

DESENVOLVIMENTO DO PROCESSO DE NITRETAÇÃO E PÓS OXIDAÇÃO A PLASMA DO AÇO AISI H13 PARA TRABALHO A QUENTE AISI H13 NO APERFEIÇOAMENTO DE EQUIPAMENTOS APLICADOS NO ARRANJO PRODUTIVO LOCAL

Guilherme Pauli (IFC - Campus Luzerna) E-mail: guipauli04@gmail.com
João Vitor Schürmann Dal Prá (IFC - Campus Luzerna) E-mail: spfcjv.schurmann55@gmail.com
Mário Wolfart Junior (IFC - Campus Luzerna) E-mail: mario.wolfart@ifc.edu.br
Mateus Ritter Pasini (IFC - Campus Luzerna) E-mail: mateus.pasini@ifc.edu.br
Frederico Murilo Wlassak (IFC) E-mail: wlassak.f@gmail.com

Resumo: O processo de nitretação a plasma vem sendo aplicado em diferentes ramos na indústria, como em moldes de injeção de plástico, alumínio, na indústria automotiva ou em qualquer outra necessidade de um aço com uma elevada dureza superficial e resistência ao desgaste, mantendo uma boa tenacidade e resistência mecânica da peça. Partindo da necessidade de uma maior resistência à corrosão em atividades submetidas a ambientes degradantes, o tratamento de pós-oxidação a plasma realizado imediatamente após a nitretação, surge como uma saída para o problema. Este artigo teve como objetivo o estudo de composição química e da variação do tempo do processo de pós-oxidação a plasma de peças do aço H13. Visou-se computar a formação dos óxidos de ferro (magnetita e hematita), analisando suas características e aplicações, além de avaliar as variações de intensidade dos óxidos e espessura da camada oxidada em decorrência dos maiores tempos de ensaio. Após os tratamentos a camada nitretada apresentou uma estreita camada branca e uma camada de difusão de 350 µm. Depois da realização do tratamento de pós-oxidação, a camada pós-oxidada por 45 minutos apresentou uma espessura de cerca de 5 µm, enquanto o tratamento realizado por 90 minutos resultou em uma camada de 10 µm. Através dos ensaios de microdureza Vickers e DRX, foi perceptível uma oxidação dos nitretos de ferro, possibilitando assim a formação de uma camada oxidada.

Palavras-chave: Nitretação, Pós-oxidação, Corrosão, Óxidos, Plasma.

DEVELOPMENT OF PLASMA NITRETATION AND POST OXIDATION PROCESS OF HOT WORK STEEL AISI H13 IN THE IMPROVEMENT OF EQUIPMENT APPLIED IN THE LOCAL PRODUCTION ARRANGEMENT

Abstract: The plasma nitriding process has been applied in various sectors of the industry, such as in plastic injection molds, aluminum, the automotive industry, or any other need for steel with high surface hardness and wear resistance, while maintaining good toughness and mechanical strength of the component. In response to the need for increased corrosion resistance in activities subjected to degrading environments, the plasma post-oxidation treatment carried out immediately after nitriding emerges as a solution to the problem. This article aimed to study the chemical composition and variation in the time of the plasma post-oxidation process of H13 steel components. The goal was to assess the formation of iron oxides (magnetite and hematite), analyzing their characteristics and applications, as well as evaluating variations in oxide intensity

and oxidized layer thickness as a result of longer test durations. Following the treatments, the nitrided layer exhibited a thin white layer and a diffusion layer of 350 μm . After the post-oxidation treatment, the layer oxidized for 45 minutes had a thickness of approximately 5 μm , while the treatment conducted for 90 minutes resulted in a 10 μm layer. Through Vickers microhardness and X-ray diffraction (XRD) tests, the oxidation of iron nitrides was noticeable, allowing for the formation of an oxidized layer.

Keywords: nitriding; plasma post-oxidation; corrosion; oxides; composition.

1. INTRODUÇÃO

Com o grande desenvolvimento da indústria, busca-se desenvolver novas técnicas e equipamentos que estejam de acordo com as aplicações necessárias, visando uma ampliação na produtividade e na qualidade dos produtos. Em diversas aplicações do meio industrial existem peças as quais estão expostas a ambientes corrosivos ou submetidas a grande desgaste que necessitam de grande resistência térmica e dessa forma tem sua vida útil reduzida, fato que causa uma queda de produção industrial.

O primeiro contato entre equipamento e produto ocorre na superfície da peça, local pelo qual conseqüentemente ocorre grande parte das falhas do componente, impactando diretamente na sua vida útil (KENNETH, 2009, citado em BOGONI, 2016).

Diferentes abordagens podem ser aplicadas em situações onde os componentes de equipamentos estão diretamente em contato com ambientes agressivos, visando mitigar falhas e danos. O estudo sobre o emprego de diferentes materiais é válido, porém em situações onde o desgaste superficial é muito grande, tratamentos termoquímicos de endurecimento superficial apresentam-se como uma excelente alternativa para a aplicação.

Dentre a gama de processos utilizados para aumentar a vida útil e garantir novas características aos aços, alguns são responsáveis pela geração de uma camada de alta dureza na superfície do material e pelo aumento da resistência ao desgaste sem alterar as propriedades internas do material. Esses são chamados de tratamentos termoquímicos superficiais, os quais pode-se destacar o processo de nitretação (CELESTINO; FELIPE; MACHADO, 2008).

O tratamento de nitretação é definido como um processo de endurecimento superficial que acontece através da difusão do nitrogênio em nível atômico, onde o mesmo é introduzido no interior do reticulado cristalino do aço em forma de nitretos (FERREIRA, 2001, citado em TOTTEN, 1997). Para que o processo de nitretação ocorra, são necessárias a combinação de três fatores: alta temperatura (até 550°C), nitrogênio e aço com elementos de liga com afinidade com o nitrogênio (ferro, cromo, molibdênio, vanádio, etc) (FERREIRA, 2001). O processo de nitretação se divide em três tipos: plasma, gasosa e líquida.

A nitretação a plasma é realizada no interior de um reator, submetido a uma pressão de vácuo e alimentado pelos gases do processo. Na parte central do reator é posicionada uma mesa na qual são posicionadas as amostras, as quais recebem uma carga negativa, se tornando o catodo do equipamento. A estrutura do reator recebe uma carga de sinal oposto (anodo), induzindo uma diferença de potencial entre os dois componentes (peça e reator). Com a formação de uma diferença de potencial entre os eletrodos, juntamente com a adição dos gases nitretantes (usualmente nitrogênio e hidrogênio), o ambiente entre os polos ioniza-se e forma o plasma que envolve o catodo. Dentro do plasma os íons são acelerados e bombardeados na peça, resultando

no seu aquecimento, o qual varia de acordo com a quantidade de corrente liberada sobre o sistema (ALVES, 2001).

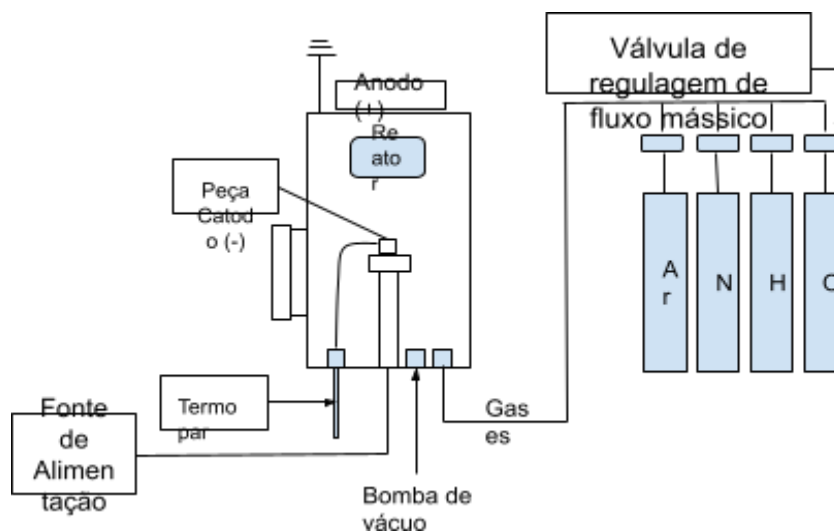


Figura 1 – Esquema do nitretador a plasma.

As características das peças resultantes do processo de nitretação a plasma variam de acordo com os parâmetros utilizados para sua realização (temperatura, composição dos gases e tempo). Essas propriedades adquiridas no processo, se devem à capacidade de difusão atômica do nitrogênio no aço, a qual pode resultar na construção de uma camada branca (ou composta) e de uma camada de difusão. A camada composta, também conhecida como camada branca, é constituída principalmente por nitretos de ferro γ' (Fe_4N) quando sua concentração de nitrogênio excede 5,5% em peso, e/ou nitretos ϵ (Fe_2-3N) quando a concentração de nitrogênio é superior a 7,35% em peso. Enquanto a camada de difusão se forma com a reação do nitrogênio com outros elementos os quais possuem uma maior afinidade (TOTTEN, 1997).

Uma nova etapa para a produção de uma estrutura de óxidos na superfície da amostra pode ser feita após a realização da nitretação, é o processo de pós-oxidação, o qual se define pela difusão de oxigênio pela camada branca ou de difusão. Essa nova microestrutura da superfície pode ser composta pela fase de Fe_2O_3 (hematita) ou Fe_3O_4 (magnetita) e pode ser obtida através de três variações do processo: por meio gasoso, banho de sal ou plasma. Na pós-oxidação a plasma as temperaturas alcançam cerca de 550°C e resultam em camadas na faixa do micron, variando de acordo com os parâmetros de processo.

O processo de pós-oxidação a plasma ocorre de forma muito semelhante ao processo de nitretação, uma vez que a peça é posicionada no interior de uma câmara e submetida à pressão de vácuo. A atmosfera interna da câmara de oxidação deve conter uma mistura gasosa de hidrogênio e oxigênio, argônio e oxigênio, vapor de água ou ar (ESFAHANI, 2008). Segundo Birol (2010), a fase magnetita se caracteriza uma estrutura compacta e densa, com alta resistência a tração e baixo coeficiente de atrito, em contrapartida a outra possível fase resultante do processo de oxidação, a hematita, se define por uma estrutura porosa e de baixo potencial anticorrosivo.

Ana Cheila Rovani (2010) realizou um estudo acerca da pós-oxidação e encontrou separadamente as influências de diferentes parâmetros para o resultado do tratamento. Em seu estudo, ela constatou através de experimentos, a necessidade de pelo menos 25% de hidrogênio na mistura gasosa para uma formação de uma superfície livre de hematita, porém não interfere na profundidade de camada. Além disso, a autora

destaca que a temperatura do processo de pós-oxidação não interfere diretamente na formação dos óxidos, mas sim na profundidade da camada. Por fim, o tempo se apresenta com um parâmetro importante na formação da magnetita, apresentando uma tendência de aumento para a mesma, ademais maiores tempos também influenciam no aumento da camada oxidada.

A partir do estudo e realização dos processos de nitretação e pós-oxidação a plasma, buscou-se avaliar a presença e desenvolvimento de uma camada pós-oxidada na superfície de amostras de um aço ferramenta AISI H13, avaliando parâmetros de tempo e composição gasosa para identificação de fases do processo comparadas a dados alcançados por outras pesquisas, visando garantir um maior tempo de vida útil de peças presentes na indústria.

2. METODOLOGIA

Conforme citado, o material estudado, tratado e avaliado foram amostras de AISI H13, aço o qual é aplicado em grande escala em matrizes de forjamento, fundição e injeção de alumínio, indicado para trabalhos a quente. O AISI H13 se destaca como uma liga de cromo-molibdenio-vanadio com alta resistência mecânica, excelente tenacidade e boa resistência ao desgaste quando submetido a altas temperaturas, graças a grande resistência à fadiga térmica. Dessa forma, a fim de identificar o material estudado, as amostras foram submetidas à espectrometria de emissão óptica. O equipamento utilizado foi o espectrômetro SHIMADZU OES-500I, resultando na composição (em % de massa) comparada ao padrão do material estipulado por norma, apresentada na Tabela 1.

Elemento	Analizado	Especificado AISI H13
C	0,31	0.30 – 0.40
Mn	0.682	0.20 – 0.60
P	0.010	0.030
S	0.0005	0.030
Si	1.10	0.8 - 1.25
Cr	5.37	4.75 - 5.50
V	0.95	0.80 - 1.20
Mo	1.52	1.10 - 1.75

Tabela 1 – Resultado da análise química para a amostra de AISI H13.

A partir de uma barra de AISI H13 foram usinados 17 corpos de prova cilíndrica com 20 mm de diâmetro e 15 mm de espessura. Posteriormente, as amostras foram submetidas a um tratamento térmico de têmpera, a qual foi realizada através da austenitização do material sob uma temperatura de 1020°C durante 1 hora, seguido de resfriamento em óleo. O revenimento dos corpos de prova ocorreu imediatamente após o tratamento de têmpera, sendo realizado em 3 etapas (triplo revenimento), todas a 500°C e durante o período de 2 horas, seguidas por intervalos de resfriamento sob temperatura ambiente.

Após o término de ambos os tratamentos (têmpera e revenimento), todas as amostras foram avaliadas através da medição de dureza Rockwell C e após o revenimento preparadas por meio de lixamento e polimento, fatores que diminuem a rugosidade e conferem uma melhor uniformidade a camada nitretada.

Os corpos de prova foram nitretados em uma câmara de plasma desenvolvida pelo Laboratório de Ensaios Mecânicos e Metalúrgicos (LABEMM) do IFC Luzerna. O processo de nitretação foi realizado inicialmente com a limpeza interna da câmara através da adição de uma mistura de Hidrogênio (H_2) e Argônio (Ar) e na sequência ocorreu o primeiro tratamento de nitretação a plasma seguindo os parâmetros destacados na Tabela 2, realizado em um terço das amostras inicialmente preparadas.

	Limpeza	Nitretação
Pressão	4 mbar	4 mbar
Corrente	0,335 A	0,335 A
Composição dos gases	H_2 : 80% / Ar: 20%	H_2 : 80% / N_2 : 20%
Temperatura	200°C	500°C
Tempo	15 min.	5 h

Tabela 2 – Parâmetros utilizados na nitretação a plasma.

A segunda e terceira nitretação ocorreram seguindo os parâmetros da Tabela 2, porém, após o processo de nitretação, as amostras permaneceram em vácuo no interior da câmara e uma nova mistura gasosa, essa com a presença de elemento oxidante, foi adicionada no processo. Durante essas etapas foi variado o tempo de processo da pós-oxidação, como pode ser visualizado na Tabela 3.

	Pós-oxidação 1	Pós-oxidação 2
Pressão	4 mbar	4 mbar
Corrente	0,745 A	0,335 A
Composição dos gases	H_2 : 25% / O_2 : 10% / N_2 : 65%	H_2 : 25% / O_2 : 10% / N_2 : 65%
Temperatura	550°C	550°C
Tempo	45 min.	90 min

Tabela 3 – Parâmetros utilizados na pós-oxidação a plasma.

Os parâmetros de pós-oxidação foram definidos visando comparar a interferência de diferentes tempos na formação da camada oxidada, definindo como

constante o parâmetro de temperatura em um limite máximo sem apresentar interferência na dureza e na microestrutura do núcleo da amostra.

Após a realização dos tratamentos de superfície, alguns corpos de prova de cada processo de nitretação foram submetidos a cortes perpendiculares à área tratada. Esses, posteriormente foram preparados metalograficamente com inicialmente com o embutimento a quente das amostras com uma resina epóxi, na sequência as amostras foram lixadas sob granulometria 80, 120, 220, 320, 400, 600 e 1200 mesh e polidas com pasta de diamante de 3 μm e 1 μm e assim analisados sob diferentes especificidades.

O primeiro segmento de análise das amostras foi destinado a medição de microdureza Vickers da superfície nitretada e pós-oxidada. A realização da medição da camada nitretada foi baseada na norma DIN 50190, sendo realizada com um microdurômetro EQUILAM EQMHV 2000Z, com a aplicação de uma carga de 0,98 kgf.

Um segundo conjunto de amostras foi preparado seguindo a norma ASTM E 3 e na sequência foi realizada a análise microestrutural e captura de imagens através do microscópio óptico Optika B1000.

Para a identificação das fases resultantes do processo de oxidação na superfície da amostra, foram realizados ensaios de difração de raio-X, sob um ângulo de varredura de 20° a 60°.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Como resultado do tratamento de têmpera e revenimento, todos os corpos de prova foram avaliados quanto à dureza, a qual variou entre os valores de 56 a 58 HRC, estando de acordo com a curva de rendimento para os parâmetros usados.

Na Figura 2 estão presentes as curvas referentes aos perfis de microdureza obtidos depois dos ensaios de nitretação e pós-oxidação sob diferentes tempos. As curvas exibem a variação na dureza superficial, diminuindo gradualmente em direção à dureza do núcleo. Após o processo de nitretação a plasma, a superfície da amostra apresenta dureza de 1045 ± 20 HV, enquanto as amostras que sofreram o tratamento de pós-oxidação com 45 minutos e 90 minutos resultaram em uma microdureza superficial de 990 ± 15 HV e 960 ± 15 HV, respectivamente. Para fins de avaliação do tamanho da camada nitretada, adotou-se o critério do seu limite em 50 HV em relação à dureza do núcleo (588,2 HV), conforme estabelecido pela norma DIN 50190. Com base nesse critério, verificou-se que a profundidade da camada de difusão atingiu aproximadamente 340 μm na amostra nitretada e 300 μm nas amostras que sofreram pós-oxidação.

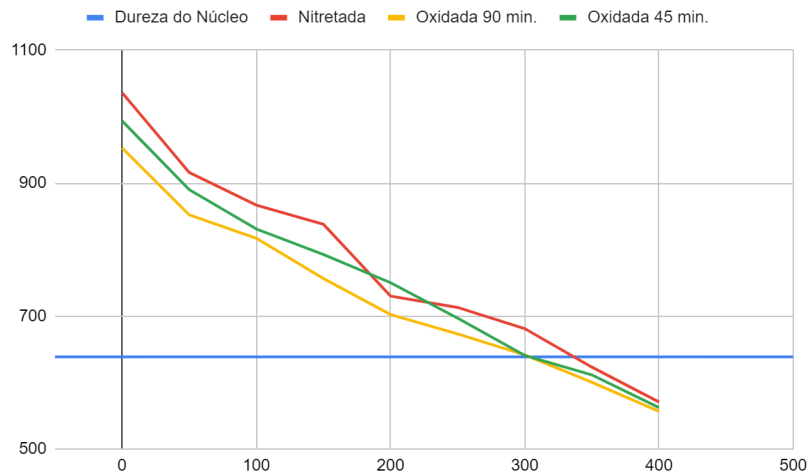


Figura 2 - Perfil de microdureza Vickers das amostras nitretadas e oxidadas.

Analisando a Figura 2, nota-se uma relação diretamente proporcional entre a variação do tempo do processo de pós-oxidação a plasma e a dureza superficial das amostras, tendo em vista que o aumento do tempo do ensaio resultou no decréscimo da dureza. O fato pode ser explicado pela oxidação dos nitretos, uma vez que as fases magnetita e hematita apresentam dureza inferior à dureza dos nitretos de ferro.

A Figura 3 mostra a imagem extraída a partir de um microscópio óptico que mostra a camada nitretada do aço AISI H13. De acordo com a figura é constatada a presença da camada de difusão e também de uma fina camada composta.

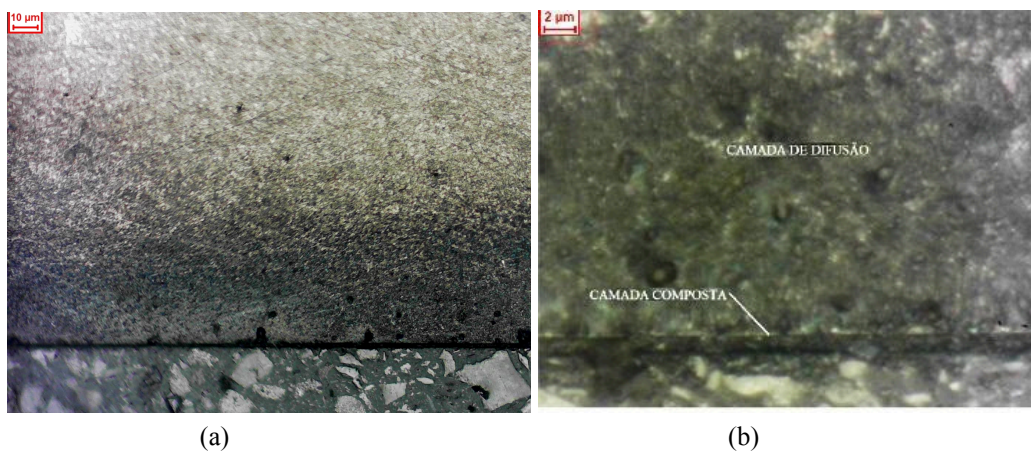


Figura 3 - Micrografia do perfil da camada nitretada do aço AISI H13 (a)Aproximação 200x. (b) Aproximação 1000x. Ataque químico Oberhoffer.

Nas Figuras 4 e 5 são apresentadas imagens extraídas após a realização dos processos de pós-oxidação. Nas imagens não é possível identificar com certeza a presença de uma camada oxidada, como já era esperado, tendo em vista a necessidade de equipamentos com maior aproximação, como MEV, para realizar esse tipo de identificação. Apenas é perceptível um aumento de uma espécie de difusividade de óxidos para o interior da peça.

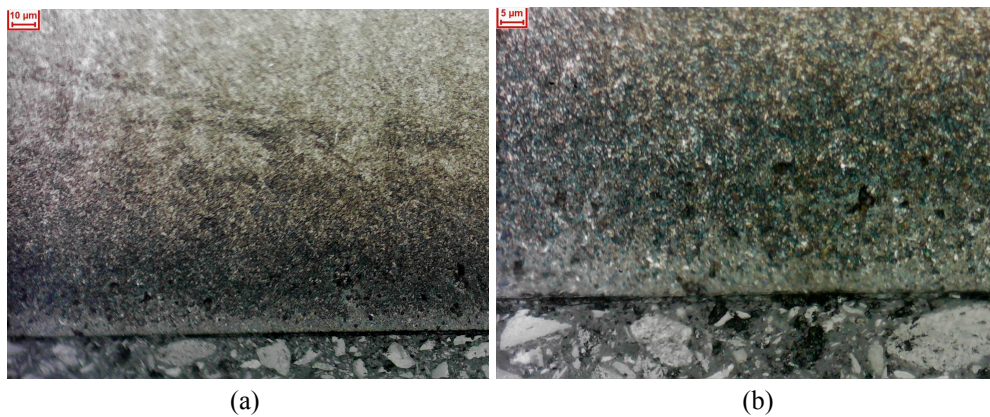


Figura 4 - Micrografia do perfil da camada pós-oxidada por 45 minutos.
(a) Aproximação 200x. (b) Aproximação 500x. Ataque químico Oberhoffer.

A Figura 4 mostra a microestrutura da camada que sofreu o processo de nitretação seguida por oxidação a plasma durante 45 minutos.

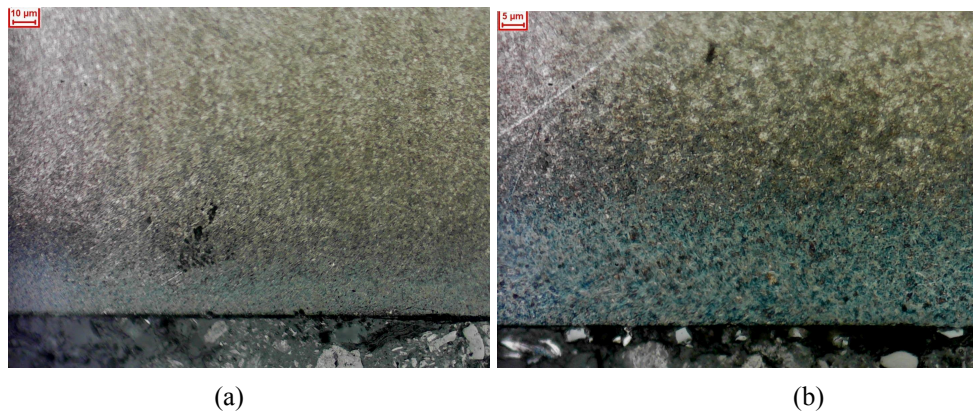


Figura 5 - Micrografia do perfil da camada pós-oxidada por 90 minutos.
(a) Aproximação 200x. (b) Aproximação 500x. Ataque químico Oberhoffer.

A Figura 5 ilustra a microestrutura da camada que foi submetida a um processo de nitretação, seguido de oxidação a plasma com duração de 90 minutos.

Ao analisar as figuras 4 e 5, é possível observar que sob as condições em que o ensaio foi realizado, houve um aumento na profundidade de penetração dos óxidos (esses que não podem ser caracterizados como uma camada oxidada devido a sua falta de homogeneidade), o que se mostrou diretamente relacionado ao tempo aplicado no processo de pós-oxidação. Essa correlação entre o aumento da duração da oxidação e o espessamento dos óxidos sugere uma relação proporcional entre essas variáveis. Esse fenômeno pode ser um bom indicador relacionado a penetração dos óxidos e a formação de uma camada oxidada que poderá ser de grande importância e ter implicações significativas na caracterização e no desempenho do material sob condições que exigem maior resistência ao desgaste e a ambientes corrosivos.

A Figura 6 apresenta os resultados do difratograma de raios-x realizado nos corpos de prova após a realização dos processos de nitretação e pós-oxidação a plasma. Nele percebe-se a presença de nitretos de ferro identificados nas fases $Fe_{2-3}N$ e $\gamma'-Fe_4N$, gerados no processo de nitretação, e a presença dos óxidos de ferro magnetita (Fe_3O_4) e hematita (Fe_2O_3), provindas do processo de pós-oxidação.

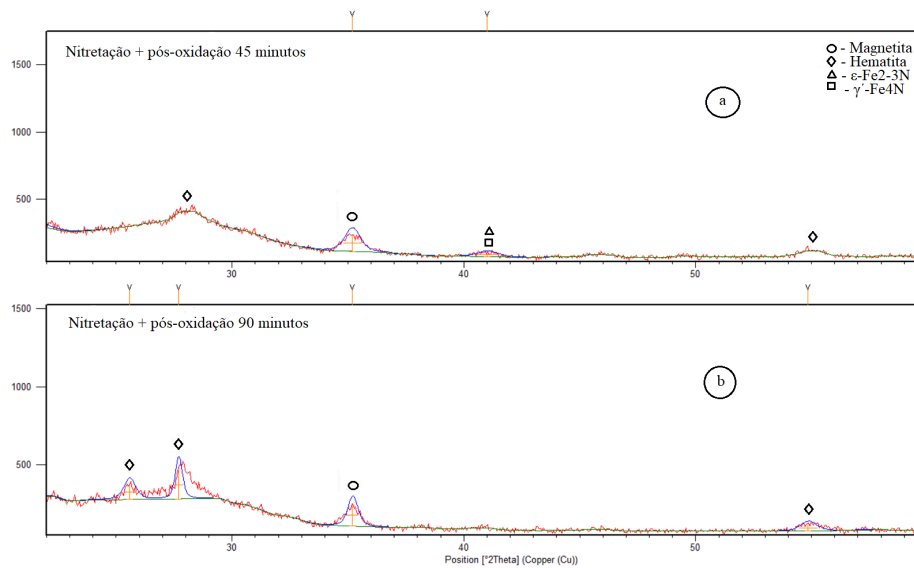


Figura 6 - Difratoograma de Raio-X do aço H13 nitretado e pós-oxidado a plasma.

Percebe-se pela Figura 6, que em decorrência do aumento do tempo do tratamento de pós-oxidação a plasma do aço H13, existe uma tendência de aumento da intensidade dos picos relacionados aos óxidos (hematita e magnetita). O contrário ocorre com a concentração da fase ϵ -Fe₂₋₃N, que decresce, fato o qual pode ser explicado pela oxidação dessa fase de nitretos, gerando assim, um aumento na intensidade dos óxidos.

Uma espessura maior de óxidos não garante uma melhor aplicabilidade no material, uma vez que essa faixa se torna menos compacta, de menor dureza e de maior porosidade, facilitando a formação de hematita, como observado na Figura 6b.

4. CONCLUSÃO

O processo de nitretação a plasma realizado no aço H13 sob uma matriz de martensita revenida proveniente dos processos de têmpera e revenimento, culminou na formação de uma camada nitretada composta por uma fina camada branca, a qual é formada por nitretos ϵ -Fe₂₋₃N e γ -Fe₄N e uma camada de difusão com profundidade de 340 μ m. Após a realização do tratamento de pós-oxidação, a camada pós-oxidada por 45 minutos e 90 minutos apresentaram uma profundidade de camada de 300 μ m.

Foi perceptível nos ensaios realizados, que com o aumento do tempo do processo de pós-oxidação a plasma houve uma queda na microdureza da superfície do aço H13, pelo fato da oxidação dos nitretos de ferro da camada nitretada.

Através do ensaio de DRX foi comprovada a presença e formação dos óxidos de magnetita e hematita, conforme objetivando.

A formação e a relação da oxidação da camada nitretada também foi perceptível no ensaio de DRX, onde ficou nítida diminuição do pico de intensidade referente aos nitretos de ferro sob tempos maiores no processo de pós-oxidação.

5. REFERÊNCIAS

ALVES JUNIOR, Clodomiro. Nitretação a plasma: fundamentos e aplicações. Natal: EDUFRN, 2001.

BIROL, Yucel. **Effect of post-oxidation treatment on thermal fatigue behaviour of plasma nitrided hot work tool steel at elevated temperatures**, 2010. Publicado em: Surface & Coatings Technology 205. Doi:10.1016/j.surfcoat.2010.10.044

BOGONI JUNIOR, Nério. **COMPORTAMENTO DO ATRITO POR INDENTAÇÃO EM NANOESCALA DO AÇO-CARBONO AISI 1045 NITRETADO E PÓS-OXIDADO COM DIFERENTES NANOCAMADAS DE MAGNETITA**. 2016. 65 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia de Materiais, Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, 2016.

CELESTINO, Pedro Alexandre Pinto; FELIPE, Renata Carla Tavares Santos; MACHADO, Tércio Graciano. **ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE O TRATAMENTO TÉRMICO (TÊMPERA) E O TRATAMENTO TERMOQUÍMICO (CEMENTAÇÃO) REALIZADO EM AÇO 1040**. Holos, [s.l.], v. 3, p.223-232, 5 jun. 2008. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN). <http://dx.doi.org/10.15628/holos.2007.147>.

ESFAHANI, A.; SOHI, M. H.; RASSIZADEHGHANI, J.; MAHBOUBI, F. **Effect of treating atmosphere in plasma post-oxidation of nitrocarburized AISI 5115 steel**. Vacuum 2008; 82: 346–351.

FERREIRA, Gustavo Emiliano Falcão. **AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA À FADIGA TÉRMICA DO AÇO AISI H13 NITRETADO PELOS PROCESSOS GASOSO E POR PLASMA**. 2001. 97 f. Dissertação (Doutorado) - Curso de Mestre em Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001.

FLOREZ, Mauro Andres Cerra. **SÍNTESE E CARACTERIZAÇÃO DE UM FILME DE ÓXIDO TIPO ESPINÉLIO OBTIDO DURANTE O TRATAMENTO DE ENVELHECIMENTO DO AÇO MARAGING 300 EM ATMOSFERA DE N₂/VAPOR**. 74º Congresso Anual da Abm, São Paulo, 01 out. 2019. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rmat/a/PNzPC3Jqh8GB5JHWJ3G3Qch/?format=pdf&lang=pt>

GAITAN, Gilberto Bejarano. Deposition and characterization of duplex treated coating system applied on hot work steel AISI H13. **Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales**, Caracas, v. 32, n. 2.

HONG, J. M.; et al. **Plasma post-oxidation process for nitrocarburized layer**. Elsevier - Surface and Coatings Technology, v. 131, p. 548-552, 2000.

LEITE, Mario Vitor. **DESGASTE E ATRITO DA CAMADA NITRETADA DO AÇO ABNT H13 NITRETADO POR PLASMA PULSADO**. Tecnol. Metal. Mater. Miner., São Paulo, v. 6, n. 2, p. 67-72, out.-dez. 2009. Doi: 10.4322/tmm.00602001.

MOHBOUBI, F.; FATTAH, M. **Duplex treatment of plasma nitriding and plasma oxidation of plain carbon steel**. Elsevier – Vacuum, v. 79, p. 1-6, 2005.

PRASS, André Ricardo; FONTANA, Luis Cesar; RECCO, Abel André Cândido. **Nitretação por plasma com revenimento simultâneo do aço ferramenta VF 800AT**. Matéria (Rio de Janeiro), [S.L.], v. 22, n. 2, jun. 2017. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1517-707620170002.0158>.

RANALLI, G. A.; PALLONE, A. S. N.; PEREIRA, V. F. ; OLIVEIRA, R. G. ; MARIANO, N. A. **Efeitos da nitretação por plasma com pós-oxidação e por banho de sal na resistência à corrosão de um aço ferramenta**, 2009. Publicado em: Revista Matéria, v. 14, n. 2, pp. 814 – 823, 2009.

REIS, Tiago Marcelo. **Avaliação tribológica do tratamento de nitretação a plasma com pós-oxidação aplicada em sistema de extração de moldes para injeção de termoplásticos**; orientador, Alexandre Luís Gasparin. - Caxias do Sul, RS, 2017.

ROVANI, Ane Cheila. **EFEITO DO HIDROGÊNIO E MECANISMOS NA PÓS – OXIDAÇÃO POR PLASMA PULSADO DE LIGAS FERROSAS NITRETADAS**. 2010. 84 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Materiais, Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, 2010.

SOUZA, E. J.; et al. **Estudo da formação do filme de óxido obtido durante o tratamento térmico de oxidação pós-nitretação do aço AISI**. Anais: VI CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA. Campina Grande, 2010.

TOTTEN, G.E., HOWES, M.A.H., *Steel Heat Treatment Handbook*, 1 ed., New York, Marcel Dekker Inc, 1997.

YASAVOL, N., MAHBOUBI, F. **The effect of duplex plasma nitriding-oxidizing treatment on the corrosion resistance of AISI 4130 steel**. Elsevier - Materials and Design, v. 38, p. 59-63, 2012