 steel by varying the tool electrodes (electrolytic copper and graphite) in the process (EDM), using a penetration electric - erosion machine. The operating parameters of the EDM machine are adjusted in such a way as to allow the formation and dissipation of a plasma channel. The results show the formation of superficial and sub-surface layers enriched by chemical elements initially present in the aqueous solution and ions from copper or graphite electrodes. It was possible to compare that the material removal rate and the nitrated layer depth were higher using the graphite electrode. The characterization techniques used were: micrographic analysis, Vickers microhardness and X-ray diffraction, so it was possible to verify the increase of hardness and the appearance of nitrites in the samples analyzed.

Keywords: Nitriding by electric discharges, Urea, EDM, AISI 4340.