

Cementação de aço baixo carbono enriquecido superficialmente com molibdênio em plasma DC⁽¹⁾

Henrique Cezar Pavanati⁽²⁾; Daniel Xavier da Rosa Coelho⁽³⁾; Raffael do Nascimento Ferreira⁽⁴⁾

Resumo Expandido

⁽¹⁾ Trabalho executado com recursos do Edital Universal 12/2012/PRPPGI da Pró-Reitoria de Pesquisa, Pós-Graduação e Inovação

⁽²⁾ Professor – Instituto Federal de Santa Catarina Campus Florianópolis; Florianópolis – SC; pavanati@ifsc.edu.br

⁽³⁾ Estudante – Instituto Federal de Santa Catarina Campus Florianópolis; Florianópolis – SC; daniel@xpb.com.br

⁽⁴⁾ Estudante – Instituto Federal de Santa Catarina Campus Florianópolis; Florianópolis – SC; raffael367@gmail.com

RESUMO: A alteração das propriedades dos aços somente na superfície pode ser vantajoso em uma série de situações possibilitando a alteração de propriedades como dureza, resistência ao desgaste, à corrosão e à fadiga. Neste sentido, o tratamento de cementação é um dos mais utilizados. Sabe-se também que o uso de aços ligados podem influenciar marcadamente as propriedades obtidas após o processo de cementação. No entanto, o uso de aços ligados somente na região superficial ainda é um campo de estudo com grande oportunidade de desenvolvimento. O uso de aço carbono comum enriquecidos superficialmente com elementos de liga pode ser uma rota interessante para se produzir um projeto microestrutural adequado para uma série de aplicações. Neste contexto, foi utilizado amostras de aço carbono comum ABNT1020. Estas amostras foram submetidas a um tratamento de enriquecimento superficial de molibdênio realizadas em plasma DC. Posteriormente, estas amostras foram cementadas e temperadas. A análise microestrutural das amostras foi realizada utilizando-se microscopia óptica e a caracterização mecânica foi realizada através da obtenção de perfil de microdureza Vickers. Os resultados mostram que a presença de Mo como elemento de liga na superfície diminuem sensivelmente a profundidade cementada, principalmente para tempos curtos de cementação. Além disso, a região enriquecida com Mo apresentou uma dureza sensivelmente superior àquela obtida sem a presença deste elemento de liga. Acredita-se que estes resultados estejam relacionados a presença de carbonetos de Mo precipitados na região superficial aliado à microestrutura martensítica formada na camada enriquecida com Mo.

Palavra Chave: Tecnologia de Plasma DC, Enriquecimento superficial de Mo, Cementação.

INTRODUÇÃO

Os tratamentos superficiais dos aços são já bastante conhecidos pela comunidade científica e pela indústria. A grande vantagem destes tratamentos referem-se à flexibilização de propriedades importantes para o desempenho de uma peça de aço como sua resistência ao desgaste, corrosão, fadiga entre outros. Modificar somente a superfície do aço tem suas vantagens, pois pode-se efetuar tal modificação a uma espessura mínima, ou seja, pequena o suficiente para alterar as já citadas características intrínsecas às solicitações que ocorrem somente na superfície, sem alterar significativamente o comportamento mecânico relacionado ao volume, como tenacidade, resistência à tração, flexão, entre outros. Apesar de já serem bem consolidados os tratamentos superficiais ainda existe um vasto campo para estudo e desenvolvimento desta técnica uma vez que há inúmeras possibilidades de modificação superficial dos aços. Nesse contexto, pode-se citar

como um importante área de estudo, os tratamentos superficiais por plasma [1,2].

Esta tecnologia permite um melhor controle da microestrutura obtida na superfície além de possibilitar processos que não são viáveis pelos métodos tradicionais. Há algumas décadas, a tecnologia de Plasma com baixo grau de ionização, também conhecido como plasmas frios em corrente contínua (ou Plasma DC) passaram a ser utilizadas para entre outras aplicações, realizar tratamentos superficiais nos aços, como nitretação, cementação e limpeza por plasma [3-5]. Na última década, o uso desta tecnologia foi também estendida à sinterização [6-8] e ao tratamento de enriquecimento superficial com elementos metálicos [8-10]. Esta tecnologia permite depositar elemento(s) químico(s) na superfície de uma peça. Como a peça se encontra em elevada temperatura durante a deposição, os átomos depositados se difundem para o seu interior produzindo uma liga até uma profundidade específica da peça (na ordem de dezenas de micrometros).

No entanto, o estudo do efeito da combinação de diversos tipos de enriquecimentos no aço, como enriquecimento de átomos metálicos e enriquecimento com carbono feitos em ciclo único ou em etapas separadas não é ainda bem conhecido. Os desdobramentos destes estudos podem levar à otimização de propriedades superficiais dos aços, oportunizando a obtenção de componentes com alto desempenho e alto valor agregado.

METODOLOGIA

As amostras foram obtidas a partir de uma barra redonda de aço ABNT1020 com 1" de diâmetro. Cada amostra possui aproximadamente 15 mm de altura. As amostras foram lixadas até lixa 600 e as superfícies planas (topo e base) foram polidas com alumina 1 μm .

A seguir, um grupo de amostras foi submetido ao tratamento de enriquecimento superficial com Mo. Este tratamento foi realizado em reator de plasma DC com características similares aos indicados no trabalho de Pavanati et. al. [9]. As condições utilizadas para o enriquecimento superficial com Mo das amostras são mostrados na Tabela 1.

Tabela 1 – Parâmetros de controle do ciclo de enriquecimento superficial de Mo por plasma DC

Configuração dos eletrodos	Amostra sobre o anodo e descarga sobre o catodo
Material do cátodo	Liga TZM (99,5% Mo)
Tensão de pico	700 V
Pressão da câmara	2,0 torr
Atmosfera	80%Ar / 20% H ₂
Temperatura de patamar	1150 °C
Tempo de patamar	60 minutos

As amostras com e sem enriquecimento de Mo foram submetidas ao tratamento termoquímico de cementação em caixa num forno de mufla a uma temperatura de 960°C para tempos de patamar de: 1, 2, 3, 4 e 6 horas. As amostras foram inseridas numa caixa metálica contendo granulados de cementação enriquecidos com carbonato de bário. As amostras foram normalizadas num ciclo duplo, e na sequência, parte destas amostras cementadas (com e sem enriquecimento) foram temperadas em água. As amostras, nas diversas condições de tratamento, foram seccionadas e preparadas metalograficamente para a análise. A microestrutura é revelada através de ataque químico com o reagente Nital 2%. As micrografias foram obtidas com o auxílio de um microscópio óptico Leica DM4000 para aumentos de 50x e 500x.

A profundidade cementada foi obtida através de análise de imagens das amostras somente cementadas (com e sem enriquecimento de Mo) utilizando-se o software para análise de imagens (domínio público) ImageJ 1.41o.

Os perfis de microdureza foram obtidos com o auxílio de um microdurômetro Leco AMH43.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Parte das amostras de aço ABNT1020 foram enriquecidas com Mo. A Figura 1 mostra uma micrografia da seção transversal de uma amostra enriquecida com Mo. Esta camada enriquecida é de uma liga contendo aproximadamente 3% de Mo em peso a uma profundidade de aproximadamente 20 μm . O perfil de concentração de Mo é similar ao obtido em [9].

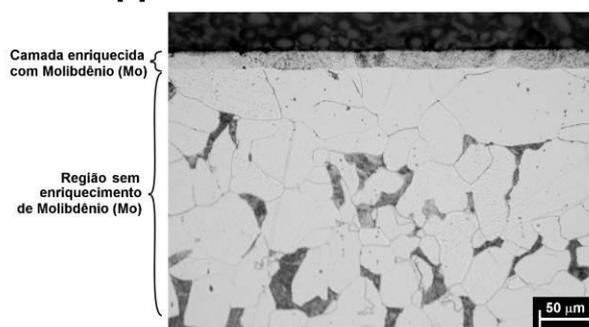


Figura 1 – Seção transversal do aço ABNT 1020 enriquecido com Mo na região superficial

Observa-se já neste caso, que a presença de molibdênio difundido a partir da deposição via plasma provocou uma difusão do carbono em direção à superfície. Nota-se que na camada há a presença de precipitados e logo abaixo dela uma região descarbonetada, evidenciando a afinidade do Mo com o C.

A Figura 2 mostra a evolução da profundidade cementada com o tempo de cementação para os aços com e sem enriquecimento superficial de Mo.

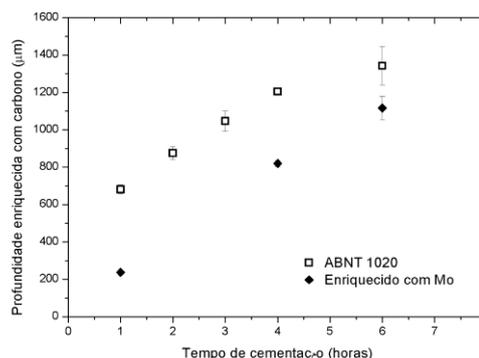


Figura 2 – Profundidade cementada em função do tempo de cementação para os aços ABNT1020 e ABNT1020 enriquecido superficialmente com Mo

Pode-se notar que a camada cementada aumenta com o tempo. A taxa de crescimento da camada parece ser similar para os dois casos. Porém para o caso onde tem-se a camada enriquecida com Mo, parece haver um atraso no início da formação da camada. Este efeito pode ser atribuído à formação de carbonetos de Mo na região enriquecida nos primeiros momentos da cementação. Após a saturação (formação de

CONCLUSÕES

Pode-se observar que a presença de uma camada enriquecida com Mo reduziu sensivelmente a profundidade cementada. Esta redução pode ser atribuída à formação de carbonetos de molibdênio (supostamente Mo_2C) durante o processo de cementação. Após um tempo de saturação, a difusão de carbono para o interior da amostra ocorre seguindo uma taxa similar àquela observada para o aço sem enriquecimento de Mo. Outra evidência para a formação destes precipitados é a dureza obtida na camada enriquecida aproximadamente 800 HV, para a amostra temperada uma vez que para o aço ABNT1020 sem enriquecimento foi obtido aproximadamente 700 HV na região superficial.

carbonetos de Mo) a camada cementada cresce com taxas similares àquela observada para o aço sem enriquecimento superficial.

As figuras 3 e 4 mostram micrografias da seção transversal dos aços somente cementado e dos aços cementados e temperados em água, além do perfil de microdureza para os dois casos.

Como era de se esperar, a região cementada formou uma microestrutura totalmente martensítica após a têmpera (tanto para a figura 3 quanto para a figura 4), enquanto que além da camada cementada houve formação de uma mistura de microestruturas (ferrita e martensita).

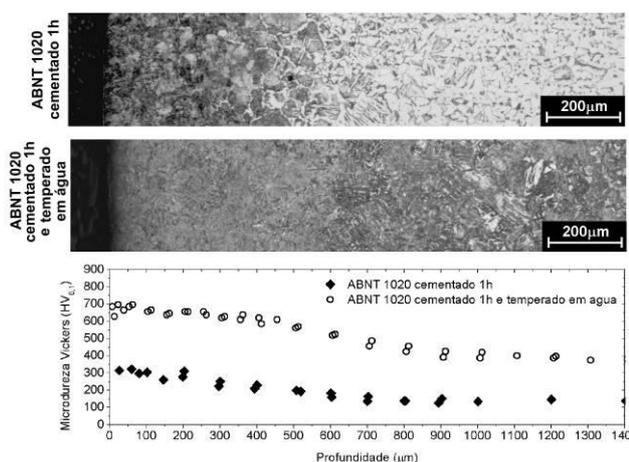


Figura 4 – Micrografias do ABNT1020 cementado por 1h com e sem tratamento de têmpera e respectivo perfil de microdureza

Na amostra enriquecida como a profundidade cementada foi menor, percebe-se que a região endurecida (com dureza acima de 600 HV) foi também menor. No entanto, pode-se perceber que na região com enriquecimento de Mo a dureza é significamente maior, indicando que existe a presença de carbonetos duros juntamente com a estrutura martensítica.

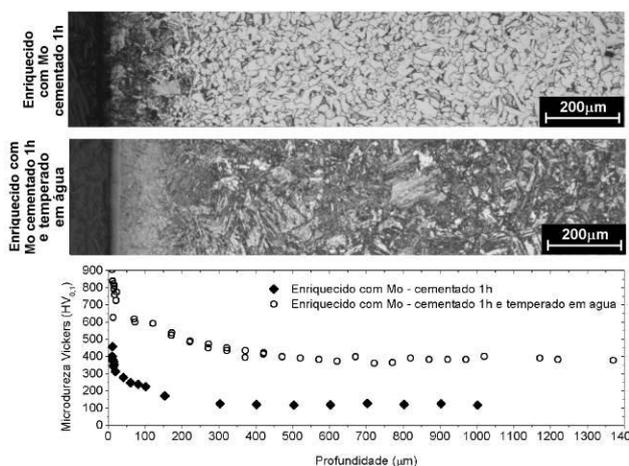


Figura 4 – Micrografias do aço enriquecido com Mo cementado por 1h com e sem tratamento de têmpera e respectivo perfil de microdureza

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Pró-Reitoria de Pesquisa, Pós-Graduação e Inovação (PRPPGI) do IF-SC pelo incentivo financeiro para o desenvolvimento das atividades de pesquisa.

REFERÊNCIAS

- [1] BOGAERTS, A.; NEYTS, E.; GIJBETLS, R.; VAN DER MULLEN, J. Gas Discharge Plasmas and their Applications, *Spectrochimica Acta Part B*, v. 57, p. 609-658, 2002.
- [2] HOLLAND, L. Some Characteristics and Uses of Low Pressure Plasma in Materials Science, *Journal of Vacuum Science Technology*, v. 14, n. 1 p. 5-15, 1977.
- [3] BERNARDELLI, E. A. ; BELMONTE, T. ; DUDAY, D. ; FRACHE, G. ; PONCIN-EPAILLARD, F. ; NOEL, C. ; CHOQUET, P. ; MIGEON, H.-N. . Interaction Mechanisms Between Ar O₂ Post-Discharge and Stearic Acid II: Behaviour of Thick Films. *Plasma Chemistry and Plasma Processing*, v. 31, p. 205-215, 2011.
- [4] SHROEDER, R.; HAMMES, G.; BINDER, C.; KLEIN, A.N. Plasma debinding and sintering of metal injection moulded 17-4PH stainless steel. *Materials Research*, v. 14, p. 564-568, 2011
- [5] SANTOS, M.A.; SILVA, H.R.T., MALISKA, A.M., KLEIN, A.N., MUZART, J.L.R. Oil Removal and Nitriding of Sintered Parts Using a DC Discharge, *Surface and Coatings Technology*, v. 195, p. 198-203, 2005.
- [6] BATISTA, V.J.; BINDER, R.B.; KLEIN, A.N.; MUZART, J.L.R. Sintering Using an Abnormal Glow Discharge, *The international Journal of Powder Metallurgy*, Princeton, NJ, v. 34, n. 8, p. 55-62, 1998.
- [7] MALISKA, A.M.; PAVANATI, H.C.; KLEIN, A.N.; MUZART, J.L.R. The influence of ion energy bombardment on the surface porosity of plasma sintered iron, *Materials Science and Engineering A*, v. 352, p. 273-278, 2003.
- [8] PAVANATI, H.C.; MALISKA, A.M.; KLEIN, A.N.; MUZART, J.L R. Sintering unalloyed iron in abnormal glow discharge with superficial chromium enrichment, *Materials Science and Engineering A*, v. 392, p. 313-319, 2005.
- [9] PAVANATI, H.C.; LOURENÇO, J.M., MALISKA, A.M.; KLEIN, A.N.; MUZART, J.L R. Ferrite stabilization induced by molybdenum enrichment in the surface of unalloyed iron sintered in an abnormal glow discharge, *Applied Surface Science*, v. 253, p. 9105-9111, 2007.
- [10] KLEIN, A.N. et al. DC Plasma Technology Applied to Powder Metallurgy: an Overview, *Plasma Science & Technology*, v15, p.70-81, 2013.