

CITEFA

DEPARTAMENTO CIENCIA Y TÉCNICA DE MATERIALES (DEIMAT)

El departamento comienza a funcionar en abril de 1993. Sus objetivos primarios son servir de apoyo a los Proyectos y Desarrollos de todos los sectores de CITEFA, en las áreas de Tecnología militar y dual, además de realizar Proyectos de Investigación Aplicada, incluyendo el diseño de nuevos materiales.

Actualmente está dirigido por el Dr. Ing. Eduardo S. Ayllón (eayllon@citefa.gov.ar).

1. PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO

Cerámicos estructurales y refractarios

Los estudios en cerámicos estructurales se hicieron en colaboración con el Departamento de Propulsión (CITEFA). Inicialmente se desarrolló la fabricación de piezas de alúmina de alta densidad, estudiándose su respuesta mecánica y térmica por distintos métodos, lo que derivó en tres Tesis de Licenciatura en Física que fueron presentadas y aprobadas en la FCEyN, Uni-versidad de Buenos Aires: "Choque Térmico en Materiales Cerámicos", Cristina E. Corbellani, 1996; "Aplicación de la técnica de microdureza al estudio de propiedades mecánicas de materiales", Andrea Ansaldi, 1996; "Diseño de experimentos aplicado a procesos de manufac-tura de materiales cerámicos", Adrián Graus, 1997.

En forma paralela se desarrolló bajo la dirección del Dr. Raúl Topolevsky, un blindaje balísti-co mixto de cerámica y polímeros, utilizando losetas de alúmina optimizadas.

También se hicieron estudios en cerámicos refractarios, en colaboración con el SEGEMAR-INTEMIN. En particular se estudiaron los mecanismos de degradación en refractarios de MgO-C cuando son sometidos a la acción de escorias a altas temperaturas.

Empleo y desarrollo de Fundiciones Austemperadas (ADI)

Las ADI -Austempered Ductil Iron, son fundiciones esferoidales de calidad tratadas térmica-mente. Presentan alta resistencia mecánica con elevada tenacidad manteniendo la economía y facilidad de producción de las fundiciones de hierro, reemplazando al acero fundido o forjado. En este proyecto se propuso el reemplazo del acero de medio carbono forjado en munición de artillería calibre 105 mm y 155 mm (Fig. 1).

Se modelizaron los proyectiles propuestos en este material a través de un programa de elementos finitos (FEA), determinándose la distribu-ción e intensidad de las tensiones mecánicas producidas por la presión interior de la boca de fuego, en condiciones dinámicas de disparo, para utilizar la ADI más apropiada. Se trabajó en colaboración con industrias argentinas, para analizar la factibilidad del diseño desde el punto de vista del moldeo y colado, concretándose la realización de una serie de proyectiles de 105 mm. Éstos fueron sometidos a controles no destruc-tivos (rayos X y ultrasonido) y destructivos, realizando análisis quími-cos, metalografías, análisis por microscopía óptica y electrónica, ensayos mecánicos y fractomecánicos. Los proyectiles aprobados fueron



Fig. 1 Prototipos de proyectiles



finalmente sometidos a la prueba definitiva, el tiro en condiciones de campo, en el polígono de tiro de Magdalena (RC Tan 8) dirigido por el My. Ing. Roberto Corti y su equipo de experiencias. Se llegó a presiones de recámara de 3000 kgf/cm^2 obteniéndose las velocidades y condiciones de estabilidad de vuelo requeridas.

También, con el subsidio de la SeCyT, se llevó a cabo el proyecto "Propiedades Mecánicas de Fundiciones ADI a Temperaturas Sub-Cero", donde se estudió el comportamiento de estos materiales colados a bajas temperaturas. Se realizaron tres publicaciones internacionales y dos tesis, una de Maestría en Ciencia y Tecnología de Materiales, Instituto Jorge Sábató, UNSAM-CNEA del Lic. Víctor Fierro: "Propiedades Fractomecánicas a Bajas Temperaturas de ADI (Austempered Ductil Iron)"; y otra de Licenciatura en Ciencias Físicas, FCEyN, UBA, de Pa-blo Ratto: "Influencia de la Temperatura en el Comportamiento al Impacto de Fundiciones Esferoidales".

Materiales con Memoria de Forma

Las aleaciones con memoria de forma (SMA: shape memory alloys) han despertado interés desde el punto de vista tanto científico como tecnológico, especialmente por presentar un comportamiento termomecánico diferente al resto de los metales. Estas aleaciones presentan, en un cierto rango de composición, una transformación martensítica que es la responsable de estos efectos de memoria de forma, doble memoria, pseudoelástico y efecto "goma".

Aleaciones base cobre: El grupo realiza estudios en CuAlNi monocristalino, con vista a aplicaciones, y en colaboración con la División Metales del Centro Atómico Bariloche (CAB), referidos a respuesta al ciclado mecánico, respuesta al ciclado térmico y degradación isotérmica, lo cual dio origen a publicaciones nacionales e internacionales. Sobre estos temas se están realizando tesis de Doctorado.: en Cs. Físicas, FCEyN-UBA, de la Lic. Rosana Gastien, "Ciclado pseudoelástico en monocristales de Cu-Al-Ni con memoria de forma, generación de defectos y su relación con las fases metaestables presentes"; y en Ciencia y Tecnología de Materiales, de la Lic. Cristina E. Corbellani, "Degradación isotérmica de CuAlNi con memoria de forma".

Se realizan estudios sistemáticos y completos sobre los cambios microestructurales y evolución mecánica durante el ciclado pseudoelástico en CuAlNi monocristalino. Se observó un efecto no reportado anteriormente en la literatura^{1,2}: a temperaturas donde originalmente es posible inducir por tensión dos fases martensíticas, el ciclado pseudoelástico inhibe la formación de una de ellas. Esto fue analizado en términos de la estabilidad relativa de las fases involucradas y de la interacción entre dislocaciones generadas por ciclado y maclas de la estructura 2H (mediante microscopía electrónica de transmisión). Se profundizó el análisis de este fenómeno teniendo en cuenta la termodinámica involucrada, mediante mediciones de calorimetría diferencial de barrido (DSC). Este análisis se complementa con el efecto del ciclado térmico en composiciones donde espontáneamente se inducen ambas martensitas. Por otro lado, el grupo comenzó estudios sobre la degradación isotérmica de estas aleaciones, sometiéndolas a tratamientos térmicos a temperaturas moderadas (menos de 500°C),

durante distintos períodos. La fase de alta temperatura se des-compone mediante la precipitación de fases más estables, degradándose progresivamente las propiedades de memoria de forma de la aleación. El grupo ha comenzado este tipo de estudios como complemento de predicción de vida útil de un componente fabricado con estas aleaciones.

Aplicaciones desarrolladas: Se desarrolló un dispositivo de tracción (Fig. 2) accionado por material con memoria de forma de CuAlNi monocristalino, para la realización de ensayos in situ en el Microscopio ESEM. Nota Técnica N°864, CITEFA (2004).

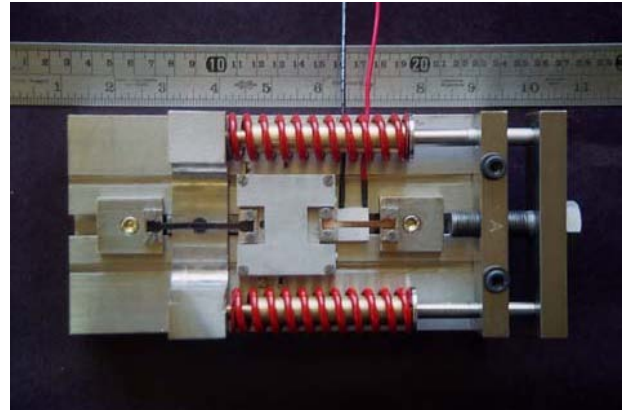


Fig. 2 – Dispositivo de tracción.

Aleaciones de NiTi

Se realizaron estudios sobre sus aplicaciones en ortopedia. Se trabajó en colaboración con el CAB y el Dr. J. Groiso (Hospital Prof. Garrahan, Buenos Aires) en el desarrollo de implantes de NiTi.

¹ R. Gastien, C. Corbellani, H. Álvarez Villar, M. Sade, F. Lovey. Mat. Sci. Eng, A, vol. 349/1-2 (2003) 191-196.

² R. Gastien, C. Corbellani, M. Sade, F. Lovey. Scripta Materialia, vol. 50 (2004) 1103-1107.

Materiales Avanzados de Matriz Cementícea

Entre 1993 y 1997, el Dr. Topolevsky, entonces Jefe del Departamento, dirigió trabajos de investigación básica en materiales de base cementícea, incluyendo comportamiento a la fatiga de probetas de mortero, caracterización a la fractura de morteros, estudio de la hidratación del cemento en el ESEM, originando cuatro publicaciones en el ámbito nacional. La fractomecánica de materiales de matriz cementícea fue, en 1994, tema del trabajo post doctoral del becario Luc Federzoni: "Etude du comportement mecanique des be-tons en statique et fatigue."

En 1998, se implementó el Wedge Splitting Test, ensayo de tracción indirecta por apertura por cuña (WST), para caracterizar probetas de hormigón desde el punto de vista fractomecánico (Fig. 3).

Hormigón reforzado con fibras (HRF): Los beneficios de la adición de fibras al hormigón se manifiestan en el rango de deformaciones post pico, para registrarla se requieren ensayos fractomecánicos. En colaboración con la Facultad de Ingeniería (UNCPBA-Olavarría) y la Facultad de Ingeniería (UNLP), se realizó el estudio del comportamiento fractomecánico de HRF, hallando la energía específica de fractura G_f , como parámetro de comparación, usando el modelo de fisura ficticia. Utilizando como métodos el WST y el ensayo



Fig. 3 – Ensayo de tracción.

fractomecánico de flexión en tres puntos, se obtuvieron conclusiones sobre la influencia de las cuantías de fibras incorporadas en G_p , y la independencia de los métodos de ensayo, dando lugar a cuatro publicaciones en Congresos nacionales e internacionales y a la pasantía de la Ing. M. Godoy bajo la dirección de la Ing. Beatriz Nemi.

Aplicaciones de HRF: revestimiento de canales y túneles, refuerzo de tableros y pistas de aeropuertos, tabiques antichoque, depósito de explosivos, refuerzo de pavimentos para estacionamiento de vehículos de combate, helipuertos, embalaje para transporte de misiles.

Aplicaciones desarrolladas en DEIMAT: a solicitud de la empresa de seguridad EYSE, se diseñó un sistema de defensa pasiva de hormigón liviano con fibras de polipropileno, el cual superó los requisitos de la norma RENAR MA.02 para ser utilizado como protección frente a la amenaza de proyectiles 7,62 mm N y 5,56 mm NATO. (Homologado por el RENAR en el año 2002). Se estudió la respuesta al impacto de proyectiles de placas de hormigón liviano, variando la calidad, tipo y dosaje de fibras, espesor y configuración balística. Las ventajas de este diseño frente a mampostería u hormigón convencional son su baja densidad, comportando elementos estructurales de bajo peso, fáciles de transportar, resistencia balística a impactos múltiples, daño localizado y retención de esquirlas, además brinda mejor aislamiento térmico y se estima un mejor comportamiento frente a la acción del fuego; frente a los blindajes metálicos presenta la ventaja de su muy bajo costo. Su uso está recomendado para zonas opacas de recintos blindados: tabiques de castilletes, casetas de seguridad, muros de protección.

2. SERVICIOS PRESTADOS PARA LA INVESTIGACIÓN Y LA INDUSTRIA

Microscopía ESEM

El Microscopio Electrónico de Barrido Ambiental ElectroScan 2010 Environmental Scanning Electron Microscope – ESEM, permite estudios en diversas áreas: materiales metálicos, no metálicos, cerámicos, cementí- ceos, refractarios, compuestos, plásticos, minerales, polímeros, fósiles, muestras biológicas, odontológicas, médicas, farmacéuticas, antropológicas. Es utilizado en los proyectos y departamentos de CITEFA, además también por industrias, y otras instituciones de investigación, como: CNEA, Ledesma SAAIC, Siderca, Tecnifos SA, Titantec SRL, UNILEVER, Therabel Pharma SA, Hospital Ramos Mejía, INIFTA, INTEMA, INTI, Instituto Antártico Argentino, Instituto Leloir, Instituto Nacional de Antropología, Instituto Nacional del Agua y del Ambiente, Lab. de Control Biológico de Plagas, Laboratorio de Microbiología e Inmunología Ocular, Museo de Ciencias Naturales Bernardino Rivadavia, y Universidades Nacionales.



Fig. 4 – Microscopio Electrónico de Barrido Ambiental (ESEM).

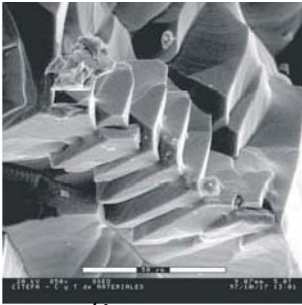


Fig. 5 – Óxido de hierro a alta temperatura, x850.

Las aplicaciones biológicas de microscopía ESEM han permitido la realización de proyectos en colaboración con la FCEN-UBA,³ FFyB-UBA³ y CEFYBO-CONICET⁴.

Características del equipo: Este tipo de microscopio se diferencia de los convencionales de barrido – SEM, en que la cámara de observación de la muestra puede trabajar a presiones de 0 a 20 Torr en pasos de 0.1 Torr. Dentro de la cámara hay vapor de agua y condiciones que permiten variaciones de presión, temperatura y humedad para observación de muestras no conductoras sin preparación previa, especialmente las del tipo

biológico. Se pueden realizar procesos in situ: corrosión, cristalización, ensayos mecánicos, etc. Posee dos tipos de detectores: GSED (Ga-seous Secondary Electron Detector) de electrones secundarios, diseñado para trabajar en atmósfera gaseosa; y el BSED (Backscattered Electron Detector) de electrones retrodispersados que permite realizar análisis morfológicos y por contraste de número atómico. El equipo posee además dos tipos de platina: una estándar y otra por efecto Peltier con rango de temperatura de $\pm 20^{\circ}\text{C}$ a partir de la temperatura ambiente.

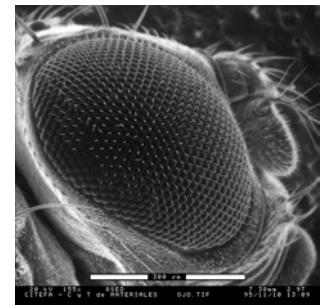


Fig. 6 – Ojo de *Drosophila Melanogaster*, x155

³ "Biomonitoreo de Agentes Químicos de Uso común en la Industria o en Terapéutica Humana" 1998-2001: FONCYT No. 13.00000.01629

⁴ "Tecnología Aplicada Al Mejoramiento De La Productividad De Prunoideas En La Zona Templado-Húmeda De Argentina" FONCYT 2003-2005.

Análisis de Falla de Componentes Mecánicos

La temática se desarrolló como una necesidad de las Fuerzas Armadas, principalmente la Fuerza Aérea, que requerían la realización de estudios que justificaran técnicamente y con bases científicas las razones del fallo de componentes estructurales y mecánicos que habían dado lugar a la ocurrencia de accidentes, tanto en el ámbito civil como militar. Se acumuló una base teórica y experimental de estudios sobre análisis de falla, también conocidos como estudios post mortem o forenses, que se concretaron en unos sesenta informes técnicos para las Fuerzas Armadas, la Junta de Investigaciones de Accidentes de Aviación Civil – JIAAC, Fuerza Aérea Argentina, empresas y particulares. Los casos abarcan fallas en transportes aéreos marítimos, terrestres, de instalaciones eléctricas, máquinas y equipos mecánicos. Esto dio origen a trabajos presentados en reuniones científicas y revistas especializadas. Se lleva adelante un convenio entre CITEFA, Universidades y la JIAAC. La experiencia y material acumulado ha dado lugar a la realización de cursos sobre Análisis de Falla dictado por profesionales e investigadores del tema.

Ensayos Mecánicos

El DEIMAT cuenta con capacidades como: sistema de ensayo universal MTS 810 y Sintech 2/DL, que permiten realizar ensayos de fatiga, tracción, compresión, flexión y mecánica de fractura en aleaciones metálicas, cerámicos, plásticos, cementos y compuestos, para determinar resistencia de materiales a la propagación de fisuras; y ensayos estáticos de tracción, compresión y flexión de materiales de baja resistencia y gran alargamiento, según normas nacionales e internacionales. En ambos sistemas pueden realizarse en cámara ambiental a temperaturas entre -40°C y 300°C . Ensayos sobre morteros poliuretánicos autonivelantes, ensayos ASTM C1018 para hormigón y morteros con fibras.



Fig. 8 – Charpy 4J Shimadzu

Se efectúan determinaciones de tenacidad-fragilidad de materiales metálicos por impacto Charpy de 300J y de 4J, en materiales cerámicos y poliméricos.

Por otra parte, se analizan microestructuras por Microdureza Vickers y Knoop de materiales cerámicos y metálicos y por Microscopía óptica

cuantitativa y determinación de contenido de inclusiones no metálicas. Todo este equipamiento ha permitido llevar a cabo investigaciones, informes y peritajes para CITEFA, empresas e industrias tales como Conarco SA, Filtros Mann SA, Grupo Techint, INTEMA, INTI, Prokrete, Repsol YPF SA, Titania, Titan-tec SRL, Unimed SA y otras.

También se han desarrollado Tesis de Licenciatura en Ciencias Físicas, Tesis de Maestría y están en curso Tesis de Doctorado en la temática de Mecánica de Fractura y ADI.



Fig. 7 – Ensayo en la máquina MTS 810

Todo este equipamiento ha permitido llevar a cabo investigaciones, informes y peritajes para CITEFA, empresas e industrias tales como Conarco SA, Filtros Mann SA, Grupo Techint, INTEMA, INTI, Prokrete, Repsol YPF SA, Titania, Titan-tec SRL, Unimed SA y otras. También se han desarrollado Tesis de Licenciatura en Ciencias Físicas, Tesis de Maestría y están en curso Tesis de Doctorado en la temática de Mecánica de Fractura y ADI.

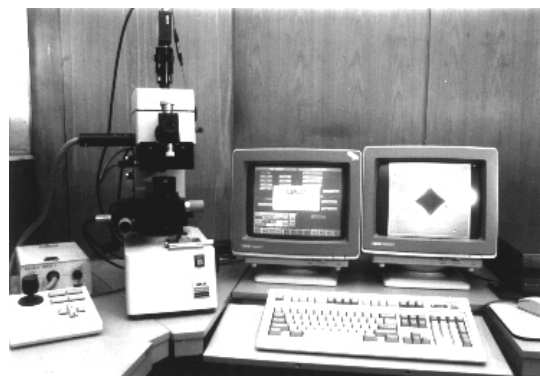


Fig. 9 – Microdurómetro LECO.

Cálculo de tensiones y deformaciones por el Método de Elementos Finitos

Cálculo de tensiones y deformaciones en elementos estructurales por el Método de Elementos Finitos en régimen lineal o no-lineal. Aplicación a la seguridad estructural, crecimiento de fisuras en probetas fractomecánicas, componentes mecánicos y biomateriales, como implantes dentales. Se hicieron trabajos para TRANSENER y para el Freno Hidráulico de Cañón 155 CALA 30 que fueron presentados en congresos internacionales.

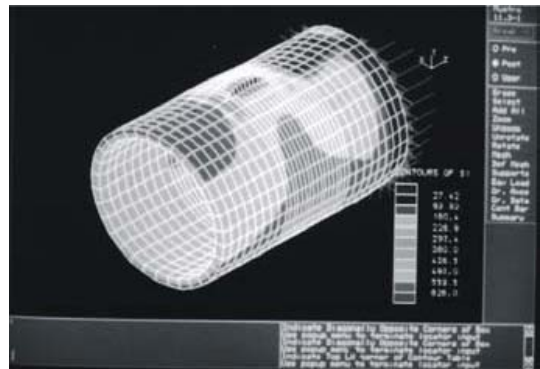


Fig. 10 – Cilindro de freno del CALA 30.