

O EMPRÊGO DE TRAÇADORES RADIOATIVOS NAS INDÚSTRIAS METALÚRGICA E MECÂNICA ⁽¹⁾

HAROLDO LISBOA TAVARES ⁽²⁾

RESUMO

O trabalho visa apresentar sumariamente alguns princípios utilizados nas aplicações dos traçadores radioativos nas indústrias mecânica e metalúrgica. Seria difícil apresentar todos os usos e técnicas que o emprêgo de radioisótopos possibilita em praticamente todos os campos da atividade técnica ou científica. Entretanto, o Autor cumpre a finalidade que se propôs, ao motivar o interesse dos metalurgistas para esse uso da energia nuclear e para suas possibilidades presentes no Brasil. No decurso do trabalho, o Autor faz referência a alguns problemas com que se tem deparado a Secção de Aplicações de Radioisótopos do Instituto de Pesquisas Radioativas (IPR) da Escola de Engenharia da UMG.

1. GENERALIDADES

Os isótopos radioativos, ou radioisótopos, são formas instáveis dos elementos, as quais, tendendo à estabilidade, emitem partículas ou radiações. Cada isótopo possui uma *meia-vida* que é o tempo necessário para que uma dada quantidade de radioisótopo decaia à metade de sua quantidade inicial. As meias-vidas de mais de 1.200 radioelementos conhecidos variam de frações de segundo a milhões de anos.

As radiações ou partículas emitidas de interesse para as aplicações na tecnologia são:

- a) *partículas alfa* — núcleos de hélio emitidos pelos núcleos a altas velocidades. São partículas pouco penetrantes e de uso limitado a alguns fins particulares. Possuem carga elétrica +2 e massa de 4 unidades de massa atômica;

(1) Contribuição Técnica nº 513. Apresentada ao XVIII Congresso da ABM; Belo Horizonte, MG, julho de 1963.

(2) Membro da ABM; Engenheiro do Instituto de Pesquisas Radioativas da Escola de Engenharia da UMG; Belo Horizonte, MG.

- b) *partículas beta* — elétrons altamente energéticos emitidos pelo núcleo. São mais penetrantes que a radiação alfa. Carga elétrica: -1 ; massa: desprezível;
- c) *raios gama* — radiações eletromagnéticas, quanta de energia da mesma natureza que a luz ou os raios X. São altamente penetrantes e não possuem carga ou massa elétrica;
- d) *neutrons* — constituintes do núcleo dos elementos. Bastante penetrantes, possuem carga elétrica neutra e massa atômica $+1$;
- e) *raios X* — os átomos radioativos podem emitir também radiação eletromagnética de menor energia que a gama, dentro do espectro de radiação X, que são características do isótopo do elemento em questão.

Será útil lembrarmos que a quantidade de material radioativo é medida em *curies* e seus múltiplos (1 curie = $= 3,7 \times 10^{10}$ desintegração/segundo).

A energia da radiação emitida tem como unidade a energia que um elétron adquire quando submetido a uma diferença de potencial de 1 volt e leva o nome de elétron-volt, ou *ev*. O múltiplo usual dessa unidade na energia nuclear é o milhão de elétron-volts, ou *Mev*:

$$1 \text{ Mev} = 1,6 \times 10^{-6} \text{ erg} = 4,4 \times 10^{-20} \text{ kWh}$$

Existem na natureza diversos isótopos radioativos, como o urânio, tório, rádio, potássio, etc. Entretanto, como a radioatividade é decorrente da instabilidade de uma espécie atômica, podemos induzir essa instabilidade submetendo núcleos estáveis ao bombardeio de partículas que penetrem na sua estrutura, desequilibrando as relações de energia existentes. Tais partículas bombardeadoras podem ser obtidas em aceleradores ou em reatores nucleares. De acordo com o tipo de partícula bombardeadora, haverá a formação de tipos diferentes de isótopos radioativos.

O radioisótopo formado, após emitir a sua radiação característica, tende portanto a atingir uma forma estável, não radioativa.

Para situar as idéias, vamos exemplificar com o elemento fósforo. Na natureza, o fósforo é constituído por um único isótopo estável, o P-31. Se expusermos uma certa quantidade de fósforo ao bombardeio de neutrons lentos existentes num reator nuclear, haverá a formação de um isótopo radioativo, o P-32, que emite apenas partículas beta, com a energia máxima de 1,7 *Mev*. Admitindo-se a formação de 1 curie de P-32, sendo 14,3 dias a meia-vida desse radioelemento, ao fim desse período, teremos apenas 0,5 curie de P-32. Os núcleos que emitiram a radiação beta terão se transmutado em Enxôfre-32.

2. PROPRIEDADES DAS RADIAÇÕES

As aplicações industriais dos radioisótopos surgem principalmente das seguintes características:

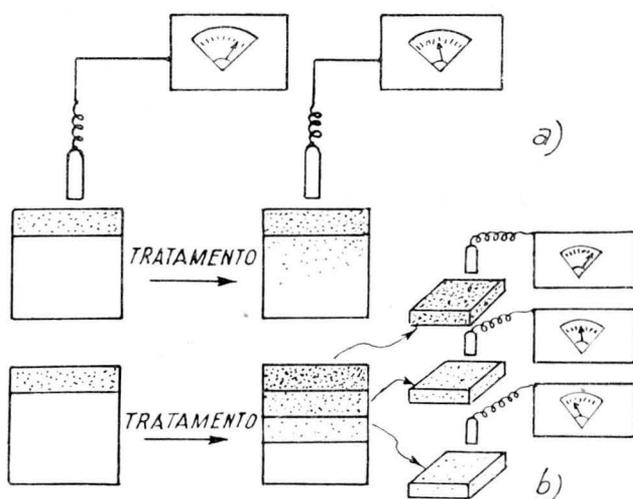
- a) Os átomos radioativos possuem comportamento físico e químico *idêntico ao dos seus isótopos inativos*, e emitindo radiações identificadoras permitem alta sensibilidade de detecção. Sob condições favoráveis, quantidades da ordem de 10^{-18} g podem ser observadas. Assim, os radioisótopos podem ser usados como identificadores ou *traçadores*, para acompanhar o destino de materiais ao longo de estágios sucessivos de qualquer processo.
- b) As radiações são emitidas constante e coerentemente pelos núcleos, quaisquer que sejam as condições do meio. Assim, os fenômenos *independem de pressões, temperaturas ou forma química*.
- c) *As radiações são penetrantes*, podendo haver portanto indicação de presença de elementos radioativos através de paredes de vasos e recipientes.
- d) A *intensidade* da radiação emitida *diminui* com a quantidade do material por ela atravessada. Tal princípio permite a utilização das radiações dos isótopos, na medida da espessura ou densidade de produtos.
- e) A radiação pode ser utilizada para *ionizar* líquidos ou gases, e para *excitar a fosforescência de materiais*. Esta propriedade é a que permite, na maior parte dos casos, a *detecção* das partículas emitidas, pela transformação dos mecanismos de ionização ou fosforescência, em sinais elétricos; ou pela fixação em emulsões fotográficas dos efeitos químicos da ionização provocada. Quando os traçadores radioativos imprimem sua própria posição em placas fotográficas, temos a *auto-radiografia*.
- f) As radiações emitidas, e a meia-vida, são características de cada rádio-elemento, servindo assim para identificá-lo. *Cada rádio-elemento emite um espectro de energia que lhe é próprio*. Isto permite a *análise por ativação*.
- g) As radiações, pelo seu *efeito ionizante*, podem determinar *modificações na matéria* sobre a qual incidem. Na tecnologia, para que tal efeito seja apreciável, há necessidade de grandes doses de radiação. Esse caso inclui a irradiação de alimentos para fins de preservação, a esterilização de produtos médicos e farmacêuticos, e a obtenção de novos produtos por sínteses químicas induzidas pelas radiações.
- h) As partículas emitidas podem ser usadas com o fim de produzir fontes de eletricidade, quer pelo acúmulo direto da carga elétrica de que são portadoras (p. ex. elétrons), quer como fontes de calor de pares termo-elétricas. As baterias atômicas, embora de pequena potência específica, são duráveis, robustas e confiáveis.

Para usos nas indústrias mecânica e metalúrgica, as características g e h não serão consideradas.

3. TRAÇADORES

O uso de radioelementos como traçadores, ou seja, quando são utilizados como identificadores de processos pela revelação de sua presença, vem trazendo contribuições das mais significativas à tecnologia, pela possibilidade de resolverem-se problemas de extrema complexidade.

Difusão e autodifusão — Um exemplo típico do uso de traçadores é a autodifusão. Constituiu uma das primeiras contribuições dos radioisótopos em problemas científicos e tecnológicos. A solução é impossível por qualquer outro método. Os estudos de difusão de materiais diferentes são grandemente facilitados pelo método nuclear. A técnica, em princípio bastante simples, consiste em depositar na superfície do metal em estudo, por eletrodeposição, contacto ou outra forma conveniente, uma certa porção de material previamente marcado, ou seja, radioativo. É feita então uma medida da atividade do conjunto. A seguir, são feitos os tratamentos convenientes, como aquecimento ou armazenagem (ver fig. 1a e 1b). Podem também ser feitos cortes na



Figs. 1a e 1b — Uso de radioelementos como traçadores no estudo da autodifusão.

peça a diversas alturas, e estas "fatias" serem contadas. Com a difusão, há atenuação do sinal detectado pelo efeito cumulativo de dois fenômenos.

- a) Maior afastamento de parte do material radioativo do contador, implicando numa atenuação do fluxo de radiação com o quadrado da distância, ou seja, um efeito da geometria, ligada ao ângulo sólido formado pelas partículas radioativas que "vêm" o contador.
- b) Diminuição do sinal devido à "absorção" das radiações emitidas pelos núcleos mais distanciados após o tratamento.

É evidente a necessidade de correção devida ao decréscimo de atividade decorrente da desintegração espontânea do material radioativo, taxa de desintegração essa determinada pela meia-vida do radioelemento. Diversos estudos têm sido realizados sobre esse assunto^{1, 2, 3}. Linnebon *et al.*³ descrevem a difusão de ferro em SS 18-8 nas temperaturas de 808 a 1.200°C.

Misturamento — Os traçadores radioativos são ferramentas de grande utilidade no estudo do misturamento de líquidos, colóides (graxas), lamas, gases, sólidos secos e metais fundidos. A maior parte dos problemas apresentados é resolvida com extrema simplicidade, uma vez superados os problemas decorrentes da segurança industrial. O uso de emissores gama de alta energia, permite o contróle do misturamento sem a necessidade de serem retiradas amostras para contagem. Um detector de radiações colocado externamente ao recipiente ou imerso no material dá uma indicação contínua do misturamento. Com essa solução, uma certa porção de material marcado por radioatividade é introduzido no sistema, e o número de contagens por minuto é registrado em função do tempo; quando a flutuação de atividade atingir o valor predeterminado pelo erro admissível de misturamento, está terminado o teste.

Certos casos, entretanto, exigem solução mais elaborada. É o problema que surge quando motivos de segurança impedem a introdução da radioatividade pela impossibilidade do seu confinamento no misturador ou quando há necessidade de ser estudado o misturamento simultâneo de diversos materiais. Nesse caso, podem ser retiradas amostras do material inativo e desde que se ative diferentemente, essas amostras podem ser radioativadas. Cada componente é contado no seu pico característico. A altura de cada pico varia com a quantidade do material. Anàlogamente obtemos uma curva da mesma forma da da fig. 2. Quando os materiais pos-

suem espectros semelhantes, supera-se esta dificuldade pela adsorção de um elemento químico diferente, em um ou mais materiais. O material assim preparado, é misturado. Do misturador são retiradas as amostras, levadas à ativação num reator nuclear, e depois contadas no pico do espectro de energia característico do elemento adsorvido (c.f.3.6).

A Secção de Aplicação de Radioisótopos do Instituto de Pesquisas Radioativas tem tratado de problemas de mistura-mento desse tipo.

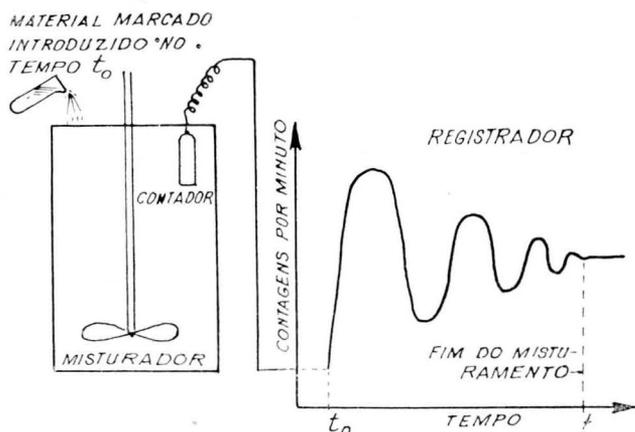


Fig. 2 — Os traçadores radioativos são ferramentas de grande utilidade no estudo do misturamento de líquidos, colóides, lamas, gases, sólidos secos e metais fundidos. Esquema de montagem para estudo de problemas de misturamento simultâneo de diversos materiais.

Podemos citar ainda o uso de radioisótopos no estudo da descida de cargas nos altos fornos. Kohn, do IRSID⁸, empreendeu um estudo desse tipo com o fim de determinar o tempo de descida das cargas sólidas, e obteve assim indicações indiretas sobre os níveis do alto forno onde se dão as reações de transformação do minério em gusa.

Os ensaios foram conduzidos em dois altos fornos análogos de 4,8 e 5,5 m de diâmetro de cadinho, com produção de 540 t/dia, utilizando-se Au-198 que se fixou no gusa e óxido de La-140 que passou à escória. Amostras de gusa e de escória retiradas a intervalos de tempo regulares durante as corridas, foram contadas.

Os resultados obtidos com blocos de minério marcado, mostraram que a descida do minério até sua transformação em gusa e escória, levava, para o forno em estudo, de 4 a

5 horas, enquanto pela marcação do coque introduzido na guela, Kohn chegou à conclusão que um aumento da carga de combustível só se manifesta ao fim de 8 horas. A interpretação dos resultados da experiência leva a pensar que a zona de fusão do minério se situa na parte inferior da cuba, um pouco acima do nível do ventre.

Estudos semelhantes podem ser feitos para outros constituintes de produtos metalúrgicos. A introdução de um traçador pode evidenciar e permitir a medida dos movimentos internos do aço durante a solidificação dos lingotes. Pode-se evitar a destruição do lingote ou bloom, fazendo-se o estudo de radioatividade nos semiprodutos de laminação dos lingotes marcados. A condição necessária para a realização de tal tipo de experiências é haver isótopos do elemento em estudo com meias-vidas suficientes para a realização do ensaio.

Os mesmos métodos podem ser aplicados com outras finalidades. O autor está, no momento, conjuntamente com M. Menezes, do Instituto de Metalurgia da EEUMG, estudando a distribuição do fósforo no aço, por meio do P-32. Visa-se, entre outros objetivos, verificar a influência da velocidade de resfriamento na distribuição do fósforo na peça fundida.

Os traçadores têm também prestado o seu concurso para a medida da eficiência de circuladores de ar. Esse controle de necessidade em ambientes poluídos ou tóxicos, exige estudos caros e pouco confiáveis, por métodos convencionais. O método de traçador comumente recorre ao Kr-85, radioisótopo do gás nobre, não metabolizável. O traçador é previamente diluído em quantidades abaixo do nível de tolerância, na atmosfera em estudo (minas, recintos de processamento, túneis, etc.). A coleta de amostras do ar em diversos pontos e instantes, dá a indicação da eficiência da circulação e renovação do ar:

Evidentemente tais técnicas de introdução de materiais radioativos, a não ser em casos muito particulares, não se prestam a trabalhos rotineiros de controle da produção, devido a incômodos de manipulação ou armazenagem do material contaminado pelos traçadores.

Em todo caso, qualquer estudo que envolva o uso de traçadores deve ser conduzido ou aprovado por pessoal habilitado em radioproteção.

Inclusões e impurezas — Não podemos negar que o estudo da origem de inclusões não metálicas em produtos metalúrgicos por meio de traçadores é extremamente delicado e pode conduzir a conclusões falsas se não for aplicada uma aproximação correta. Realmente, os elementos que com

maior freqüência comparecem nas inclusões são o oxigênio, o silício e o alumínio, e os seus isótopos radioativos possuem meias-vidas curtas ou são muito pouco ativáveis. Assim, recorre-se ao uso de sucedâneos de grande afinidade pelo oxigênio e que tenham portanto comportamento análogo ao de outros óxidos incluídos, dos quais se deseja conhecer a origem. As preferências caem então no Ca-45, no Zr-95 ou La-140. O refratário pode ser marcado pelo misturamento dos óxidos dos isótopos acima indicados aos constituintes normais dos tijolos refratários.

Após a corrida, as inclusões são medidas, normalmente por extração eletrolítica. No caso, entretanto, do radiozircônio ou radiolantânio, esta operação pode ser evitada, em vista das radiações mais penetrantes destes radioisótopos, capazes de ser detectadas nos produtos laminados. O número de trabalhos sobre esse assunto na literatura mundial cresce continuamente. Citamos na bibliografia^{9, 10, 11, 12} alguns trabalhos que tratam com originalidade do assunto. Gnouchév¹³, utilizando o silicato de cálcio-45, procurou determinar em qual proporção o jato de metal durante a corrida na lingoteira era capaz de arrancar fragmentos de refratário que se fixassem nos lingotes. Foi observado que certa parte dos produtos marcados se introduzia no lingote, principalmente no caso da corrida direta, mas uma parte dessas inclusões se fixava nos canais de alimentação da placa-base quando os lingotes eram alimentados indiretamente.

Esses resultados indicam que a erosão do refratário nos canais de alimentação não é necessariamente uma fonte de inclusões. Entretanto, Crosta¹⁴ mostrou que os defeitos superficiais observados nos "billets" (tarugos) eram devidos a inclusões provenientes da abrasão do massalote. Pela modificação do massalote foi possível eliminar esses defeitos.

Devemos lembrar que a análise por ativação permite controle bastante rápido e sensível de impurezas. Essa técnica é de extremo interesse na produção de semicondutores ou de metais preciosos. Devemos ainda fazer uma breve referência sobre as possibilidades de análise por ativação na triagem de minérios de baixo teor. Por exemplo, a cata de conglomerados de minério de cobre é feita em algumas minerações por este método. Os blocos, sobre uma esteira rolante, recebem uma dose de neutrons, que ativa muito fracamente o minério. Um conjunto de detectores para perceberem apenas a radiação característica do cobre, faz acionar um mecanismo de refugo para os blocos que apresentam sinal abaixo de certa intensidade acusadora portanto de teor antieconômico para o tratamento. Apesar do custo, tal instalação se amortiza rapidamente.

Tacômetros. Indicadores de posição — Desejamos lembrar uma propriedade extremamente interessante na solução de certos problemas industriais. A capacidade de penetração da radiação pode dar indicação do movimento de peças através de recipientes estanques. Assim, a pá de um moinete pode conduzir pequena fonte radioativa e sua rotação ser determinada do exterior por meio de um contador de baixo custo. A mesma solução pode ser empregada para verificar-se, por exemplo, a rotação de anéis de segmento durante o funcionamento do motor, para detectar-se a posição de raspadores (porcos) em oleodutos, ou o alinhamento de mecanismos de carga e descarga²² de altos fornos, vagoneiros, etc.

Desgaste; corrosão; abrasão — Para ressaltar a grande contribuição das técnicas nucleares ao estudo do desgaste, podemos citar a declaração de uma empresa de lubrificantes à Atomic Energy Commission¹⁵: por um custo de US\$ 25.000 em um ano, obteve informações que, por processos convencionais, demandariam um investimento de US\$ 540.000 em prazos muito maiores.

O controle por método radioativo da corrosão de um "pipe-line" transportador de gilsonita após sua instalação, permitiu descobrir precocidade no desgaste (2 anos), o que acarretaria um prejuízo de US\$ 1.800.000 no duto projetado para um mínimo de 20 anos. A correção de alguns fatores permitiu a utilização plena e confiável deste duto.

A característica que determina tais resultados é a extrema sensibilidade de detecção dos traçadores, aliada a um processo de medida com perturbações mínimas no sistema. Além disso, a indicação do desgaste pode ser feita continuamente, sem necessidade de desmontagem para pesagens e medidas.

Há três métodos fundamentais para realizar tais estudos:

A) A peça ou parte do sistema do qual se deseja conhecer o desgaste é tornada radioativa por um dos processos seguintes:

- 1) Ativação de toda a peça num reator nuclear, o que induz radioatividade a todo seu volume.
- 2) Ativação a pequena profundidade da superfície desgastável, num acelerador de partículas. Esta variante minimiza os problemas de manipulação do material radioativo.
- 3) A atividade pode ser introduzida na superfície por absorção, eletrodeposição, pintura ou banhos de revestimento (por exemplo: galvanização ou fosfatização). Um exemplo típico onde tal procedimento é aplicável é o caso do estudo de usura de anéis de segmento cromados.

B) As partículas desgastadas passam a um fluido (p.ex. o óleo lubrificante de um motor a explosão, ou à corrente sólida ou líquida de um duto) e é feita uma ativação num reator nuclear, das amostras retiradas a intervalos de tempo regular. Pela análise do espectro de emissão dessas amostras, é possível indicar-se a quantidade de material desgastado. É a técnica de análise por ativação. Tal solução não introduz radioatividade ao sistema.

C) Pela inserção de sementes (fontes) radioativas a profundidades determinadas das peças, temos a indicação do desgaste quando a fonte deixa de emitir radiações para um contador, o que significa que usura a atingiu.

*

Para melhor fixação de idéias, apresentaremos um exemplo de um dos métodos.

Método A — Suponhamos que o problema consiste em desejarmos conhecer o desgaste de anéis de segmento de um motor de automóvel em funcionamento, sob condições diversas de carga, regime de funcionamento e lubrificação.

Sendo o anel de segmento de automóvel uma peça de pequenas dimensões, é possível a sua ativação num reator nuclear. À medida que as partículas são desgastadas, elas são transportadas pelo óleo do cárter. Assim, uma medida de atividade do lubrificante oferecido continuamente à contagem num detector de radiações, oferece uma solução para o problema. O sistema pode ser disposto segundo o esquema apresentado (fig. 3).

Levamos para irradiar juntamente com o anel, uma amostra do mesmo material de peso conhecido. Temos assim a possibilidade de referir as contagens à massa de material desgastado, se após a ativação (anel + amostra) dissolvermos essa última com ácido e a apresentarmos ao mesmo conjunto de contagens. Suponhamos que:

Peso da amostra	50	mg
Volume do ácido	500	cm ³
Concentração de aço na solução padrão	0,1	mg/cm ³
Contagem de 1 cm ³ da solução padrão no mesmo dia em que é contado o óleo do carter	1046	contagens/min.
Contagem do óleo do carter (p. ex.: ponto <i>b</i> da curva)	180	contagens/min.
Volume de óleo na câmara de contagem	1000	cm ³
Volume total de óleo no sistema de lubrificação	4000	cm ³

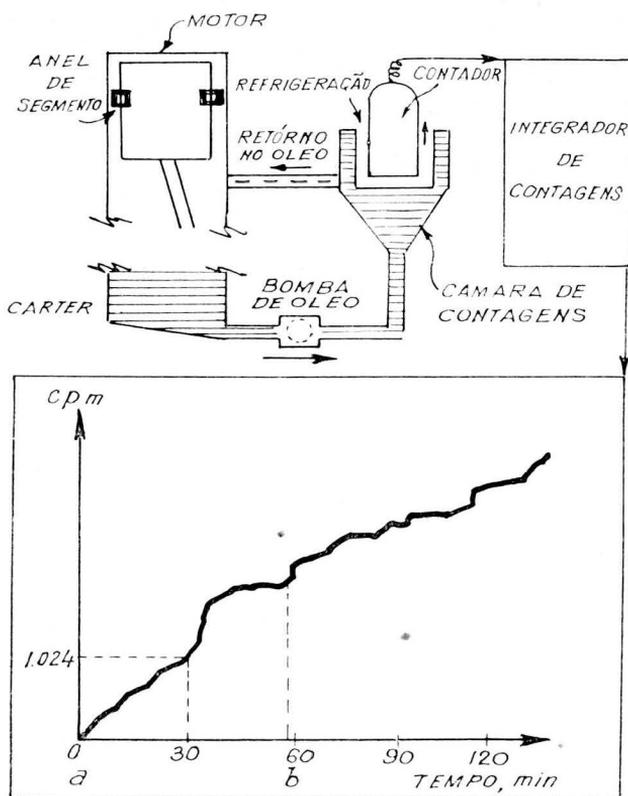


Fig. 3 — Esquema da montagem para a medida do desgaste de anéis de segmento de um motor de automóvel, em funcionamento sob vários regimes e condições: a) início do funcionamento; b) parada e nova arrancada. Lubrificante tipo "N".

Assim, a massa desgastada no ponto *b* é dada por:

$$\frac{180 \times 0,1}{1046} \times \frac{4.000}{1.000} = 0,07 \text{ mg de aço no óleo.}$$

A referência do desgaste total à solução padrão elimina a necessidade de correção da desintegração espontânea do material radioativo ao longo do tempo, o cálculo da eficiência do conjunto de contagem, as flutuações eletrônicas do equipamento, e a consideração de qual o esquema e valores das atividades utilizadas quando da irradiação no reator. A nossa Secção conduz presentemente estudos dêsse tipo, feitos com peças irradiadas no reator do IPR.

Uma comparação entre os métodos A e B pode ser sintetizada no quadro a seguir.

	Método A	Método B
Medida dinâmica	Sim	Não
Diferenciação do desgaste de partes análogas (mesma composição)	Sim	Não
Contaminação do sistema	Sim	Não
Apropriado para linha de produção	Não	Sim
Diferenciação do desgaste de partes diferentes (composição diversa)	Sim	Sim
Dificuldade de manipulação	Sim	Nenhuma
Blindagem do detetor	Difícil	Fácil

Método C — Esse método é o mais amplamente usado na medida do desgaste do revestimento de altos fornos. O princípio é simples: é feita a introdução de uma fonte radioativa no refratário a alturas e profundidades escolhidas. Enquanto o material se mantém íntegro, é possível percebermos a presença da fonte radioativa por meio de um detector portátil, do exterior do aparelho. Quando a usura atinge a fonte, esta cai e dilui-se no banho e o sinal no contador deixa de ser observado.

As técnicas que presentemente são desenvolvidas visam principalmente a:

- a) Introduzir o mínimo de radioatividade na massa de gusa. A tendência das normas atualmente, devido principalmente aos trabalhos de Hours¹⁶ e Voice¹⁷, é limitar o conteúdo máximo de atividade a 1 milicurie em 500 toneladas de gusa. Observemos que mesmo concentrações da ordem de 1 mc/t não oferecem nenhum risco para operários ou consumidores. A limitação se prende à necessidade de proteger os utilizadores desse material contaminado em indústrias e laboratórios sensíveis a pequenas doses de radioatividade, como fabricantes de emulsões fotográficas, ou na construção de contadores, ou blindagens de castelos de contagem.
- b) Construir fontes suficientemente estáveis para impedir a difusão do material radioativo no refratário, o que implicaria numa indicação falsa de posicionamento da fonte.

Para superar essa dificuldade, o C.E.A. da França²⁴, em cooperação com a Société Saint-Gobain, construiu fontes especiais de cobalto incorporado sob a forma de óxido em pirocer mica, material cristalizado, extremamente estável a altas temperaturas e que podem ser fornecidas comercialmente*. Essas fontes são protegidas por capas múltiplas de aço e alumínio que lhes d o rigidez e inércia ao ataque de gases corrosivos. Uma vantagem adicional dessas sementes radioativas   que o pirocer mico apresenta a tendência de se incorporar   escória.

Courtois e Hours¹⁹ utilizaram essas pastilhas radioativas já em 4 altos fornos, em 3 misturadores de gusa, 1 forno de vidro e 1 de cal.

Sumariaremos os resultados obtidos com um alto forno da Société Metalurgique de Normandie. O refratário de grafita do cadinho e da rampa tem densidade 1,55 e os sílico-aluminosos densidade 2,3.

Foram implantadas 60 fontes distribuídas em 5 planos: 1 no cadinho, 2 na rampa, 1 no ventre, 1 na parte inferior da cuba. As fontes de máxima atividade tinham 5 milicurie e a distância máxima de 89 cm para os refratários de grafita e 74 cm para os sílico-aluminosos. As mais próximas estavam situadas a 29 cm para grafita e 38 cm para os sílico-aluminosos. Os autores observaram que as atividades das fontes ainda foram excessivas. Semelhantemente a outros experimentadores²⁰, encontraram uma rápida usura dos refratários nos 6 primeiros meses. Após 2 meses de funcionamento algumas das fontes mais afastadas já haviam desaparecido. Após 6 meses essa usura já alcançava o fundo das caixas de refrigera o. O desgaste foi regular: as fontes desapareciam quase simult neamente.

  possível a realiza o de fontes de Sb-124, material obtido no reator do IPR em quantidade suficiente para estudos desse tipo. Tais fontes, entretanto, teriam que ser utilizadas nas partes mais r pidamente desgast veis, devido à sua meia-vida (60 dias).

Uma variante do método descrito é controlar a queda da semente radioativa pela medida da atividade das corridas. Assim Grouzine e Zenusky²¹ controlaram simult neamente o desgaste de muitos altos fornos pelo exame sistemático de amostras das corridas. Diversas pastilhas foram colocadas em planos diferentes. Para ser identificado o nível no laboratório de contagem, foram usados isótopos com energias di-

* O preço das fontes ativadas no CEA, é de aproximadamente 100 NF (com uma atividade média de 3 mc) por fonte.

ferentes dispostos alternadamente. Além disso, para as partes mais facilmente desgastadas, foram usados isótopos de meias-vidas mais curtas como o fósforo e o índio. Outros radioelementos traçadores foram o estrôncio, cobalto e prata de maiores meias-vidas. Os ensaios permitiram inferir que a usura era análoga em todos os altos fornos estudados; porém a profundidade de estabilização (menor taxa de desgaste) depende do projeto do alto forno, do tipo de gusa produzido, da refrigeração da sola e da qualidade dos refratários.

4. ASPECTOS ECONÔMICOS — O MERCADO BRASILEIRO — O IPR

O uso de traçadores se aplica, normalmente, à pesquisa tecnológica básica, ao conhecimento do comportamento de sistemas ou de parâmetros de fabricação. Assim, o número de informações obtidas dificilmente pode ser traduzido em termos precisos de economia de produção. De outro lado, o equipamento de medida de radiação é normalmente de preço elevado. Sua aquisição não se justifica a menos que a indústria pretenda obter informações extremamente valiosas ou tenha um volume de trabalhos que dêem plena carga a um laboratório de radioisótopos. Existe também a necessidade de pessoal com conhecimentos seguros no campo da energia nuclear. Além disso a programação das experiências deve dar atenção especial ao aspecto de segurança, especialmente quando envolver terceiros.

Apesar dessas considerações, o emprêgo dos radioisótopos na pesquisa industrial é seguramente um excelente investimento. O estudo mais completo sôbre as conseqüências da energia nuclear na indústria citado em ¹⁵ coligiu as informações de 588 empresas dos Estados Unidos. Esse estudo, divulgado em 1959, afirma que esse número de indústrias representava menos de 10% do mercado de possíveis utilizadores.

Essas empresas acusaram economias líquidas de US\$ 12.746.000 (aproximado) para um investimento total de US\$ 1.473.000 (aproximado) apenas no setor de pesquisas, durante o período de 1957-1958. Dessas empresas, as que se dedicam às indústrias metalúrgica, mecânica e de refratários, para um investimento aproximado de US\$ 600 milhões, anunciaram uma economia líquida de 3,5 milhões.

Evidentemente as características altamente competitivas do mercado americano e sua complexidade, tornam difícil a comparação com a situação atual da indústria brasileira, in-

ciente e com mercados em franca procura. Entretanto, o desenvolvimento do parque industrial do país começa a implicar em especificações mais restritas para os nossos produtos. Cabe ainda perguntar se não é precisamente em condições de baixa produtividade como as que ainda são comuns entre nós, que se justificam mais fortemente investimentos que tornem mais rentáveis as pequenas disponibilidades de capital para investimentos industriais.

Tais considerações tornam otimistas as perspectivas do emprego de métodos de controle e pesquisa mais requintados. Quaisquer que sejam, entretanto, os montantes disponíveis para a pesquisa, julgamos que a relação economia/investimento no uso de radioisótopos no mercado americano se manteria semelhante ao nosso.

Essas considerações tornam justificável o esforço brasileiro no sentido de ser adestrado pessoal e desenvolvidas técnicas no setor de Engenharia de Radioisótopos. O Instituto de Pesquisas Radioativas criou com êste fim uma secção especialmente dedicada a êsses problemas. Esta secção promove regularmente cursos rápidos de Engenharia de Radioisótopos com o fim de treinar pessoal das indústrias. Além disso, oferece assessoramento às indústrias, neste setor. Êste grupo, criado há menos de 2 anos, começa a superar a fase de simples oferta dos seus serviços, executando diversos trabalhos de interêsse industrial, o que dá validade às considerações feitas nesta conclusão.

BIBLIOGRAFIA

1. BEVER, M. B. — *Radioactive tracers in physical metallurgy research*. Modern Research Techniques in Physical Metallurgy, American Society for Metals, Cleveland, Ohio, USA, 273-311 (1953) ou Transactions of the American Society for Metals, 45, 278-311 (1953).
2. KUCZYNSKI, G. C. — *A new method of measuring diffusion coefficient in solids, with radioactive tracers*. J. Appl. Phys. 19 (3) 308-309 (março 1948).
3. LINNEBON, V., M. TETENBAUM & C. CHEEK — *Tracer diffusion of iron in stainless-steel*. J. Appl. Phys. 26 (8) 932-936 (1955).
4. LACOMBE, P., P. GUIRALDENQ & C. LEYMONIE — *Autodiffusion en volume et aux joints de grains du fer gamma de haute pureté (99,99%)*. Conferences Proceedings, 1, Copenhagen, setembro 1960, IAEA, Viena (1962).
5. BARR, L. W., D. A. BLACKBURN & A. F. BROWN — *Diffusion rates in the region close to the free surface of a metal*. Ver ref. 4, pg. 137-145.
6. BLACKBURN, D. A. & A. F. BROWN — *Diffusion in moving grain-boundaries*. Ver ref. 4, p. 145-159.
7. LAZARUS, D. — *Mass dependence of intermetallic diffusion*. Ver ref. 4, pg. 159-169.

8. KOHN, A. — *Étude de la descente des charges au haut-fourneau*. Anais da Conferência da UNESCO, Paris, 1957, Radioisotopes in Scientific Research, ed. Pergamon Press, vol. 1, *Research with Radioisotopes in Physics and Industry*, pg. 302-325 (1958).
9. MALINOVSKI, E. I., MOROZOV, A. N. — *Sources de contamination de l'acier par les inclusions d'oxides au cours de la coulée*. Isvetia Akad. Nak. SSSR, nº 8, pg. 102-108 (1957). Tradução IRSID: T. 961.
10. BOJARSKI, Z., W. ORZESZKO, S. PAWLOWSKI, R. WUSATOWSKI & ZIOLOWSKI — *An assessment trial of the quality of refractory materials used in a casting pit the distribution of non-metallic inclusions in steel by means of radioactives tracers*. Ver ref. 8, pg. 388.
11. SAITO, T., SHIMANUKI, R. — *Sources of non metallic inclusions in steel ingot*. Ver ref. 8, pg. 362.
12. MAKIN, S. M. — *A study of inclusions and segregation in metals by autoradiography*. Ver ref. 4, pg. 217.
13. GNOUCHEV, G. M. — *Methods of studying non metallic inclusions in steel by means of radiography*. In III Conferência sôbre a Físico-química da Fabricação de Aço (1955), citado por Samarin in Proc. of the Int. Conf. on the Peaceful Uses of Atomic Energy, Genebra, vol. XV, ref. 22, pg. 159, Nações Unidas (1955).
14. CROSTA, T. W. — *Radioactive tracer study of steel surface defects*. Journal of Metals, 10, pg. 285-289 (abril 1958).
15. National Industrial Conference Board "Radioisotopes in Industry". Publicação nº 93 (1959).
16. HORS, R. — *Emploi de traceurs radioactifs pour l'étude de l'usure des réfractaires de haut-fourneau*. Boletim Interno, C.E.A., SAR/57 — 153, França (1957).
17. VOICE, E. W. — *Journal of Iron and Steel Institute*, 2, pg. 157-161 (1951).
18. COURTOIS, G., R. HOURS, P. LE CLERC, A. PONS — *Les problèmes de sécurité dans l'emploi de sources radioactives pour l'étude de l'usure des revêtements réfractaires*. Ver ref. 4, pg. 405-415.
19. COURTOIS, G., R. HOURS — *L'emploi de sources radioactives pour l'étude de l'usure des revêtements réfractaires*. C.I.T. P/131 (1960).
20. SCHEEPERS, A. & F. R. LICHT — *Verschleissmessungen mit Radioaktiven Isotopen an Hochfenausmaverungen*. Stahl und Eisen, 10, 79, pg. 669-674 (1959).
21. GROUZINE, P. L. & S. N. ZEMSKI — *Étude de l'usure de revêtements réfractaires des fours métallurgiques à l'aide de radiotraceurs*. Zavodskaja Laboratoria, 22, nº 2, pg. 167-177 (1956). Tradução IRSID: T. 827.
22. ZAWELS, J. — *A new interlocking system for coke oven battery machines employing radioactive isotope*. Coke and Gas, pg. 512-516 (1957).