



Código	FPI-009
Objeto	Guía de elaboración de Informe de avance y final de proyecto
Usuario	Director de proyecto de investigación
Autor	Secretaría de Ciencia y Tecnología de la UNLaM
Versión	2.1
Vigencia	13/10/2015

Unidad Ejecutora:

Departamento de Ingeniería e Investigación Tecnológica

Título del proyecto de investigación:

Análisis de imágenes y Calculo Computacional sobre Procesos y Fenómenos Inherentes a la

Laminación de Tubos

Código del proyecto:

C190

Programa de acreditación:

PROINCE

Director del proyecto:

Santa María, Cristóbal

Co-Director del proyecto:

Rinaldi, Pablo

Integrantes del equipo:

Cardozo German; Ferrando Clara; Molina Carlos

Fecha de inicio:

01/01/2016

Fecha de finalización:

30/12/2017

Informe final

17/02/2018

Sumario:

Contenido

Resumen y palabras clave	2
Memoria descriptiva	3
Objetivos alcanzados	4
Objetivos no alcanzados	6
Presentaciones en Congresos	6
Transferencias.....	6
Formación de Recursos Humanos	7
Equipo de trabajo	7
Conclusiones	7
Bibliografía	8

Resumen y palabras clave

En los procesos metalúrgicos la interacción entre el material y las condiciones de procesamiento es determinante en las propiedades del producto final. Debido a esto los objetivos globales del proyecto se dividen en:

- 1) Análisis de imágenes: análisis de datos experimentales provenientes de técnicas de microanálisis basadas en las imágenes SEM (Scanning Electron Microscopy) y TEM (Transmission Electron Microscopy) para la caracterización de los materiales.
- 2) Simulación numérica de los estados de tensión/deformación del material y el herramental asociado a los procesos de deformación plástica durante la laminación.

El primer ítem implica el desarrollo y optimización de un software para ser utilizado para automatizar el control de calidad de los materiales a ser utilizados en la fabricación de los tubos de presión de la aleación Zr-2.5Nb de los canales de combustibles de reactores nucleares tipo CANDU.

En la actualidad el mencionado Control de Calidad se realiza con un software comercial en forma semiautomática, lo que hace que el trabajo sea cansador, con la posibilidad de cometer errores normales por distracción y cansancio visual.

El segundo ítem es la simulación como técnica para reemplazar los ensayos mecánicos actuales y realizar predicciones de esfuerzo herramental.

Desde el punto de vista macroscópico se propuso simular el proceso de laminación complementado con el análisis microscópico, utilizando modelos de cálculos auto-consistentes de deformación visco plástica para la obtención de la microestructura, representada a través de la textura cristalográfica.

El proyecto tuvo objetivos iniciales que fueron modificados informados en el informe de avance, por la insuficiencia de fondos para adquirir licencias de software comerciales y por necesidades planteadas por la CONEA de contar con resultados prácticos dentro de los tiempos del proyecto en función de sus necesidades. En función de ello se obtuvieron resultados que satisfacen las necesidades actuales de la CONEA y se sentaron las bases para desarrollos ulteriores.

Palabras Claves: Circonio, Laminado en frío, Tubos de presión.

Memoria descriptiva

Actividades realizadas, metodologías, resultados alcanzados y no alcanzados, etc.

(Para el último año del proyecto en el informe de avance se proponía el siguiente GANTT

10													
11													
12													
13													
14													

10. Simulación con VPSC7, análisis estructural y de textura

En cuanto a “Análisis de diagrama de micro-textura” las mismas fueron obtenidas mediante simulaciones de texturas cristalográficas usando para ello el código VPSC7 (por detalles ver anexo técnico simulación).

Por acuerdo con la CONEA se realizaron simulaciones de laminados planos.

11. Análisis de esfuerzo de placa en el proceso de laminación. Simulación de elementos finitos.

Este análisis incluye el perfeccionamiento de las simulaciones de *Open Source*, que es la simulación de elementos finitos (FEM). Es importante aclarar que los diseños de placa, tubo y laminado se realizaron en Salomé-Meca, software de distribución abierta.

Se encontró en el transcurso del trabajo que los modelos clásicos mencionados se encuentran ya elaborados y disponibles en comandos específicos de Code-Aster.

Enmarcado en esta tarea de desarrollar una técnica de simulación se encuentra el “Análisis de calidad de deformaciones plásticas en el tubo” la misma involucra simulaciones de elementos finitos y no fue desarrollada por solicitud del CNEA. Por detalles ver ANEXO TECNICO SIMULACION.

12 Cursado de materias del doctorado – Cardozo.

13 Desarrollo de software generalizado, pruebas de campo

Se definió como “**Software Generalizado**” como aquel desarrollado fuera del entorno del Software MATLAB y la migración a Python.

Respecto de la caracterización de la fase Alfa en las fotos SEM, la migración a Python, de lo hecho anteriormente en MATLAB, se completó con muy buenos resultados.

Respecto del Software generalizado, se realizó un primer diseño gráfico para usuarios de uso sencillo para cargar la información y los datos, la ejecución del programa da como resultado la información de ancho de fase, distribución de tamaño de grano y grilla de datos.

Este producto se encuentra avanzado dado que el software se encuentra en etapa de pruebas de campo, esto es, variar el tipo de fotos a analizar y la validez de los algoritmos usados (ver ANEXO TECNICO IMAGENES).

14. Informe Final.: Responsables: Mg. Salvador Santa María, Dr. Pablo Rinaldi

Resumen de los objetivos ALCANZADOS

10. Simulación de textura y estructura.

Se alcanzó un buen resultado, de acuerdo a lo planeado, en la simulación de textura cristalográfica utilizando el código visco-plástico VPSC7 (desarrollado en el Lab. Nac. Los Álamos, USA). Para la obtención de figuras de polo se usó el software POLE8 y software MTEX.

En forma sistemática se han compartido los resultados y las pruebas de concepto hechas en VPSC7 con los desarrolladores, Dr. Carlos Tomé y Dr. Ricardo Lebenson, dado que sus contribuciones son determinantes en la interpretación del código.

Como se informó en el informe de avance:

El desarrollo y perfeccionamiento de la simulación de ensayo de compresión Ford en 3D se alcanzó totalmente usando ABAQUS, tarea realizada durante el primer año del proyecto. Se simuló usando las dimensiones de indentadores y probetas de la Planta Piloto de Fabricaciones Aleaciones Especiales (PPFAE) del CNEA.

Así mismo se había desarrollado en el primer año la simulación de laminado plano en 3D de placa de circonio se usando ABAQUS, con buenos resultados.

Los desarrollos con ABAQUS se discontinuaron debido a los costos de la licencia, comenzando a migrarse a PHYTON, tarea que a pedido de la CONEA se dejó para

un proyecto ulterior, pasándose a trabajar con VPSC7 con lo que obtuvieron resultados satisfactorios.

12 Cursado de materias del doctorado – Cardozo.

En cuanto al Doctorado del Ingeniero Germán Cardozo (PAF) el estado es el siguiente:

Aprobación de 5 materias de Posgrado de la Universidad Nacional Tecnológica

Curso: **Historia de la Ciencia**

Docente: Rodolfo Gaeta

Curso: **Procesos Estocásticos**

Docente: Dr. LIMNIOS, NIKOLAOS – Profesor TOMASSI (CONICET)

Curso: **Sistemas de Control lineal y no lineal**

Docentes: Puliafito, Salvador Enrique

Curso: **Computación Gráfica.**

Docente: Dr. Emmanuel Larussi.

Curso: **Procesamiento Digital de Señales.**

Docente: Dr. Pablo Ristori.

En el proyecto el Ingeniero Germán Cardozo ha realizado un total de 5 de los 6 cursos del doctorado en procesamiento de imágenes y cuenta con material para la elaboración de su trabajo de tesis, por lo desarrollado en distintos algoritmos basados en PCA (Principal Components Analysis) que permitieron la elaboración de rutinas de conteo de pixel para la medición de distancias medias entre objetos y cálculos de área entre granos de fase alfa.

13 Desarrollo de software generalizado, pruebas de campo

Análisis de la fase alfa presente en las fotos SEM, usando MATLAB. Las pruebas de concepto dieron resultados aceptados por el LMFAE (Laboratorio de Materiales Fabricaciones de Aleaciones Especiales) del CNEA. Esta tarea abarcó los dos años del proyecto.

El análisis de imágenes usando MATLAB se completó en su totalidad, alcanzando la automatización del proceso de reconocimiento de fotos SEM permitiendo convertir el código en un toolbox. Esta tarea fue completada durante el segundo año del proyecto. Faltando completar detalles menores de la interfaz de usuario se decidió, en acuerdo con la CONEA, discontinuar esta tarea debido al costo de la licencia comercial, pasándose a migrar a Python, en lo que se definió como **Software Generalizado**

Se logró el análisis de fotos SEM de los tubos de presión, reconocimiento de la fase alfa con algoritmos implementados en lenguaje Python y diseño de interfaz de usuario (para detalles ver ANEXO TECNICO IMAGENES).

Respecto de los Objetivos NO ALCANZADOS

11. Análisis de esfuerzo de placa en el proceso de laminación. Simulación de elementos finitos.

La simulación del movimiento del herramental de la máquina laminadora de tubos HPTR (Guías, rodillos, etc.), no se alcanzó, dado que esto se planteó con el software comercial ABAQUS cuyo costo de la licencia excedía los fondos disponibles. Por eso las simulaciones se comenzaron en código abierto (ver ANEXO TECNICO SIMULACION). Sin embargo, y al ser muy demandantes en tiempo y exceder los periodos del proyecto las simulaciones de elementos finitos con códigos abiertos quedaron para un proyecto ulterior, pues CONEA requería de un resultado utilizable a la brevedad.

Durante el primer semestre 2017 se había avanzado con las simulaciones de elementos finitos con el uso de Code-Aster y CalculiX (además de lo planteado en FREEFEM++) sin embargo, por interés del grupo del CNEA-Ezeiza se centró en la simulación de textura del circonio a través del VPSC7.

Presentaciones en eventos científicos

Con respecto de la presentación en eventos científicos, los tiempos de desarrollo quedaron descalzados con respecto a las fechas de los congresos para la publicación de resultados.

Esto fue debido a los cambios de software ocurridos en el transcurso del proyecto, como consecuencia de que los costos de licencias excedían los fondos disponibles que llevaron a que se seleccionaran herramientas abiertas (Open Source) y a las nuevas demandas planteadas por la CONEA.

Transferencias

Se realizó un taller para el uso del código VPSC7. Se elaboró una guía de usuario que permitió a los investigadores del Centro Atómico de Ezeiza familiarizarse con los contenidos y permitirá su utilización para nuevos integrantes. Esta guía fue aprobada por los desarrolladores del Laboratorio Nacional de los Álamos (USA). La tecnología desarrollada permitirá la automatización de una tarea que se realiza en forma manual.

Se completó el software de imágenes. La CONEA inició las pruebas de campo cerca de la finalización del proyecto, por lo cual éstas continuarán posteriormente. A su finalización y ya fuera del proyecto se realizarán los eventuales ajustes necesarios, de forma de automatizar este tipo de determinaciones.

Como ocurrió durante el primer año, se mantuvieron reuniones periódicas (por lo menos una vez por mes) con los investigadores de CONEA, que permitió un intercambio de experiencias y sugerencias, en base a exposiciones de los investigadores del proyecto.

Formación de Recursos Humanos:

El becario Ingeniero Germán Cardozo avanzó positivamente con el Doctorado, quedando para realizar el curso restante de los requeridos por el doctorado de imágenes de la UTN.

Formará parte de su trabajo de tesis lo desarrollado en distintos algoritmos basados en PCA (Principal Components Analysis) que permitió la elaboración de rutinas de conteo de pixel para la medición de distancias medias entre objetos y cálculos de área entre granos de fase alfa.

Equipo de trabajo:

El equipo de trabajo se mantuvo estable durante todo el proyecto. No hubo necesidad de incrementar el grupo de profesionales que se complementó muy bien e interactuó con los investigadores de la CONEA.

Las tareas del equipo de trabajo fueron desarrolladas en las instalaciones de la Universidad destinadas a tal fin como así también en los laboratorios de Investigación del CNEA-Ezeiza junto con sus pares.

Conclusiones

Se generaron herramientas de utilidad para la CONEA:

- 1) Un modelo de simulación para describir distintas transformaciones microestructurales que sufre el material durante el proceso de laminación.
- 2) A través del análisis de imágenes SEM (Scanning Electronics Microscopy) obtenidas en el laboratorio LMFAE (Laboratorio Metalúrgico de Fabricaciones de Aleaciones Especiales) se analizó el estado del material a través del reconocimiento de fase Alfa.

Durante el periodo que duró el proyecto han surgido desvíos en cuando a los objetivos y métodos y criterios para llegar a esos objetivos. Los cambios efectuados fueron acordados con los investigadores de la CONEA y tuvieron en cuenta sus necesidades prácticas en el período del proyecto.

Los motivos fueron varios y de distinto peso, pero no cambiaron los objetivos generales del proyecto. Los principales motivos fueron los siguientes:

- 1) La necesidad de formación en un tema muy específico, como es el de los materiales utilizados en la Tecnología Nuclear, por parte del equipo de profesionales de la UNLaM. Eso requirió un esfuerzo importante para capacitarse en temas relacionados con procesos orientados a la metalurgia y en técnicas usadas por el Centro Atómico Ezeiza, a los fines de poder aplicar sus conocimientos en simulación e imágenes. Este es un bagaje que queda para futuros proyectos y sobre todo la relación entre los grupos de investigación de las dos instituciones.

- 2) La importante variación de precios de las licencias de software comercial importado por limitaciones presupuestarias (Abaqus y Matlab) llevaron a la utilización de VPSC7 y PHYTON. La capacidad adquirida en el manejo de estas herramientas es un capital interesante para el grupo de la UNLaM.

Bibliografía

J.R. Santisteban, M.A. Vicente-Alvarez, P. Vizcaino, A.D. Banchik, S.C. Vogel, A.S. Tremsin, J.V. Vallerga, J.B. McPhate, E. Lehmann, W. Kockelmann. '[Texture imaging of zirconium based components by total neutron cross-section experiments](#)'. Journal of Nuclear Materials, Volume 425, Issues 1–3, June 2012, Pp. 218-227.

Banchik Abraham D., Bianchi Daniel R., Vizcaíno Pablo, Flores Alejandra V., Zsieber Walter C., Gaveta Leonardo J., Gómez Adrián G. TECNOLOGÍA DE FABRICACIÓN DE COMPONENTES ESTRUCTURALES DEL NÚCLEO BASE CIRCONIO PARA REACTORES NUCLEARES DE POTENCIA. INFORME TÉCNICO DD-ATN40MF-001.

M. Griffiths, J.E. Winegar, AECL-10835 COG-93-179, M. Griffiths, J.E. Winegar and A. Buyers. The transformation behaviour of the β -phase in Zr-2.5Nb pressure tubes (1994), [Journal of Nuclear Materials](#), [Volume 383, Issues 1-2](#), 15 December 2008, Pp.: 28-33.

M. Griffith, W. G. Davies, A. R. Causey, G. D. Moan, R. A. Holt, S. A. Aldrich. In Reactor Diametral deformation for Zr-2.5Nb pressure tube, Zirconium in the Nuclear Industry, 13th Inter. Symposium, ASTM STP 1423, Bridjeport, N.J. Diciembre de 2002.

M. Griffiths, J.E. Winegar, The transformation behaviour of the beta phase in Zr-2.5 wt% Nb pressure tubes, AECL-10835 COG-93-179, (1994).

Worked Examples in Nonlinear Continuum Mechanics for Finite Element Analysis, J. Bonet, A. J. Gil, R. D. Wood.

Finite Element in Plasticity: Theory and Practice, D. R. J. Owen, E. Hinton.

G. B. Sarma, et al., Computational Materials Science 12 (1998) 105-123.

R. R. Balokhonov, et. al., Computational Materials Science 16 (1999) 355-361.

C. M. Sands, et. al., Computational Materials Science 47 (2009) 286-296.(ABAQUS)
J. P. Weiler, et. al., Materials Science and Engineering A 527 (2009) 32-37.
J. J. Park, Computational Materials Science 100 (2015) 61-66.
J. Szyndler, et. al., Computational Materials Science 96 A (2015) 200-213.