

APLICAÇÃO DA TÉCNICA DE RADIONUCLÍDEOS EM MEDIDAS DE DESGASTE NO AÇO INOXIDÁVEL AISI 316.

Luiz Carlos do Amaral Sumiya, Valdir Sciani e Sumair G. Araujo.

IPEN-CNEN/SP
Caixa Postal 11049
05508-900, São Paulo, SP, Brasil

RESUMO

Nos últimos anos tem-se notado um grande desenvolvimento na área de tratamento de superfícies com o objetivo de reduzir os fenômenos de desgaste nos componentes de máquinas, motores, ferramentas, etc. Neste trabalho, folhas de aço inoxidável AISI 316, com espessura de 12,5µm, que simulam cortes sucessivos e iguais em um bloco maciço, foram submetidas a irradiação com prótons de 9 MeV no ciclotron CV-28. A atividade induzida em cada folha foi medida em um detetor de Ge(Li), sendo avaliada a variação da atividade em função da profundidade irradiada. A ativação com prótons, denominada ativação superficial, apenas uma camada muito fina é ativada, apresenta vantagens e desvantagens em relação a ativação com nêutrons. Na ativação das folhas de aço inoxidável, os picos referentes ao ^{52}Mn , ^{56}Co , ^{57}Co e o ^{58}Co foram claramente distinguidos no espectro, sendo usados para estabelecer uma curva de calibração na análise do desgaste.

INTRODUÇÃO

Nas últimas quatro décadas, métodos convencionais e nucleares vem sendo utilizados na avaliação do grau de desgaste em diversos tipos de componentes de máquinas.

O desgaste pode ser definido como um dano superficial, que ocorre toda vez que dois componentes de uma máquina entram em contato físico, e é um fator problemático na indústria, pois exerce uma influência negativa na confiabilidade e durabilidade das máquinas.

As estimativas feitas a esse respeito relatam que tal fator afeta em torno de 20% da produção anual de uma máquina e o custo direto do desgaste varia de 1 a 4% do produto interno bruto do país[1,2]. Por essas razões os países tem investido no desenvolvimento de tecnologias que quantifiquem com exatidão tal fenômeno, conhecido como fenômeno tribológico (ciência que estuda a fricção).

São conhecidos muitos métodos para determinar sua influência, sejam eles mecânicos, químicos e nucleares.

Os métodos mecânicos convencionais, tais como, a micrometria e outros, são pouco sensíveis e trabalhosos, pois há necessidade de desmontar a máquina toda vez que se efetua medidas de desgaste.

Os métodos químicos, espectrais e outros tipos de análise de determinação dos produtos de desgaste no lubrificante são sensíveis, porém são muito trabalhosos e necessitam de equipamentos especiais para realizá-los. Além disso, não fornecem informações a respeito do local onde está ocorrendo maior desgaste.

Os métodos nucleares conhecidos até o momento, são muito eficientes e fornecem resultados confiáveis. Entre eles pode-se citar a radiografia de raio-X, a radiografia com nêutrons e o uso de radionuclídeos.

Os radionuclídeos podem ser produzidos em reatores irradiando-se com nêutrons[3], ou em aceleradores de partículas (ciclotron) irradiando-se com íons energéticos (prótons, dêuterons, etc.).

Entre os métodos que usam radionuclídeos[4], os mais utilizados são :

- Método de inserção de marcador radioativo
- Método de marcador radioativo fundido
- Método de deposição eletrolítica
- Método de deposição de gás radioativo
- Método de revestimento com Zinco radioativo
- Método baseado nas reações nucleares

Esses métodos consistem na introdução de um radionuclídeo no componente a ser estudado e o uso de um método específico de medida espectrométrica.

Dentre os acima citados, o interesse está concentrado no método baseado nas reações nucleares, mais precisamente o TLA (Thin Layer Activation) ou ativação superficial.

A ativação com nêutrons apresenta o inconveniente de ativar toda a peça, produzindo altos níveis de radiação. Por isso, entre 1950 e 1970 tais determinações só podiam ser realizadas em laboratórios e sob condições de trabalho especiais de radioproteção.

Nos últimos vinte e cinco anos tem-se utilizado a técnica de TLA[5], porque é um método rápido, sensível e possibilita a determinação de desgaste em condições reais de operação, sem a necessidade de parar ou desmontar o equipamento.

Neste método, o nível de radiação produzido é pequeno e atende aos padrões de saúde física. Isso ocorre porque é possível ativar apenas a região de interesse, ou seja, a área exposta a um grau de desgaste maior.

Para ativar tal superfície, irradia-se com um feixe de partículas carregadas aceleradas, que podem ser produzidas em um ciclotron.

Com o radionuclídeo produzido obtém-se dados a respeito do nível de radioatividade presente na peça por meio de espectrometria gama. O acompanhamento é feito por um período de tempo curto e posteriormente os resultados são transformados em dados de desgaste.

Esse método de ativação superficial tem sensibilidade da ordem de 10^{-2} ppm e pode determinar taxas de destruição de superfície que variam de $1,0 \times 10^{-4}$ mm a 1,0 mm por ano[6].

Entretanto, sua aplicabilidade é limitada para os casos onde o radionuclídeo presente é totalmente removido da superfície de interesse.

A aplicação desses métodos deram origem a alguns problemas relativos à complexidade da mistura de isótopos formados durante a irradiação e também ao caráter complexo da distribuição da atividade ao longo da profundidade do material.

Mesmo assim, o método apresenta vantagens em comparação aos outros, principalmente em relação ao período de tempo, que é pequeno, para obtenção de resultados.

Por essa razão, o TLA tem sido utilizado em indústrias e pesquisadores de diversos países têm se dedicado a desenvolver ainda mais essa tecnologia, que provou ser uma ferramenta eficaz na avaliação de fenômenos de desgaste e corrosão[7,8,9].

PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Neste trabalho foi utilizado como material de avaliação o aço inoxidável AISI 316, em folhas de 13x13 mm e com espessura de 12,5µm cada uma.

A composição química do aço inoxidável 316[10] pode ser vista na TABELA 1.

As folhas foram irradiadas com prótons de energia de 9 MeV no Ciclotron CV-28 do IPEN-CNEN/SP.

Como o objetivo é a simulação de um bloco de aço inox, utilizou-se 20 folhas desse material, totalizando uma espessura de 250µm.

Esse valor de energia é suficientemente alto para penetrar a uma profundidade de aproximadamente 200µm até ser totalmente freada. O alcance dos prótons foram calculados segundo Williamson et al.[11].

Como o Ciclotron CV-28 produz feixe de prótons de 24 MeV, foi necessário utilizar uma janela de Alumínio de espessura de 2,0mm para degradar a energia incidente até 9 MeV.

TABELA 1. Composição química do aço inox AISI 316.

Elemento	Teor (%)
Cr	18
Mn	<2
Ni	8
Mo	3
C	0,1
Fe	balanço

Após a irradiação as folhas foram deixadas decaindo por um período de aproximadamente sete dias, para que pudessem ser medidas, uma a uma, em um analisador multicanal com detector de Ge(Li).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A utilização da técnica de empilhamento de folhas no lugar de um bloco permitiu a simulação de cortes sucessivos e iguais em uma peça.

As reações possíveis de ocorrer com prótons de 24 MeV no aço inoxidável AISI 316, usando como referência a composição química do material, são descritas na TABELA 2.

Embora a quantidade de reações seja grande, a composição isotópica dos elementos, aliada a faixa de energia da partícula utilizada e a meia vida do radionuclídeo produzido, elimina a maioria delas, restando as convenientes que servem como parâmetro de análise. Por exemplo, algumas destas reações acontecem acima de 9 MeV, como as reações de nº 01 a 04, 10 a 13, 20, e de 24 a 27. Outras possuem rendimento desprezível e outros radionuclídeos decaem em função do tempo de espera entre o final da irradiação e o início das medidas, como os radionuclídeos das reações nº 16, 19 e 21.

Levando-se em consideração todos esses fatores, foram seguidos os picos referentes ao ^{52}Mn , ^{56}Co , ^{57}Co , e ao ^{58}Co em função de suas meias vidas e das atividades produzidas.

Após a análise de todas as folhas, foi possível construir uma curva de atividade, (%), em função da espessura do material, (µm), a qual pode ser usada como uma curva de calibração para o aço inoxidável 316, como é visto na Fig. 1.

Essa curva mostra o perfil de como a atividade vai diminuindo conforme a espessura, numa situação real, uma determinada redução da atividade total corresponde a uma dada perda de espessura do material.

A curva demonstra um perfil bem regular e mostra uma boa coerência na relação atividade/espessura, sendo que a atividade de todas as amostras foram corrigidas para atividade ao final da irradiação.

Qualquer uma das quatro curvas que aparece no gráfico serve para acompanhar a redução da atividade ao longo da espessura do material, portanto serve como caracterização em medidas de desgaste.

TABELA 2. Reações Nucleares com Prótons de 24 MeV no Aço Inoxidável AISI 316[12].

	Reação	Faixa de Energia (MeV)	Meia Vida (T1/2)
01	$^{56}\text{Fe} (p,\alpha n) \rightarrow ^{52}\text{Mn}$	24 - 20	5,67 dias
02	$^{56}\text{Fe} (p, 2pn) \rightarrow ^{54}\text{Mn}$	24 - 18	312,3 dias
03	$^{56}\text{Fe} (p,pn) \rightarrow ^{55}\text{Fe}$	24 - 10	2,72 anos
04	$^{56}\text{Fe} (p,2n) \rightarrow ^{55}\text{Co}$	24 - 16	17,54 horas
05	$^{56}\text{Fe} (p,n) \rightarrow ^{56}\text{Co}$	24 - 08	78,76 dias
06	$^{57}\text{Fe} (p,n) \rightarrow ^{57}\text{Co}$	24 - 04	270,9 dias
07	$^{58}\text{Fe} (p,pn) \rightarrow ^{58}\text{Co}$	24 - 08	70,78 dias
08	$^{58}\text{Ni} (p,\alpha+p3n) \rightarrow ^{55}\text{Co}$	24 - 08	17,54 horas
09	$^{58}\text{Ni} (p,2p) \rightarrow ^{57}\text{Co}$	24 - 07	270,9 dias
10	$^{58}\text{Ni} (p,2p+pn) \rightarrow ^{57}\text{Co}$	24 - 14	270,9 dias
11	$^{58}\text{Ni} (p,p2n) \rightarrow ^{56}\text{Ni}$	24 - 20	6,10 dias
12	$^{58}\text{Ni} (p,pn+2n) \rightarrow ^{57}\text{Ni}$	24 - 14	36,16 horas
13	$^{60}\text{Ni} (p,\alpha n) \rightarrow ^{56}\text{Co}$	24 - 20	78,76 dias
14	$^{60}\text{Ni} (p,\alpha) \rightarrow ^{57}\text{Co}$	24 - 07	270,9 dias
15	$^{60}\text{Ni} (p,2pn) \rightarrow ^{58}\text{Co}$	24 - 08	70,78 dias
16	$^{60}\text{Ni} (p,n) \rightarrow ^{60}\text{Cu}$	24 - 08	23,2 min.
17	$^{61}\text{Ni} (p, \alpha) \rightarrow ^{58}\text{Co}$	22 - 06	70,78 dias
18	$^{62}\text{Ni} (p,2n) \rightarrow ^{61}\text{Cu}$	24 - 04	3,41 horas
19	$^{62}\text{Ni} (p,n) \rightarrow ^{62}\text{Cu}$	24 - 06	9,74 min.
20	$^{64}\text{Ni} (p, \alpha n) \rightarrow ^{60}\text{Co}$	24 - 12	5,27 anos
21	$^{64}\text{Ni} (p,n) \rightarrow ^{64}\text{Cu}$	24 - 06	12,71 horas
22	$^{52}\text{Cr} (p,n) \rightarrow ^{52}\text{Mn}$	24 - 07	5,67 dias
23	$^{54}\text{Cr} (p,n) \rightarrow ^{54}\text{Mn}$	24 - 05	312,3 dias
24	$^{55}\text{Mn} (p,pn) \rightarrow ^{54}\text{Mn}$	24 - 10	312,3 dias
25	$^{96}\text{Mo} (p,2n) \rightarrow ^{95m}\text{Tc}$	24 - 12	61 dias
26	$^{97}\text{Mo} (p,2n) \rightarrow ^{96}\text{Tc}$	24 - 11	4,28 dias
27	$^{98}\text{Mo} (p,2n) \rightarrow ^{97m}\text{Tc}$	24 - 10	87 dias

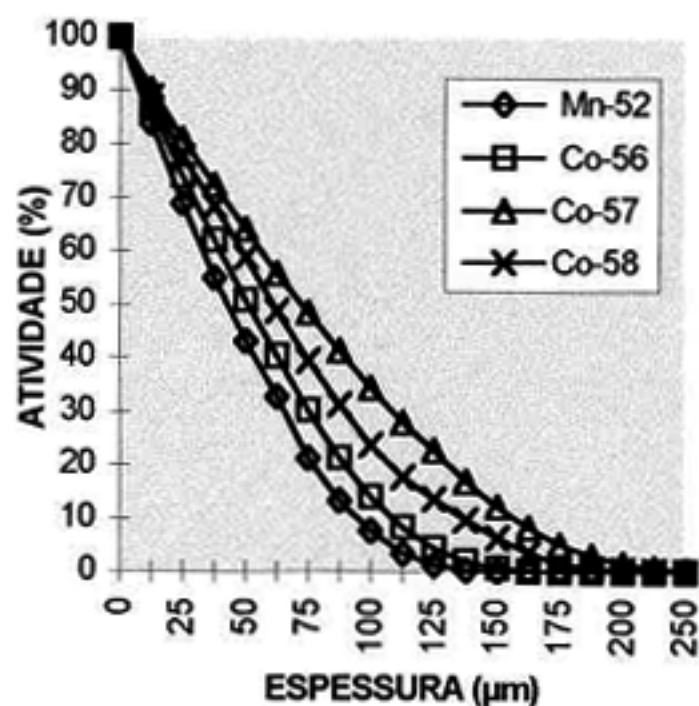


Figura 1. Curva de Calibração do Aço Inoxidável AISI 316.

CONCLUSÃO

Das curvas obtidas pela técnica de empilhamento de folhas de aço inox 316, que servem de curvas de calibração do tipo atividade em função da profundidade irradiada, demonstra-se que podem ser feitas avaliações do fenômeno de desgaste em um bloco do mesmo material.

Os resultados também mostram que as reações podem ser controladas por meio da seleção da faixa de energia da partícula incidente no material alvo, de modo a ter-se somente os radionuclídeos mais convenientes para o diagnóstico do desgaste.

Os picos referentes ao ^{52}Mn , ^{56}Co , ^{57}Co e ^{58}Co foram claramente distinguidos no espectro, com destaque em particular para o pico do ^{56}Co , que tem um perfil excelente para pequenas espessuras.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Moore, M. A., **Fundamentals of Friction and Wear of Materials**, American Society for Metals, p. 73-118, 1972.
- [2] Dowson, D., **The Early History of Tribology**, Eurotrib., p. 1-14, 1973.
- [3] Sailer, S., **Radionuclide Technology Applications in Development and Production in the Automobile Industry**, Industrial Applications of Radioisotopes and Radiation Technology, Conference in Grenoble, 28 September-02 October, 1981.
- [4] Racolta, P. M., **Nuclear Methods for Tribology**, Applied Radiation Isotopes, v. 46, n. 6/7, p. 663-672, 1995.
- [5] Conlon, T. W., **Doping Surfaces with Radioactive Atoms for Research and Industry**, Contemporaneous Physical, v. 23, n. 4, p. 353-369, 1982.
- [6] Konstantinovi, I. O. and Zatolokin, B. V., **Monitoring Wear and Corrosion in Industrial Machines and Systems :A Radiation Tool**, IAEA Bulletin, 1/1994.
- [7] Conlon, T. W., **Thin Layer Activation Techniques in Research and Industry**, INIS - MF - 13441.
- [8] Jeanneau, B., **Thin Layer Activation with Charged Particles : Applications and Remarks**, INIS - MF - 13441.
- [9] Fehsenfeld, P., Kleinrahm, A. and Schwieckert, H., **Radionuclide Technique in Mechanical Engineering in Germany**, INIS - MF - 13441.
- [10] Guy, A. G., **Ciência dos Materiais**, Editora EDUSP, 1980.

[11] Willianson, C. F., Boujot, J. P. and Picard, J., **Tables of Range and Stopping Power of Chemical Elements for Charged Particles of Energy 0,5 to 500 MeV**, Rapport - CEA - R 3042, 1966.

[12] Dmitriev, P. P., **Radionuclide Yield in Reactions with Protons, Deuterons, Alpha Particles and Helium-3**, Handbook, December - 1986.

ABSTRACT

In the last years, a wide development in the area of surfaces treatment was observed in order to reduce the wear phenomena in machine components, motors, tools, etc. In this work, sheets of stainless steel AISI 316 with thickness of 12,5 μ m, which simulates succesives and equal cuts in a block, were irradiated with 9 MeV protons at the CV-28 cyclotron. The induced activity in each foil was measured with a Ge(Li) detector, and the variation of this activity, as function of irradiated depth, was followed. In this activation with protons nominated thin layer activation has some advantages and disavantages when compared to neutron activation. In the case the activation of foils of stainless steel 316 the peaks related to ^{52}Mn , ^{56}Co , ^{57}Co and ^{58}Co were clearly discriminated in the spectrum and this fact is used to stablish a calibration curve for wear measurements.