

Proyecto de Investigación presentado a la Fundación Domingo Martínez

CONVOCATORIA 2008

**Modificación de superficies mediante irradiación láser en atmósferas neutras y reactivas**

Director del trabajo: Dr. Xermán Francisco de la Fuente Leis

Institución: ICMA (CSIC-Universidad de Zaragoza)

Otros Participantes:

Dr. Angel Vegas Molina (CSIC-Instituto de Química Física Rocasolano, Madrid)

Dra. Clarisa López Gascón (ITA, Zaragoza)

Dra. Ruth Lahoz Espinosa (ICMA)

Dr. Vassili Lennikov (ICMA)

## Resumen

En el presente proyecto se propone aprovechar la experiencia existente en el Laboratorio de Procesado Láser del ICMA, en la irradiación de superficies de materiales con láseres de diversas características de emisión, así como el conocimiento y los conceptos cristalocímicos desarrollados por el Dr. Angel Vegas, ampliamente demostrados en la literatura de la especialidad. En conjunto, el objetivo principal del proyecto es el de aplicar una nueva visión de la cristalocímica para diseñar “a la carta” recubrimientos que se integren a nivel atómico y modifiquen la reactividad y estabilidad química de las superficies seleccionadas.

El plan de trabajo propuesto integra el diseño cristalocímico como pilar básico del proyecto, sobre el cuál se basarán los recubrimientos realizados sobre superficies de acero, aluminio y otros metales o aleaciones, comúnmente utilizadas en ambientes exteriores, donde se encuentran expuestas a entornos muy agresivos (corrosión y erosión, especialmente).

## INTRODUCCIÓN. ESTADO DEL ARTE.

En muchas edificaciones y estructuras se utilizan, hoy en día y cada vez más, metales y aleaciones metálicas debidamente condicionadas en la superficie. Los acabados superficiales en estos materiales son necesarios para imprimir una atractiva estética, ya que se utilizan como recubrimientos caravista, así como para aumentar su resistencia al desgaste (erosión) y a la corrosión. Los materiales basados en aluminio, por ejemplo, son muy propensos al desgaste debido a la acción de partículas abrasivas presentes en la atmósfera. Por esta razón, los tratamientos de anodizado han demostrado eficacia y un gran éxito comercial, tanto por incrementar sustancialmente su resistencia química y a la abrasión, cómo por disminuir la transmisión de calor a través del material, mejorando así la estética y la eficacia energética en edificaciones donde se utilizan estos materiales. Por otra parte, los aceros caravista son mucho más resistentes a la abrasión, pero también exhiben desventajas frente a los de Al, especialmente, aunque no exclusivamente, respecto a su peso y resistencia a la corrosión.

Los tratamientos láser de aceros y aluminio más desarrollados se basan en la utilización de técnicas de plaqueado, donde se utilizan láseres de elevada potencia (kW) y, generalmente en modo continuo de emisión(cw), con objeto de realizar tratamientos de fusión y resolidificación de las capas protectoras depositadas sobre el sustrato. En principio, la literatura es muy extensa tanto en métodos de aporte de material como en parámetros, tipos de láser (diodos, CO<sub>2</sub> y Nd:YAG, principalmente) y sustratos utilizados.

El presente proyecto pretende enfocar la mejora de las superficies de materiales de acero y aluminio basándose en el diseño cristalquímico de nuevas capas protectoras y en la utilización de láseres de barrido pulsantes y de baja potencia, ya habituales en diversos sectores de la industria, compactos, económicamente atractivos y fácilmente integrables en línea de fabricación.

## Bibliografía.

### Metales y aleaciones:

1. R. Berger, U. Bexell, T. M. Grehk, S. E. Hörnström, *Surf. Coat. Technol.* 202 (2007) 391-397.
2. A. Aballe, M. Bethencourt, F. J. Botana y otros, *Corrosion Science* 46 (2004) 1909-1920.

### Conceptos cristaloquímicos:

3. A. Vegas, V. García-Baonza, *Acta Cryst. B* 63 (2007) 339-345.
4. D. Santamaría-Perez, A. Vegas, F. Liebau, *Structure & Bonding* 118 (2005) 121-177.

### Modificación superficial con láser de alta potencia:

5. C.T. Kwok, F. T. Cheng, H. C. Man, *Surf. Coat. Technol.* 202 (2007) 336-348.

### Modificación superficial con láser pulsante:

6. T. M. Shao, M. Hua, H. Y. Tam, E. H. M. Cheung, *Surf. Coat. Technol.* 197 (2005) 77-84.
7. A. Viswanathan, D. Sastikumar, P. Rajarajan, H. Kumar, A. K. Nath, *Optics & Laser Technol.* 39 (2007) 1504-1513.
8. Y. Van Ingelgem, I. Vandendael, D. Van den Broek, A. Hubin, J. Vereecken, *Electrochimica Acta* 52 (2007) 7796-7801.

## OBJETIVOS Y PLAN DE TRABAJO.

Los objetivos esenciales del presente proyecto son:

1. Desarrollar nuevas herramientas cristaloquímicas para el diseño de recubrimientos.
2. Utilizar las herramientas cristaloquímicas desarrolladas para diseñar recubrimientos sobre materiales metálicos y aleaciones utilizadas en edificaciones como elementos de uso exterior.
3. Desarrollar técnicas de modificación superficial láser, basadas en (2) para comprobar y obtener los recubrimientos diseñados, caracterizar su microestructura, correlacionar con sus propiedades químico-físicas y con su comportamiento frente a la corrosión y el desgaste.

## PLAN DE TRABAJO.

En los siguientes apartados se resume el plan de trabajo propuesto para conseguir los objetivos planteados en el proyecto.

Las herramientas cristaloquímicas correspondientes han sido desarrolladas por el Dr. Angel Vegas (ver CV), y se encuentran publicadas en las revistas de mayor prestigio de la especialidad. Destacan, entre otras, las extensas revisiones publicadas en *Structure and Bonding* y en *Acta Cryst. B*. Éstas forman la base de la primera tarea del plan de trabajo. El responsable de la misma es el Dr. Angel Vegas.

Las propiedades de los materiales objeto de estudio, así como los trabajos de modificación superficial publicados en la literatura, se revisarán para planificar detalladamente las condiciones de experimentación propuesta con los sistemas láser de emisión pulsada existentes en el ICMA. El responsable de esta tarea será el Dr. Xermán de la Fuente.

El Laboratorio de Procesado por Láser (ICMA) ha desarrollado nuevos métodos de modificación superficial y recubrimientos vía láser, en modo pulsante y en los materiales seleccionados, durante la última década, llegando incluso a realizar y publicar los primeros resultados obtenidos en trabajos combinados láser-XPS "in-situ". En éstos se describen los procesos que induce la radiación láser en Ti bajo atmósferas muy diversas. Por otra parte, los resultados de un buen número de trabajos de ablación láser de Al, Ti, aceros, latón, cobre, así como de otros metales, se encuentran reflejados en memorias de proyectos fin de carrera o de tesis doctorales, y han conformado la base de proyectos de I+D con empresas de sectores afines al metal. En base a toda la experiencia adquirida y a los resultados publicados en la literatura, se definirán matrices

de parámetros láser (emisión y movimiento o barrido de haz) para optimizar los tiempos de tratamiento y obtener una carta de acabados que sirva como referencia fundamental para el desarrollo de tareas posteriores. La responsable de esta tarea será la Dra. Ruth Lahoz.

Los resultados de la tarea anterior permitirán elegir un sistema láser-material para estudiar a fondo y optimizar experimentalmente durante el resto del proyecto. La responsable de esta tarea será la Dra. Clarisa López.

Los estudios de caracterización son esenciales para ambas tareas. Se hará uso de técnicas de rutina, como las de microscopía óptica, confocal, electrónica de barrido y difracción de rayos-x. Se realizarán estudios de desgaste (pin-on-disk), de microdureza (Vickers) y de corrosión por diversas técnicas existentes en el ITA (incluyendo comportamiento en cámara salina). El responsable de esta tarea será el Dr. Vassili Lennikov.

Finalmente, todos los resultados obtenidos, así como los métodos y técnicas desarrolladas, se recogerán en un documento-resumen de resultados y conclusiones, basado en discusiones de todo el equipo del proyecto y cuya responsabilidad de elaboración recaerá en el Dr. Xermán de la Fuente.

La tabla que se incluye a continuación contiene un resumen de las tareas propuestas para la realización del proyecto, así como una breve descripción de las mismas.

Tabla I. Resumen de tareas propuestas para el plan de trabajo del proyecto.

| Tarea (No.) | Descripción   | Responsable                             | Duración (meses) |
|-------------|---|---|------------------|
| 1           | Herramientas cristaloquímicas para el desarrollo integral de recubrimientos                                     | Dr. Angel Vegas                         | 1 - 3            |
| 2           | Revisión de propiedades y resultados obtenidos en modificación superficial en la literatura                     | Dr. Germán de la Fuente                 | 1 - 3            |
| 3           | Revisión de resultados obtenidos en el LPL y realización de matriz de pruebas con los sistemas láser propuestos | Dra. Ruth Lahoz                         | 2-7              |
| 4           | Optimización de la técnica en un sistema elegido  | Dra. Clarisa López                      | 6-11             |
| 5           | Estudios de Caracterización cristaloquímica, fisico-química y mecánica  | Dr. Vassili Lennikov<br>Dr. Ángel Vegas | 2 - 11           |
| 6           | Redacción de informes. Resumen de resultados y conclusiones relevantes.   | Dr. Germán de la Fuente                 | 5-6, 11-12       |

## HITOS Y CRONOGRAMA DE TAREAS.

En la tabla II se resumen en forma tabular, las tareas de forma cronológica durante la duración del proyecto. Se indican también los hitos propuestos y entregables.

Tabla II. Cronograma de tareas e hitos propuestos.

| Mes--> | 1 | 2 | 3  | 4 | 5 | 6  | 7  | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|--------|---|---|----|---|---|----|----|---|---|----|----|----|
| Tarea  |   |   |    |   |   |    |    |   |   |    |    |    |
| 1      | ■ | ■ | H1 |   |   |    |    |   |   |    |    |    |
| 2      | ■ | ■ | H2 |   |   |    |    |   |   |    |    |    |
| 3      |   | ■ | ■  | ■ | ■ | ■  | H4 |   |   |    |    |    |
| 4      |   |   |    |   |   | ■  | ■  | ■ | ■ | ■  | H5 |    |
| 5      |   | ■ | ■  | ■ | ■ | ■  | ■  | ■ | ■ | ■  | H6 |    |
| 6      |   |   |    |   | ■ | H3 |    |   |   |    | ■  | H7 |

### Hitos propuestos:

H1. Definición de estrategia basada en la cristalografía para definir recubrimientos.

H2. Selección de materiales.

H3. Informe del primer semestre.

H4. Definición de carta de acabados superficiales.

H5. Presentación de materiales con recubrimientos óptimos.

H6. Características de material seleccionado con recubrimiento óptimo.

H7. Informe final.

## DIFUSIÓN DE RESULTADOS Y ENTREGABLES.

Los resultados obtenidos en el proyecto se publicarán en revistas internacionales de reconocido prestigio en el ámbito de los materiales, así como en Congresos y reuniones nacionales e internacionales especializadas y generales.

Los entregables incluyen básicamente los dos informes recogidos en la tabla cronológica como hitos H3 (primer semestre) y H7 (final de proyecto).

## CURRICULA DE LOS PARTICIPANTES

En documentos adjuntos se encuentran los currícula del personal participante en el proyecto. A continuación se enumeran los participantes, con sus datos y su participación en las diversas tareas del proyecto.

| Investigador            | DNI       | Afiliación                           | Especialidad   | Responsable<br>Tareas | Participación<br>Tareas |
|-------------------------|-----------|--------------------------------------|--|-----------------------|-------------------------|
| Dr. Xermán de la Fuente | 33294170Z | ICMA<br>(CSIC-<br>Univ.<br>Zaragoza) | Química de<br>Estado Sólido<br>Láser                             | 2, 6                  | 1-3, 5                  |
| Dr. Angel Vegas         | 03764309Z | IQFR<br>(CSIC)                       | Cristaloquímica<br>Química de<br>Estado Sólido                   | 1                     | 1-2, 5                  |
| Dra. Clarisa López      | 25445265C | ITA                                  | Ingeniería<br>Industrial<br>Tecnología<br>Láser                  | 3                     | 2-5                     |
| Dra. Ruth Lahoz         | 25465706Z | ICMA<br>(CSIC-<br>Univ.<br>Zaragoza) | Ingeniería de<br>Materiales<br>Ablación láser                    | 4                     | 2-5                     |
| Dr. Vassili Lennikov    | X2383783V | ICMA<br>(CSIC-<br>Univ.<br>Zaragoza) | Química de<br>Estado Sólido<br>Procesos Láser<br>Caracterización | 5                     | 2-5                     |