



**Isabel Rute Filipe
Cerveira Nunes
Fontinha**

**Revestimentos nanoestruturados para protecção de
liga de alumínio**



**Isabel Rute Filipe
Cerveira Nunes
Fontinha**

**Revestimentos nanoestruturados para protecção de
liga de alumínio**

Dissertação elaborada no Laboratório Nacional de Engenharia Civil e apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Doutor em Ciência e Engenharia de Materiais, realizada sob a orientação científica do Doutor Mário G. S. Ferreira, Professor Catedrático do Departamento de Engenharia Cerâmica e do Vidro da Universidade de Aveiro, e da Engenheira Maria Manuela S. R. L. Salta, Investigadora Coordenadora do Laboratório Nacional de Engenharia Civil, no âmbito do Convénio de Cooperação entre a UA e o LNEC.

Dedico este trabalho aos meus pais pelo incondicional e incansável apoio. Ao meu marido e aos meus filhos pelo incentivo que me deram para a sua concretização.

o júri

presidente

Prof. Doutor Manuel António Cotão de Assunção
Reitor da Universidade de Aveiro

Prof. Doutor Christopher Michael Ashton Brett
Professor Catedrático da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra

Prof. Doutor Mário Guerreira Silva Ferreira
Professor Catedrático da Universidade de Aveiro (orientador)

Eng.^a Maria Manuela Ribeiro de lemos Salta
Investigadora Coordenadora do Laboratório Nacional de Engenharia Civil (coorientadora)

Prof. Doutor João Carlos Salvador Santos Fernandes
Professor Auxiliar do Instituto Superior Técnico da Universidade Técnica de Lisboa

Doutor Mikhail Larionovich Zheludkevich
Investigador Auxiliar da Universidade de Aveiro

agradecimentos

Ao apresentar este trabalho de tese, gostaria de agradecer a todas as pessoas das instituições envolvidas, que de uma forma ou de outra, contribuíram para que a sua realização fosse possível.

O meu primeiro agradecimento vai para os meus orientadores, a Engenheira Manuela Salta do LNEC e o Professor Doutor Mário Ferreira da UA, pela oportunidade de desenvolver trabalho de investigação numa área tão aliciante e actual, pelo incentivo e orientação concedidos na sua realização, e pelo precioso tempo despendido com a leitura e análise deste documento, de que resultaram valiosas sugestões para sua elaboração.

Adicionalmente, desejo expressar a minha gratidão à Engenheira Manuela Salta, chefe do Núcleo de Materiais Metálicos (LNEC), pelo tempo e meios disponibilizados para a realização deste trabalho. E ao Professor Doutor Mário Ferreira, que estendo à UA, por me acolher como aluna de doutoramento e pelo contacto com outros investigadores e acesso a instalações da UA, que apesar de breves, foram importantes para ultrapassar algumas dificuldades práticas e enriquecer o desenvolvimento experimental da tese.

Uma palavra de agradecimento em especial ao Doutor Mikhail Zheludkevich do CICECO (UA), cujas orientações foram cruciais no início deste trabalho para o estabelecimento do plano de trabalhos, e pela sua disponibilidade para discussão de resultados e sugestões de melhoria. Assim como ao Doutor Alexandre Bastos do Departamento de Engenharia Cerâmica e do Vidro (UA) pela amabilidade com que me recebeu e se disponibilizou a realizar defeitos nos meus revestimentos, e pela valiosa troca de impressões.

Ao pessoal do Núcleo de Materiais Metálicos (LNEC), no qual me insiro, agradeço o apoio na preparação de amostras e na realização de diversas técnicas experimentais aos Técnicos Superiores Ana Paula Menezes, (microscopia electrónica de varrimento, óptica e análises térmicas sob fluxo de argon), Ana Paula Melo (microscopia de força atómica) e Nuno Garcia (ensaio de corrosão em nevoeiro salino). Ao pessoal do Núcleo de Materiais Orgânicos (LNEC), agradeço a valiosa colaboração da Engenheira Susana Fonseca na realização das análises térmicas por calorimetria e termogravimetria sob fluxo de ar, a assistência proporcionada pela Engenheira Helena Silva na técnica de espectroscopia de infra-vermelho e o apoio concedido pelo Técnico Superior António Pais Fernandes e pela Valentina Andrade na realização dos ensaios dos revestimentos lacados (aderência e corrosão filiforme). À Engenheira Maria Paula Rodrigues, chefe do Núcleo de Materiais Orgânicos, um reconhecido obrigado pela disponibilização dos meios técnicos e humanos afectos ao seu núcleo.

Finalmente, o meu profundo agradecimento aos meus pais e ao meu marido Rui, pelo apoio e compreensão, que me possibilitaram a dedicação necessária para o desenvolvimento deste trabalho.

palavras-chave

Revestimentos híbridos nanoestruturados, sol-gel, liga de alumínio, corrosão, impedância electroquímica, materiais de construção.

resumo

Os revestimentos híbridos nanoestruturados apresentam um elevado potencial no âmbito da protecção anticorrosiva dos metais, prevendo-se que no futuro estes revestimentos possam, não só substituir os tratamentos à base de crómio usados na indústria do tratamento de superfícies metálicas para protecção anticorrosiva, como também evoluir para sistemas integrados multifuncionais que dispensem o pré-tratamento e sejam mais “amigos” do ambiente.

O processo sol-gel usado para a obtenção destes revestimentos permite, através da combinação de diferentes precursores e da manipulação das condições de síntese “desenhar” e otimizar a estrutura química e a funcionalidade dos revestimentos nanoestruturados com o objectivo de obter as propriedades desejadas para uma determinada aplicação.

O estudo apresentado no presente trabalho teve como objectivo principal a optimização de revestimentos híbridos nanoestruturados obtidos pelo processo sol-gel para a protecção anticorrosiva de uma liga de alumínio frequentemente utilizada na construção civil. Para alcançar este objectivo foram preparados diversos revestimentos híbridos nanoestruturados e aplicados na liga de alumínio EN AW-6063, cujo processo de síntese foi optimizado variando parâmetros como a composição, processo de cura e condições reaccionais sol-gel, visando a obtenção de revestimentos com propriedades anticorrosivas melhoradas. Posteriormente, foi feita uma avaliação do comportamento à corrosão dos revestimentos optimizados em diferentes condições corrosivas, individualmente e como parte integrante de um sistema de protecção anticorrosiva usualmente aplicado em ligas de alumínio para fins arquitecturais.

No presente documento é apresentada uma revisão bibliográfica da aplicação deste tipo de revestimentos na protecção anticorrosiva, seguindo-se a descrição detalhada dos procedimentos experimentais do estudo, nomeadamente, os materiais e os procedimentos para obtenção e caracterização dos revestimentos estudados, a apresentação dos resultados obtidos no decurso do desenvolvimento experimental realizado, sua interpretação, discussão e as conclusões parciais mais relevantes.

No final, resumem-se as principais conclusões obtidas no estudo e faz-se uma avaliação global da aplicabilidade dos revestimentos optimizados na protecção anticorrosiva de ligas de alumínio no âmbito da construção civil, e indicam-se necessidades de desenvolvimentos futuros.

keywords

Nanostructured hybrid coatings, sol-gel, aluminium alloy, corrosion, electrochemical impedance, construction materials.

abstract

Nanostructured hybrid coatings exhibit a high potential for corrosion protection of metals. These coatings being expected, in the future, not only to act as a substitute for chromate-metal surface anticorrosive pre-treatments, but also to integrate multifunctional systems that dispense pre-treatments, hence being even more environmentally friendly.

The sol-gel process used to obtain these coatings makes it possible, through combination of different precursors and synthesis parameters, to design and optimize the chemical structure and functionality of coatings, with a view to achieve the appropriate properties required by the desired application.

The main purpose of this study was to optimize the synthesis of nanostructured hybrid sol-gel coatings for anticorrosive protection of an aluminium alloy frequently used in the construction field. To fulfil that purpose, different hybrid sol-gel coatings were synthesized and applied to the aluminium alloy EN AW-6063, of which the synthesis process was optimized in relation to composition, curing method and reaction conditions, aiming to achieve coatings with increased anticorrosive properties. Afterwards, the corrosion behaviour of the optimized hybrid coatings was evaluated by exposing them to different corrosive conditions, either individually or integrated in an anticorrosive system usually applied in aluminium finishing for architecture.

The present document includes a bibliographic review concerning the application of this type of coatings in corrosion protection, as well as a detailed description of experimental procedures, concerning materials, coating preparation and characterization methods, followed by the presentation of experimental results, respective discussion and relevant partial conclusions.

Finally, the main conclusions are summarized and the applicability of optimized hybrid coatings to aluminium corrosion protection in the construction field is evaluated and, as a result, some future research needs are also indicated.

