

OS NOVOS MATERIAIS E A CORROSÃO

53

ROBERTO C. VILLAS BÓAS

PRESIDENTE DA REPÚBLICA
Fernando Collor de Melo

SECRETÁRIO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA
Edson Machado de Sousa

PRESIDENTE DO CNPq
Marcos Luiz dos Mares Guia

DIRETORIA DE UNIDADES DE PESQUISA
Lindolpho de Carvalho Dias

DIRETORIA DE DESENVOLVIMENTO CIENTÍFICO E TECNOLÓGICO
Jorge Almeida Guimarães

DIRETORIA DE PROGRAMAS
Ivan Moura Campos

CETEM - Centro de Tecnologia Mineral

DIRETOR
Roberto C. Villas Bôas

VICE-DIRETOR
Peter Rudolf Seidl

CHEFE DO DEPARTAMENTO DE TRATAMENTO DE MINÉRIOS - DTM
Adão Benvindo da Luz

CHEFE DO DEPARTAMENTO DE METALURGIA EXTRATIVA - DME
Juliano Peres Barbosa

CHEFE DO DEPARTAMENTO DE QUÍMICA INSTRUMENTAL - DQI
José Antônio Pires de Mello

CHEFE DO DEPARTAMENTO DE ESTUDOS E DESENVOLVIMENTO - DES
Ana Maria B. M. da Cunha

CHEFE DO DEPARTAMENTO DE ADMINISTRAÇÃO - DAD
Clarice Dora Gandelman

OS NOVOS MATERIAIS E A CORROSÃO

ROBERTO C. VILLAS BÔAS*

* Eng^o. de Minas, M.Sc. Eng^a. Metalúrgica, D.Sc. Eng^a. Metalúrgica e de Materiais, Professor Adjunto da UFRJ, Diretor do Centro de Tecnologia Mineral - CETEM, Presidente da Associação Brasileira das Instituições de Pesquisa Tecnológica Industrial-ABIPTI.



OS NOVOS MATERIAIS E
A CORROSÃO

FICHA TÉCNICA

COORDENAÇÃO EDITORIAL

Francisco R.C. Fernandes

REVISÃO

Milton Torres B. e Silva

EDITORAÇÃO ELETRÔNICA

Célia Regina Oliveira Simões

Fátima da Silva C. Engel

Márcio Luís D. Lima

ILUSTRAÇÃO

Jacinto Frangella

Pedidos ao:

CETEM/CNPq - Centro de Tecnologia Mineral

Departamento de Estudos e Desenvolvimento - DES

Rua 4 - Quadra D - Cidade Universitária - Ilha do Fundão

21949 - Rio de Janeiro - RJ - Brasil

Fone: (021) 260-7222 - Ramal: 218 (BIBLIOTECA)

Solicita-se permuta.

We ask for change.

Villas Bôas, Roberto Cerrini

Os novos materiais e a corrosão/ Por Roberto Cerrini Villas
Bôas. - Rio de Janeiro: CETEM/CNPq, 1991.

19 p. - (Série Tecnologia Mineral, 53)

1. Novos materiais-Corrosão. 2. Corrosão e anticorrosivos.
I. Centro de Tecnologia Mineral. II. Título. III. Série.

ISSN 0103-7382

CDD 620.11223

ISBN 85-7227-018-3

**TECNOLOGIA
MINERAL**

OS NOVOS MATERIAIS E A CORROSÃO

53

ROBERTO C. VILLAS BÔAS

INTRODUÇÃO

"I am confident that advanced materials will bring significant change to human society. Whether this is for good or bad is for the future generations to discover."

William A. Vogely

Materials and Society

Vol. 14, n^o. 2, (1990)

"It used to be the job of the physicist to understand the materials already in the world. Over the past 20 years we've kind of turned the table on that situation to the point where we are synthesizing materials that do not occur in nature."

Washington Post,

Aug. 20 (1989)

"Use of advanced materials is becoming more widespread in a number of industries due to their better performance, cost competitiveness, potential for substitution and conservation, consumer protection, superior quality, etc.."

R. S. Ganapathy

National Materials Policy

Tech. Info. Forec. and Ass. Council

India (1991)

O que tem estas afirmações a ver com a Corrosão ?

O estudo do fenômeno da Corrosão, na sua acepção mais ampla, trata da análise, da interpretação e da proposição de soluções para o problema da degradação sofrida pelos materiais através da ação do meio no qual se encontram. Os materiais metálicos, tais quais, bem como os compósitos envolvendo tessituras ou matrizes metálicas, são aqueles que apresentam maior incidência dos processos corrosivos, dando lugar à bem conhecida de todos "corrosão metálica", pela ação das reações químicas e/ou eletroquímicas do sistema do qual fazem parte, podendo, ainda, sofrer ações acopladas de forças físicas, tais como a corrosão sob fadiga e a corrosão sob tensão.

A corrosão, sendo um fenômeno associado aos materiais, com intensidade dotada de gradações variadas segundo as substâncias que os constituem e aos meios aos quais estão expostos, sofre as influências óbvias dos desenvolvimentos tecnológicos intrínsecos à produção e utilização destes materiais.

O sucesso ou não de qualquer tecnologia depende, em sua maior parte, dos materiais. A escolha correta, bem como a utilização, desempenho técnico-econômico e confiabilidade de uso dão a credibilidade necessária a um produto.

Os materiais tradicionais, tais como pedra, madeira, metais e aços comuns e vários tipos de aglomerantes constituíram, e ainda constituem, a base da atividade econômica. Com o progressivo processo da industrialização, novos desenvolvimentos de materiais úteis vieram influenciar as atividades industriais, fazendo surgir as várias ligas metálicas e os plásticos, com crescentes participações no cenário dos materiais utilizados na indústria.

Nas duas últimas décadas, significativos *break-throughs* nas ciências e tecnologia dos materiais, têm contribuído para produção de materiais não tradicionais.

Aqui surgem os denominados "Novos Materiais" ou, como pre-

ferem alguns, "Materiais Avançados".

O que são ?

Os novos materiais podem ser visualizados como substâncias, ou combinação destas, conhecidas ou desenvolvidas a partir da incorporação dos princípios da ciência dos materiais - conhecidos ou induzidos - à preparação, fabricação e utilização de antigas ou novas aplicações de materiais industriais, apresentando sempre, entretanto, novos critérios nas suas concepções.

Tais materiais vêm surgindo, dentro da realidade industrial de nossos dias, num ritmo acelerada.

Como insumos para a produção de bens, os materiais desempenham papel de ponta na inovação e modernização tecnológica e na produtividade industrial.

Que setores são mais afetados pela corrosão?

Os produtos originados pelo fenômeno da corrosão dos materiais dependem da ação do meio no qual estes mesmos materiais desempenham suas funções. Assim, é de todo conveniente identificar os setores da indústria de bens de capital onde a extensão da corrosão afetará em grau maior ou menor os vários itens sujeitos à degradação corrosiva, bem como definir faixas de "vidas úteis" destes itens, dentro dos seus setores industriais.

De fato, tentativas relacionadas a essas identificações têm sido realizadas pelos especialistas. Um bom exemplo é o relatório do "National Bureau of Standard", dos Estados Unidos, em conjunto com o Battelle, sobre o custo da corrosão,¹ de onde são tiradas algumas amostras:

¹NBS-Battelle Cost of Corrosion Study (\$70 Billion!) Materials Performance, Vol. 19, Seven Part Series,(1980).

TIPOS DE ITENS AFETADOS PELA CORROSÃO	EXTENSÃO DA CORROSÃO	IMPACTO DA MELHOR PRÁTICA	FAIXA DE REPOSIÇÃO, ANOS		
			BASE	SEM CORROSÃO	MELHOR PRÁTICA
- equipamento de aquecimento (exceto elétrico), caldeiras, fornos, incineradores, radiadores	Grande	Grande	3-25	20-25	12-25
- molas, válvulas, conexões, tubos	Grande	Grande	18-25	25-25	20-25
- equipamento de mineração	Pouca	Pouca	8-50	15-50	10-50
- rádio, TV, equipamento de comunicação, radar	Pouca	Pouca	25	26	-
- instrumentos científicos	Pouca	Pouca	15-30	17-30	-

É ilustrativo ver, pois, que, do ponto de vista econômico, é de extrema importância concentrar a atenção naqueles setores onde a extensão da corrosão é grande, ou mesmo moderada, e nos quais o impacto da melhor prática também é grande.

Foi dito acima: concentrar a atenção !

A atenção de quem ?

Tal fato foi intensamente analisado no CORROSION/86 "Symposium on International Approaches to Reducing Corrosion Costs", realizado em Houston, 1986,² tendo-se chegado às seguintes conclusões:

"Possibly the greatest danger in attempting to create corrosion awareness is that wrong people are addressed. ... those who make decisions that have a marked impact upon the incidence of corrosion are the detail designers, civil and mechanical engineers, architects of buildings or ships, and so on ..."

²International Approaches to Reducing Corrosion Costs, National Association of Corrosion Engineers (1986).

E por que ?

Porque estes são os responsáveis pela seleção dos materiais a serem empregados nos projetos de construção de estruturas, de equipamentos e de produtos em geral !

Plásticos de engenharia e materiais conjugados vêm sendo empregados em praticamente tudo, desde bombas de sucção até torres de destilação e processamento, substituindo os materiais tradicionalmente especificados, como metais, vidros e cerâmicas.

Os projetistas e engenheiros estão se voltando, cada vez mais, para os materiais conjugados por causa da resistência à corrosão alta razão tensão solicitante por massa e estabilidade dimensional. Entre outros benefícios que os conjugados apresentam em relação a materiais tradicionais de construção, como os aços, estão suas baixas condutividades elétricas e baixo custo de produção.

Plásticos reforçados com fibras de vidro (FRP) têm encontrado inúmeras aplicações na grande indústria química, sendo que um dos mais recentes empregos é nas lâminas de hélices em geral, dotando-as de alta resistência química e mecânica sem acarretar massa adicional. Da mesma forma, tubulações de maior durabilidade empregadas no transporte de fluidos corrosivos, praticamente sem manutenção, é outra das aplicações notáveis.

Na construção de tanques de grande diâmetro, a Ashland Chemical Co. desenvolveu certas resinas ester-vinílicas que têm demonstrado resistências químicas à corrosão superiores às de outros materiais.³

Como têm surgido os novos materiais ?

Estes, abrangem quatro grandes segmentos:

. metais e suas ligas;

³Composites Lead the Way in Equipment Construction, Chemical Engineering, Nov. (1989).

- . cerâmicas avançadas;
- . polímeros de engenharia;
- . conjugados.

Os esforços crescentes de P&D, tanto em universidades, centros de pesquisa governamentais e, principalmente, nos centros de pesquisa das próprias indústrias, estão grandemente concentrados em torno de dois grandes objetivos:

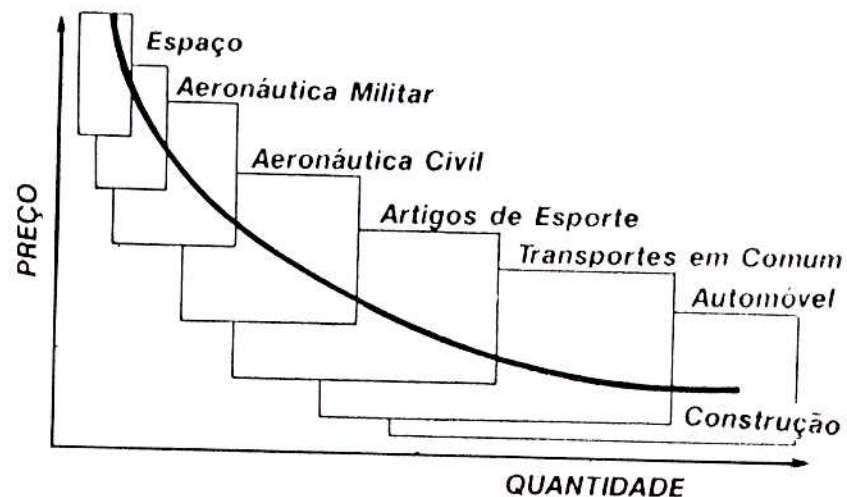
- . promover a substituição de materiais no sentido de serem obtidas especificações de uso que satisfaçam à constante pressão dos consumidores em mercados aguerridos;
- . promover a substituição de minérios, metais, ou materiais que sejam críticos ou vulneráveis a uma dada economia.

Na promoção de substituição visando atingir especificações mais estritas, várias organizações, devotadas à pesquisa, industrialização e promoção, estão engajadas, em todo o mundo, na busca de mercado e na abertura de oportunidades relacionadas aos campos de alta tecnologia.

Na promoção da substituição de minérios, metais, ou materiais, vulneráveis ou críticos, há esforços concentrados e dirigidos, espelhados nas políticas de governo dos países centrais, voltados à alteração e mudança do perfil de dependência das fontes tradicionais de suprimento.

A estratégia de difusão dos novos materiais para vários segmentos de mercado, possibilitando uma ampliação de vendas e participação relativa naqueles mercados, pode ser visualizada através de como isto se dá no Japão.

A figura a seguir apresentada mostra o caso ideal dessa penetração de mercados:



Lógica de Difusão de um Novo Material em vários Mercados.⁴

⁴Sá, P. - *Estratégia dos Grandes Grupos no Domínio dos Novos Materiais*, Série Estudos e Documentos, Nº. 9, CETEM/CNPq, (1989).

Nesta seqüência, as indústrias que necessitam de materiais dotados de altos desempenhos arcam com os custos de desenvolvimento, e o produto gerado, normalmente, é de alto custo. A penetração gradual, em outros segmentos de mercado, se daria como condição necessária da redução progressiva dos custos de produção conseguidos com a economia de escala; caso se não a alcance, tal penetração se estagnar

A estratégia, conjugada com as táticas de penetração, ampliação, conquista e manutenção e de mercados, da Kawasaki Steel, vem levando-a a adotar revisões constantes no gerenciamento de sistemas integrados de informação organizacional, interagindo de modo eficaz com as áreas de recebimento de matérias-primas, vendas, produção, pesquisa e desenvolvimento, expedição e assistência aos clientes.^{5, 6}

Qual o mercado dos novos materiais ?

Tais materiais e os produtos deles resultantes representam um mercado que pode ser, conservadoramente, estimado entre US\$ 280 a 500 bilhões, ao redor do fim do século.⁷

O mercado mundial para os novos materiais cresce duas vezes mais rapidamente do que o todo da economia mundial.⁸

No contexto do G-7, o Japão é o maior utilizador, com a maior razão entre vendas de novos materiais e PIB, sendo extremamente competitivo no desenvolvimento e aplicação de novas ligas de aço e produtos cerâmicos. Os Estados Unidos detêm a melhor posição na área de polímeros de engenharia, enquanto que a Europa tem melhorado bastante seu desempenho relativo nas áreas de aços (França

⁵FUJIKAWA, N. et al - On-line Information System for Meeting Order Processing Services, Kosmos II; Kawasaki Steel Technical Report, n° 20 (1989).

⁶SHIKATA, H. et al - Marc Assistance System Using Knowledge Engineering "MARC EXPERT"; Kawascki steel Technical Report, n° 20 (1989).

⁷LATANISION, R.M. - Advanced Manufacturing, Materials and International Competitiveness, Proc. 9th. Biennial Conf. National Materials Policy, (1988).

⁸Bureau d'Informations et de Prévisions Economiques. New Materials: Trends in Europe and the World. Neuilly-sur-Seine, France, (1986).

e Alemanha), bem como nas de polímeros de engenharia (Alemanha e, em menor escala, França, Itália e Inglaterra).⁹

A Tabela I revela o mercado mundial para os vários tipos de novos materiais.

Tabela I - Mercado Mundial para os Novos Materiais.⁹

Produto	Vendas (1983) FF bilhões	Crescimento Médio Anual (1983-1990) %
Novos aços	294	2,3
Polímeros Eng.	120	7,3
Não-ferrosos	64	3,4
Conjugados	54	8,2
Cerâmicos	29	17,4
Novos Vidros	19	10,4
Total N.M.	580	5,5

Em termos de segmentos de mercado, a taxa média anual de crescimento entre 1983-1990, na Europa, apresentou cerca de 11% na área de embalagens, 9% na aeroespacial, 8,5% na indústria automotiva, 8,5% na de esportes, 5,5% na de eletricidade, 5% na de engenharia mecânica e 2% na de construção.

Qual a previsão de mercado dos novos materiais em áreas geográficas e países ?

⁹CZICHOS, H. - Materials Technologies and Materials Policies in Developed and Developing Countries. Discussion Meeting on Advanced Materials for Developing Countries, UNIDO, IPCT.S7 (SOEC), (1988).

A Tabela II ilustra tal previsão, dando, inclusive, a posição, bastante significativa, do Brasil.

Tabela II - Previsão de Mercado para os Novos Materiais por Áreas Geográficas e Principais Países.¹⁰

ÁREA PAÍSES	bilhões	
	DEMANDA LATENTE	
	1983	2000
	TOTAL	TOTAL
América do Norte	2.563	34.470
Estados Unidos	2.343	31.202
Canadá	119	1.551
América do Sul	256	6.586
Brasil	178	4.397
Europa Ocidental	2.271	28.033
Alemanha Ocidental	834	10.855
França	432	5.568
Reino Unido	282	2.515
Itália	218	3.272
África	110	5.434
África do Sul	30	1.060
Sudoeste Asiático	166	8.317
Índia	78	3.378
Leste Asiático	1.432	28.155
Japão	1.238	15.987
Oceania	124	2.180
Austrália	110	1.904
TOTAL MUNDO	6922	114.174

FONTE: MRE/DCTEC/SICTEX, TQ 03

Como os materiais são selecionados pelos seus consumidores ?

Em geral, qualquer empresa realiza a seguinte análise sobre seus

¹⁰VILLAS BÓAS, R.C. - Geopolítica dos Novos Materiais, Série Tecnologia Mineral, N^o. 45, CNPq/CETEM, (1989).

insumos de produção e sobre os materiais de seus produtos, em particular:¹¹

- a) estabelece uma listagem de todos os seus produtos e seus ingredientes;
- b) codifica-os, buscando defini-los com precisão e acuro;
- c) classifica-os na ordem de importância para o seu negócio;
- d) prioriza-os quanto à vulnerabilidade de ruptura do suprimento.

Tal análise resulta numa matriz que é constantemente monitorada e revista, estabelecendo as táticas a serem seguidas pela empresa, com relação a seus suprimentos de materiais.

Os novos materiais que seguirem a tendência da lógica de difusão, anteriormente citada, alcançam estabilidades de suprimento muito constantes, sem variações sazonais significativas, representando uma maior segurança para seus consumidores. Ou seja, quando vêm, vêm para ficar !

Qual o "mercado" da corrosão ?

Após o relatório NBS/BATELLE,¹¹ chegou-se à conclusão nos EUA que, em 1985, o custo da corrosão metálica estava ao redor de 4,2% do GNP, ou seja US\$ 180 bilhões !

Estima-se que nos países industrializados este percentual - entre 3% a 4% do GNP - seja mantido.¹² No Brasil, andaria aí pela casa dos 3,5% do PIB, representando, em 1978, US\$ 4,8 bilhões.¹³

Portanto, é um "mercado" extremamente significativo !

Quais as oportunidades do estudo da corrosão, e suas soluções,

¹¹ANDERSON, D.W. - Strategic Materials in Glass Manufacturing, Materials and Society, Vol. 14, N^o. 2, (1990).

¹²NACE- National Association of Corrosion Engineers; International Approaches to Reducing Corrosion Costs; proceedings of the Corrosion/86, 1986.

¹³ABRACO - VII Congresso Internacional de Corrosão Metálica, RJ, Monitor Mercantil, 28.07.78, (1978).

frente aos novos materiais ?

Tal questão tem sido analisada em várias publicações especializadas,^{14,15} tendo sido, entretanto, sumarizada, na sua generalidade, por ocasião da 33^a Sagamore Army Materials Research Conference,¹⁶ da qual se aproveita, aqui, a seqüência e a lógica da exposição.

• SÓLIDOS METAESTÁVEIS

Os sólidos metaestáveis, ou de não-equilíbrio, podem ser produzidos através de vários processos, como, por exemplo, implantação iônica, impingimento iônico, tratamento térmico do sólido massivo e, o mais estudado deles, o ultra-rápido resfriamento do líquido.

O fato de que virtualmente qualquer líquido poderá ser rapidamente resfriado, produz um sólido metaestável, amorfo ou microcristalino. Nas taxas usuais de 10 K/s empregadas na técnica RSP, necessariamente haverá a formação de tiras finas, 20 a 50 μm , filamentos ou partículas diminutas, dada a imperiosidade de sustentação daquela velocidade de resfriamento.

As ligas amorfas são conhecidas desde o início da década de 60, embora apenas na década de 70 é que as ligas metálicas amorfas, ou vidros metálicos, começaram a ser produzidas em formas comercialmente utilizáveis.

Tais ligas são estruturalmente e quimicamente metaestáveis e significativamente resistentes, apresentando, algumas, propriedades ferromagnéticas, outras, catalíticas e muitas, mas não todas, inércia química.

¹⁴MONTEIRO,S.N. - Caracterização, Perspectivas e Oportunidades para Novos Metais e Ligas Especiais; Tendências e Perspectivas na Área dos Novos Materiais (Ed. Roberto C. Villas Bôas), ABM, CONFER, 1987

¹⁵COHEN,M. - Progress and Prospects in Metallurgical Research; Advancing Materials Research; Natln. Acad. Engng/Natln. Acad. Sci.; Natln Acad. Press 1987.

¹⁶LATANISION,R.M. - Current and projected Impact of Corrosion Science and Engineering; Materials performance, Oct.(1987).

Possuindo uma alta razão superfície/volume, a estabilidade em relação ao meio-ambiente, ou resistência à corrosão quando em uso, adquire importância ímpar, sendo que mesmo uma taxa nominalmente baixa de corrosão poderá levar à deterioração do material. Da mesma forma, em seções finas, um ataque localizado (*pitting*), que deixe a maioria da superfície inafetada, poderá provocar uma rápida perfuração local. Além disso, se tais materiais forem devit-rificados, poderão perder suas resistências à corrosão, bem como outras propriedades de utilização.

Uma segunda família de ligas manufaturadas pelo RSP é a que produz tiras finas ou pós que são posteriormente compactados em tamanhos maiores. Esta segunda classe de ligas metaestáveis não é amorfa, tendo um tamanho de grão da ordem de 1 μm , mas não são tão resistentes à corrosão quanto as ligas amorfas.

Um dos problemas mais sérios da liga produzida pela técnica do RSP é a existência de contornos de grãos na forma de filmes de superfície sobre os particulados (tiras, pós ou filamentos) gerados durante a solidificação ou desenvolvidos durante o manuseio e consolidação subseqüentes. A natureza desta interface, a sua origem, química e controle, é incerta, embora saiba-se que afeta as propriedades da liga.

A resistência à corrosão das ligas metaestáveis produzidas via RSP tem sido relatada na literatura ^{17,18}

Uma aplicação de grande impacto da RSP é a produção do magneto de alto-desempenho de neodímio-ferro-boro, reduzindo em cerca de 50% o tamanho e o peso do motor de arranque dos automóveis.¹⁹

¹⁷DIEGLE,R.B. et al. - Corrosion-Aqueous Processes and Passive Films; Treatise on Materials Science and Technology, Vol. 23, Academic Press, N.Y. (1983).

¹⁸LATANISION,R.M. et al. - Symp. Chem. & Phys. of Rapidly Solidified Materials; The Metallurgical Society, Warrendale,(1980).

¹⁹HARWOOD,J.J. - An Automotive Industry Viewpoint of Materials Research; Materials Research and the Corporate Sector; Advancing Materials Research, National Academy of Engineering, Nat. Aca. Press,(1987).

● CONJUGADOS DE MATRIZ METÁLICA

Estes materiais estruturais apresentam um vasto campo de trabalho para o engenheiro de corrosão que é, em essência, aquele associado à interface matriz metálica-fibra.

A maior parte dos esforços de P&D tem sido dirigida ao estudo do comportamento mecânico, à tecnologia de processo requerida para a incorporação da fibra na matriz metálica. Em grau menor às reações químicas da interface: o produto da reação afetará a corrosão interfacial quando o conjugado for exposto à ação de um eletrólito. Como, por exemplo, o produto da reação entre a matriz Ti-6Al-4V e as fibras de SiC, que consiste numa camada uniforme de compostos intermetálicos, com uma espessura de cerca de 0,5 μm . Em alguns casos é possível prevenir-se a reação química, recobrendo-se a fibra com um escudo à difusão.

Os fenômenos interfaciais, tais como uma "molhabilidade" deficiente e reatividade entre a matriz líquida e o material de reforço, durante a fase de produção do conjugado, vêm recebendo atenção crescente dos pesquisadores e produtores desses materiais.²⁰

Os tipos de corrosão que podem surgir nos conjugados de matriz-metálica são:

- corrosão galvânica entre fibra e matriz;
- corrosão seletiva na interface;
- defeitos na matriz provenientes de fissuras e caminhos para corrosão.

● CERÂMICAS DE ALTO-DESEMPENHO

Embora o desempenho dos materiais cerâmicos a altas temperaturas seja relativamente bem estudado, seu comportamento nos

²⁰CORNIE, J.A. - Solidification Processing of Metal Matrix Composites; Advanced Materials in Automotive Engines; Automotive Materials Symposium, TMS, Ann. Arbor, (1986).

sistemas eletrolíticos aquosos a baixas temperaturas é pouco estudado e compreendido.

As cerâmicas, sendo óxidos, nitretos e carbetos, são termodinamicamente instáveis em meio aquoso, sob determinadas condições de Eh x pH.

O fato das cerâmicas serem freqüentemente usadas nas regiões de instabilidade termodinâmica se deve ao controle cinético dos processos de exposição, característicos de grande parte desses materiais. A deterioração, entretanto, poderá ter sua taxa acelerada caso o tempo e/ou a temperatura de exposição aumentem.

O uso de cerâmicas em sistemas eletrolíticos, como isolantes, eletrodos, espaçadores e, mesmo, eletrólito, além dos seus usos em aplicações eletrônicas e estruturais, fazem com que uma clara definição dos limites de suas estabilidades químicas de utilização, bem como as variáveis que afetam tais usos, devam ser investigados e estabelecidos.

Um bom exemplo são as cerâmicas de zircônia parcialmente estabilizadas, onde óxidos de magnésio, cálcio ou itria são adicionados como estabilizadores, prevenindo transformações de fase a altas temperaturas que ocorrem na zircônia pura. Há evidência de que a zircônia parcialmente estabilizada se deteriora em solução aquosa, provavelmente resultado da dissolução preferencial dos compostos de estabilização.²¹

Outro exemplo é o uso de fibras óticas em meios aquosos, ou mesmo dotados de umidade, degradando-se; ainda supercondutores cerâmicos em altas temperaturas ($YBa_2Cu_3O_7$), quando expostos à atmosfera, apresentam instabilidade química e, ao final, degradação total.

²¹NAKAJIMA, K. et al. - Electrode Materials and Processes for Energy Conversion and Storage, the Electrochem. SPC., Adv. Ceramics, Vol. 12 (1984).

● ELETRODOS

Vários óxidos e outros materiais semicondutores, tais como TiO_2 , $SrTiO_3$, CdS , são candidatos a eletrodos em várias aplicações da engenharia eletroquímica, onde, durante o processamento poderá haver, ao longo das reações de redução/oxidação, a degradação destes materiais.

● AÇOS DE ALTA TECNOLOGIA

Aços de alta-resistência, para aplicações na indústria automobilística em particular, leves, bifásicos (ferrita-martensita), ou outros aços de alta resistência e baixa-liga, não possuem, entretanto, melhores propriedades à corrosão do que os aços convencionais usados na indústria automobilística. A fase martensítica da microestrutura é fragilizada pelo hidrogênio, gerado como produto da reação catódica na corrosão do aço, ou como resultado do uso de camadas protetoras de zinco (proteção catódica). Isto implica que os aços bifásicos galvanizados poderão ser resistentes à corrosão, embora suscetíveis de fragilização pelo hidrogênio,²² requerendo uma concepção diversa para o controle da corrosão.

● ADESIVOS E SELANTES

As duas últimas décadas têm sido extremamente ricas em avanços tecnológicos nas indústrias produtoras de adesivos e selantes. Mais e mais produtos vêm sendo manufaturados, com novos tipos de substratos, aplicados desde embalagens até componentes de aviação, necessitando desempenhos técnicos mais exigentes dos adesivos e selantes. Estes, por sua vez, requerem matérias-primas dotadas de tolerâncias cada vez mais estritas para se adequarem às suas aplicações finais. As fórmulas desenvolvidas concentram-se nos ingredientes de ligação, os elastômeros naturais e sintéticos, resinas, anti-oxidantes, inibidores, *fillers*, e os vários compostos que integram esta lista.

²²KURIHARA, K. - M.Sc. Thesis, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge (1986).

Naquilo que diz respeito à corrosão, as atenções estão voltadas às reações químicas e eletroquímicas nas interfaces formadas entre os adesivos selantes e os substratos onde eles agem, localizações de suas ações e suas propriedades físico-químicas, natureza, tamanho de grãos, etc.²³

Que novos materiais de construção de equipamentos existem ?

Um dos mais recentes, introduzidos no mercado no ano passado, é um alcóxido perfluorado PFA (perfluoralkoxy), produzido pela ED-LON Prop., utilizado como material de recobrimento de reatores e tubulações, dotado de alto poder de adesão à superfície recoberta, geralmente aços comumente empregados para aquelas finalidades.

Outro material que está sendo testado e aprovado em meios corrosivos e erosivos é uma cerâmica de alto desempenho denominada Hexoloy, manufaturada pela CARBORUNDUM Co., dotando propriedades de impermeabilidade e resistência ao desgaste de tubulações de trocadores de calor.

Metais, tais como hafnium, têm encontrado, também, aplicações na grande indústria química, como barramentos de reatores resfriados à água no processamento de restos de combustíveis nucleares. Ainda, vem sendo empregado em grandes variedades de ligas dotadas de resistências mecânica e de oxidação superiores às convencionais. O titânio, dadas suas qualidades de leveza, resistência mecânica e excelente performance em determinados ambientes corrosivos, vem sendo crescentemente empregado em meios aquosos salinos.

O zircônio vem encontrando grande emprego em indústrias químicas onde ambientes ácidos (clorídrico e sulfúrico) estão envolvidos. As ligas de zircônio resistem aos fenômenos de corrosão localizada, *pitting*. Isto é devido à formação natural de um filme denso e estável de óxido sobre a superfície metálica.

²³O' DRISCOLL, M. - Minerals in adhesives and sealants, Solving a Sticky Problem; Industrial Minerals, Feb, (1988)

O tântalo, possuindo taxa negligenciável de corrosão, até o ponto de ebulição da maioria dos ácidos, vem sendo empregado na proteção dos equipamentos usados na indústria química, substituindo os recobrimentos de vidro.

Pode-se finalizar esta exposição de fatos observando que o mundo relacionado aos materiais está sofrendo um desenvolvimento competitivo intenso, resultando numa disponibilidade de escolha jamais anteriormente alcançada, abrindo oportunidades de uso, em várias circunstâncias, e sofrendo ações de variáveis físico-químicas cujas combinações entre elas têm-se tornado mais complexas.

Isto faz com que o estudioso das propriedades físicas, químicas e físico-químicas, o estudioso das aplicações destas propriedades, o cientista e o engenheiro, encontre um vastíssimo campo de exercício dos seus misteres, ampliando, em muito, suas atividades profissionais.

NÚMEROS PUBLICADOS NA SÉRIE TECNOLOGIA MINERAL

- 01 - Flotação de carvão estudos em escala de bancada; - Antonio R. de Campos, Salvador L. M. de Almeida e Amílcar T. dos Santos, 1979. (esgotado)
- 02 - Beneficiamento de talco estudos em escala de bancada; - Nelson Takessi Shimabukuro, Carlos Adolpho Magalhães Baltar e Francisco Wilson Hollanda Vidal, 1979. (esgotado)
- 03 - Beneficiamento de talco estudos em usina piloto; - Nelson Takessi Shimabukuro, Carlos Adolpho Magalhães Baltar e Francisco Wilson Hollanda Vidal, 1979. (esgotado)
- 04 - Flotação de cianita da localidade de Boa Esperança (MG) - Ivan O. de Carvalho Masson e Tulio Herman Araya Luco, 1979.
- 05 - Beneficiamento de diatomita do Ceará - José A. C. Sobrinho e Adão B. da Luz, 1979. (esgotado)
- 06 - Eletrorrecuperação de zinco uma revisão das variáveis influentes - Roberto C. Villas Bôas, 1979. (esgotado)
- 07 - Redução da gipsita com carvão vegetal; - Ivan O. de Carvalho Masson, 1980. (esgotado)
- 08 - Beneficiamento do diatomito de Canavieira do Estado do Ceará - Franz Xaver Horn Filho e Marcello Mariz da Veiga, 1980. (esgotado)
- 09 - Moagem autógena de Itabirito em escala piloto - Hedda Vargas Figueira e João Alves Sampaio, 1980. (esgotado)
- 10 - Flotação de minério oxidado de zinco de baixo teor - Carlos Adolpho M. Baltar e Roberto C. Villas Bôas, 1980. (esgotado)
- 11 - Estudo dos efeitos de corrente de pulso sobre o eletrorrefino de prata - Luiz Gonzaga Santos Sobral, Ronaldo Luiz Correia dos Santos e Delfin da Costa Laureano, 1980. (esgotado)
- 12 - Lixiviação bacteriana do sulfeto de cobre de baixo teor Caraíba - Vicente Paulo de Souza, 1980. (esgotado)
- 13 - Flotação de minérios oxidados de zinco uma revisão de literatura - Carlos Adolpho Magalhães Baltar, 1980. (esgotado)
- 14 - Efeito de alguns parâmetros operacionais no eletrorrefino do ouro - Marcus Granato e Roberto C. Villas Bôas, 1980. (esgotado)
- 15 - Flotação de carvão de Santa Catarina em escala de bancada e piloto - Antonio Rodrigues de Campos e Salvador L. Matos de Almeida, 1981. (esgotado)
- 16 - Aglomeração seletiva de finos de carvão de Santa Catarina estudos preliminares - Lauro Santos N. da Costa, 1981.

- 17 - Briquetagem e a sua importância para a indústria (em revisão) - Walter Shinzel e Regina Célia M. da Silva, 1981. (esgotado)
- 18 - Aplicação de petrografia no beneficiamento de carvão por flotação - Ney Hamilton Porphirio, 1981.
- 19 - Recuperação do cobre do minério oxidado de Caraíba por extração por solventes em escala semipiloto - Ivan O. C. Masson e Paulo Sérgio M. Soares, 1981. (esgotado)
- 20 - Dynawhirpool (DWP) e sua aplicação na indústria mineral - Hedda Vargas Figueira e José Aury de Aquino, 1981. (esgotado)
- 21 - Flotação de rejeitos finos de scheelita em planta piloto - José Farias de Oliveira, Ronaldo Moreira Horta e João Alves Sampaio, 1982. (esgotado)
- 22 - Coque de turfa e suas aplicações - Regina Célia Monteiro da Silva e Walter Schinzel, 1982.
- 23 - Refino eletrolítico de ouro, processo Wohlwill - Juliano Peres Barbosa e Roberto C. Villas Bôas, 1982. (esgotado)
- 24 - Flotação de oxidatos de zinco estudos em escala piloto - Adão Benvindo da Luz e Carlos Adolpho M. Baltar, 1982.
- 25 - Dosagem de ouro - Luiz Gonzaga S. Sobral e Marcus Granato, 1983.
- 26 - Beneficiamento e extração de ouro e prata de minério sulfetado - Márcio Torres M. Penna e Marcus Granato, 1983.
- 27 - Extração por solventes de cobre do minério oxidado de Caraíba - Paulo Sérgio Moreira Soares e Ivan O. de Carvalho Masson, 1983.
- 28 - Preparo eletrolítico de solução de ouro - Marcus Granato, Luiz Gonzaga S. Sobral, Ronaldo Luiz C. Santos e Delfin da Costa Laureano, 1983.
- 29 - Recuperação de prata de fixadores fotográficos - Luiz Gonzaga Santos Sobral e Marcus Granato, 1984. (esgotado)
- 30 - Amostragem para processamento mineral - Mário Valente Possa e Adão Benvindo da Luz, 1984. (esgotado)
- 31 - Indicador de bibliotecas e centros de documentação em tecnologia mineral e geociências do Rio de Janeiro - Subcomissão Brasileira de Documentação em Geociências - SBDG, 1984.
- 32 - Alternativa para o beneficiamento do minério de manganês de Urucum, Corumbá-MS - Lúcia Maria Cabral de Góes e Silva e Lélío Fellows Filho, 1984.
- 33 - Lixiviação bacteriana de cobre de baixo teor em escala de bancada - Teresinha Rodrigues de Andrade e Francisca Pessoa de França, 1984.
- 34 - Beneficiamento do calcário da região de Cantagalo - RJ. - Vanilda Rocha Barros, Hedda Vargas Figueira e Rupen Adamian, 1984.
- 35 - Aplicação da simulação de hidrociclones em circuitos de moagem - José Ignácio de Andrade Gomes e Regina C. C. Carriso, 1985.
- 36 - Estudo de um método simplificado para determinação do "Índice de Trabalho" e sua aplicação à remoagem - Hedda Vargas Figueira, Luiz Antonio Pretti e Luiz Roberto Moura Valle, 1985.
- 37 - Metalurgia extrativa do ouro - Marcus Granato, 1986.
- 38 - Estudos de flotação do minério oxidado de zinco de Minas Gerais - Francisco Wilson Hollanda Vidal, Carlos Adolfo Magalhães Baltar, José Ignácio de Andrade Gomes, Leonardo Apparício da Silva, Hedda Vargas Figueira, Adão Benvindo da Luz e Roberto C. Villas Bôas, 1987.
- 39 - Lista de termos para indexação em tecnologia mineral - Vera Lucia Vianna de Carvalho, 1987.
- 40 - Distribuição de germânio em frações densimétricas de carvões - Luiz Fernando de Carvalho e Valéria Conde Alves Moraes, 1986.
- 41 - Aspectos do beneficiamento de ouro aluvionar - Fernando Antonio Freitas Lins e Leonardo Apparício da Silva, 1987.
- 42 - Estudos tecnológicos para aproveitamento da atapulgita de Guadalupe-PI - Adão Benvindo da Luz, Salvador Luiz M. de Almeida e Luciano Tadeu Silva Ramos, 1988.
- 43 - Tratamento de efluentes de carvão através de espessador de lamelas - Francisco Wilson Hollanda Vidal e Franz Xaver Horn Filho, 1988.
- 44 - Recuperação do ouro por amalgamação e cianetação: problemas ambientais e possíveis alternativas - Vicente Paulo de Souza e Fernando Antonio Freitas Lins, 1989.
- 45 - Geopolítica dos novos materiais - Roberto C. Villas Bôas, 1989. (esgotado)
- 46 - Beneficiamento de calcário para as indústrias de tintas e plásticos - Vanilda da Rocha Barros e Antonio Rodrigues de Campos, 1990.
- 47 - Influência de algumas variáveis físicas na flotação de partículas de ouro - Fernando Antonio Freitas Lins e Rupen Adamian, 1991.
- 48 - Caracterização tecnológica de caulim para a indústria de papel - Rosa Malena Fernandes Lima e Adão Benvindo da Luz, 1991.
- 49 - Amostragem de Minérios - Maria Alice Cabral Goes, Mario Valente Possa e Adão Benvindo da Luz, 1991.
- 50 - Design of Experiments in Planning Metallurgical Tests - Roberto C. Villas Bôas, 1991.
- 51 - Eletrorecuperação de ouro a partir de soluções diluídas de seu cianeto - Roberto C. Villas Bôas, 1991.
- 52 - Talco do Paraná - Flotação em usina piloto - Salvador Luiz M. de Almeida, Adão Benvindo da Luz e Ivan Falcão Pontes, 1991.

