

Proyectos de Desarrollo Tecnológico y Social (PDTs)

Desarrollo de una planta piloto de materiales magnéticos

Pagnola M.R.; Sirkin H.M.

Universidad de Buenos Aires
CONICET - INTI
E- mail: mpagnola@gmail.com

RESUMEN

En este trabajo se presenta el desarrollo logrado mediante la ejecución de un proyecto FONARSEC, incorporado a la base de datos de los Proyectos de Desarrollo Tecnológico y Social del MINCyT, con el cual se ha logrado el montaje de una Planta Piloto de Materiales Magnéticos de carácter semi-industrial para la producción de núcleos magnéticos utilizados en la industria eléctrica y/o electrónica, única por sus peculiaridades en América Latina y dentro del ámbito del Mercosur, relacionada al rubro energético. Esta planta produce materiales magnéticos amorfos y nanocristalinos que permiten elevar la eficiencia de algunos equipos de uso industrial hasta un 80%. Este desarrollo se ha logrado con la participación, dentro de un Consorcio Asociativo Público y Privado, de dos empresas del sector PyME que han contribuido a generar esta plataforma de I+D que brinda asistencia a los interesados en esta tecnología.

ABSTRACT

This paper presents the development achieved in the FONARSEC project execution, incorporated into the database of the Technological and Social Development Projects with which the assembly of a Magnetic Materials Pilot Plant of semi-industrial nature has been achieved for production of cores used in electrical and/or electronic industry. Unique assembly, due to its peculiarities, in Latin America and within the Mercosur scope, related to the energy sector. This plant produces amorphous and nanocrystalline magnetic materials that increase the efficiency of some industrial equipment by up to 80%. This development has been achieved with the participation of two PyMEs that have contributed to generating this R&D platform in a Public and Private Associative Consortium that provides assistance to those interested in this technology.

PALABRAS CLAVE: FONARSEC, planta piloto, materiales magnéticos, ahorro energético, consorcio asociativo.

INTRODUCCIÓN

La Planta Piloto de Materiales Magnéticos (PPMM) está diseñada para desarrollar a escala de prototipo industrial procesos destinados a la producción de materiales magnéticos de alta eficiencia que muestran sustanciales ventajas en cuanto a costos, ahorro de energía e impacto ambiental. Los productos a los que se destinarán estos materiales son nú-

cleos magnéticos e imanes, componentes esenciales de una gran variedad de dispositivos, fundamentalmente transformadores, motores, generadores, electroimanes, etc.

Las instituciones y empresas participantes son:

El Laboratorio de Sólidos Amorfos (LSA), ubicado en la Universidad de Buenos Aires, Facultad de Ingeniería, donde se efectúan

investigaciones relacionadas con las propiedades estructurales y magnéticas de los sistemas a desarrollar, y donde se ensamblan las tecnologías que permitan la producción de estos productos a escala industrial. Esta Institución es quien provee el lugar para la instalación de la planta piloto, destinada a la continuación de estos estudios y a la formación de recursos humanos en el área específica.

El **Laboratorio de Materiales Avanzados** (LMA) Ubicado en la Universidad Católica de Salta, donde se complementan las actividades del LSA, en lo que respecta principalmente a la caracterización magnética de las chapas para transformadores, respuesta en frecuencia y estudio de las pérdidas magnéticas.

Electropart Cordoba S.A. que participa en el diseño y desarrollo de los equipos donde se testearán los productos que se vayan desarrollando y que tendrá a su cargo la comercialización de estos productos. Esta empresa fue creada en 1999 y está dedicada a la fabricación de núcleos magnéticos de acero silicio de grano orientado y no orientado. Los clientes de Electropart en Argentina son las principales fábricas de transformadores y, a escala del Mercosur y la costa Latinoamericana del Pacífico, importantes productores de transformadores eléctricos que van desde 5 KVA monofásicos y 25 KVA trifásicos hasta 500 MVA. Posee su planta de Córdoba-Argentina y cuenta con una capacidad de 500 Ton/mes de núcleos para dichos transformadores. Está certificada por el INTI bajo la norma ISO 9001-2000, al igual que sus productos.

La integración en un Consorcio Asociativo Público Privado (CAPP) de laboratorios localizados en Buenos Aires y Salta con empresas de Córdoba permite articulaciones variadas tanto desde el punto de vista de la actividad de investigación, como de la actividad productiva. En particular, cabe destacar que la fabricación de las aplicaciones industriales de este proyecto tendría, al menos inicialmente, centro en Córdoba, desde donde se comercializaran los equipos obtenidos.

DESARROLLO

Escala de Laboratorio

Desde la década de 1980, la producción de materiales magnéticos se ha llevado a cabo principalmente a través del proceso de Melt Spinning (solidificación ultra-rápida desde el estado líquido). Estos materiales, obtenidos en forma de cintas de muy bajo espesor, tienen mayor capacidad magnética que los laminados tradicionales. La utilización de aleaciones con capacidad de amorfización y nanocrystalinas como las de $Fe_{78}B_{13}Si_9$ (% at) para núcleos de transformadores eléctricos son las más utilizadas, porque logran reducir las pérdidas de vacío hasta un 80% en comparación con las de los núcleos construidos con láminas de $FeSi$ de grano orientado, normalmente utilizadas en estos dispositivos. El proceso Melt Spinning (Figura 1) consiste en formar una fina película metálica a partir de la aleación fundida, enfriándola sobre una superficie plana giratoria que permanece a temperatura constante. En este proceso, un jet de metal fundido es expulsado a través de una boquilla con un orificio mediante una sobrepresión de un gas inerte que hace que impacte en una superficie de una rueda de cobre giratoria. De esta manera, se forma una capa delgada de material fundido que se solidifica rápidamente como una cinta continua que luego se recoge y se enrolla para obtener las bobinas magnéticas como producto final.

De acuerdo sea la distancia entre la boquilla y la rueda giratoria (G), se determinan los siguientes procesos: Chill Block Melt Spinning (CBMS) y Planar Flow Casting (PFC). En el CBMS, el jet de metal fundido se expulsa a través de una boquilla con un $G > 1$ mm. En el PFC, sin embargo, el gap es inferior a 1 mm. Esto determina distintas velocidades de rotación de la rueda de cobre, espesores de cintas y características estructurales de las cintas obtenidas.

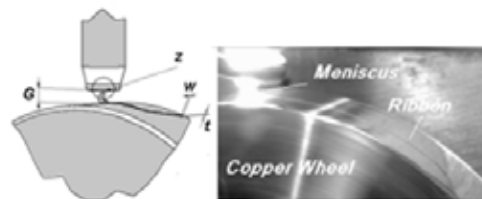


Figura 1: Proceso de Melt Spinning (G: Gap; W: ancho de cinta; t: espesor; Z: diámetro de orificio) [1].

La tasa de enfriamiento puede estimarse alrededor de unos -2.73×10^6 K/s con una velocidad de rueda (V_x) variable entre 5 y 40 m/s y una relación $x/z = 3.8395$. Siendo $Z = 0.0006$ m el diámetro del orificio en la boquilla se ha estimado un tiempo de solidificación de 9.4×10^{-7} s [2].

Entre 35 y 40 m/s en la curva de $G = 2$ mm (Figura 2) se obtienen microesferas sin formación de cinta, debido a que con velocidades superiores a 30 m/s aparecen vórtices locales en la atmósfera circundante que aumentan el flujo convectivo a lo largo de la superficie de la rueda. Estos valores definen la vorticidad en la zona de contacto, mostrando la influencia del coeficiente de transferencia de calor convectivo y el Número Biot (Bi) como se muestra en la Figura 3.

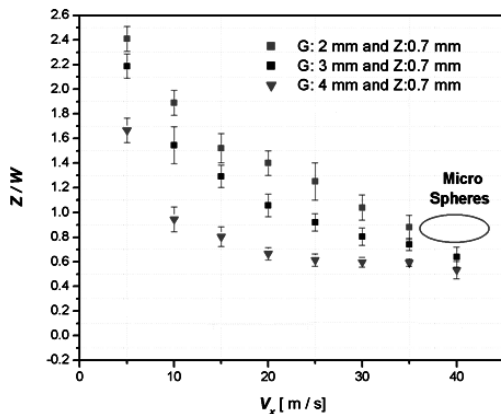


Figura 2: Disminución comparativa de la relación Z/W con la velocidad tangencial V_x de la rueda [1].

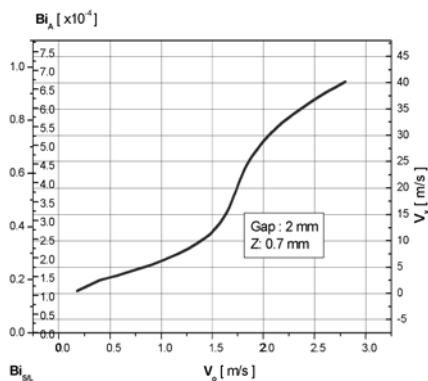


Figura 3: Curva de triple entrada para valores de velocidad en la boquilla (V_0) que determina el número de Biot según la velocidad de la rueda V_x . Determinados para $G = 2$ y $Z = 0,7$ mm [1].

Este efecto es indicativo del enfriamiento newtoniano en el proceso de solidificación típico de las cintas. Las características ya se informaron en Pagnola et al. [1]-[3]. Para velocidades de rueda entre 5 y 40 m/s, los valores de espesor (t) se comparan con los obtenidos por Tkatch et al. (2002) [4] y se trazan en la Figura 4.

La turbulencia involucrada en los tiempos de solidificación informados dura unos pocos milisegundos, tiempo suficiente para estudiar el proceso con cámaras de alta velocidad y recrear con simulaciones numéricas en 3D, los defectos que aparecen en la conformación de la cinta durante este proceso [5], a saber:

Defectos en la solidificación: al comienzo de la eyección, la formación de un menisco de material genera un perfil irregular, con cambios en el grosor de la cinta, que todavía está en estado líquido. El contacto de este perfil irregular en el espesor hace que el proceso de solidificación comience en la parte más delgada de la película, porque es la que cambia su temperatura más rápidamente y, por lo tanto, su viscosidad. Este mecanismo hace que se genere un contorno sólido continuo similar al de un agujero, que se propaga en la película en todo ese espesor (Punto 1-Figura 5).

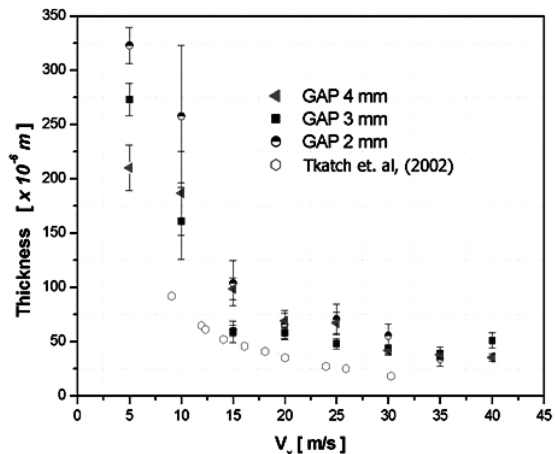


Figura 4: Disminución comparativa del espesor de la cinta (t) con V_x .

Zona de transición: aparece con la formación de un menisco más estable y, consecuentemente con irregularidades más peque-

ñas. Se puede observar un contorno constante de cinta con defectos casi imperceptibles del orden de $5 \mu\text{m}$ (Punto 2 - Figura 5).

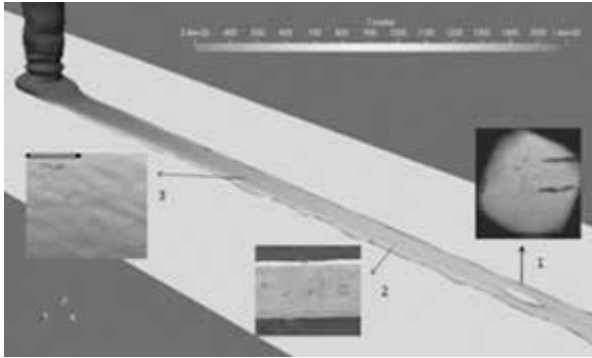


Figura 5: Zonas características del proceso de producción [5].

Zona de espesor homogéneo: una vez terminada la turbulencia en el menisco, y después de lo cual el proceso se estabiliza, los defectos desaparecen y dan lugar a una cinta continua con sus propiedades listas para uso específico en dispositivos electrónicos, y con cualidades que exceden los materiales estándar, tales como su respuesta de frecuencia a campos magnéticos variables. (Punto 3 - Figura 5).

La microdureza Vickers fue determinada en un promedio de un total de 10 mediciones (Figura 6), obteniendo una dureza de 1070 HV0.05, equivalente a aproximadamente 70 HRC, escala Rockwell C para las cintas obtenidas.

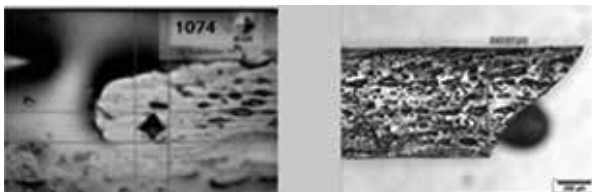


Figura 6: Cinta magnética de $\text{Fe}_{78}\text{B}_{13}\text{Si}_9$ (% at) obtenida [6].

Escala Piloto

Esta etapa requiere el desarrollo y construcción de un equipo de solidificación rápida para la producción de cintas anchas (entre 15 y 25 cm). Con este objetivo, se desarrolló un sistema que incrementa las capacidades de producción e introduce algunas mejoras de la técnica de procesamiento, y de la calidad de los productos terminados. En particular, se destaca la disminución del efecto denomina-

do “escama de pescado”, en la solidificación de las cintas [7], principal problema que durante el apilamiento de cintas, en la formación de los núcleos, introduce burbujas de aire, que disminuyen el flujo magnético en régimen nominal del equipo. Por esa razón los defectos superficiales durante la solidificación deben ser minimizados. En tal sentido, la opción elegida para este desarrollo prevé una solución que está en vías de patentamiento [8] y nuestro equipo terminado puede verse en la Figura 7.

Tabla 1: Resultados promedio en cintas $\text{Fe}_{78}\text{B}_{13}\text{Si}_9$.

Ensayo	Valor / Unidad
Carga promedio de rotura	11.95 [N]
Sección promedio	0.063 [mm ²]
Resistencia promedio a la tracción	190 [MPa]

Sobre las cintas de producción semi-industrial se realizaron distintas pruebas, como las de: tracción; plegado, microdureza, rugosidad superficial, etc. Algunos valores son reportados en la Tabla 1 y otros ensayos realizados en el Instituto Nacional de Tecnología Industrial, son mostrados en su implementación como el de plegado en la Figura 8.

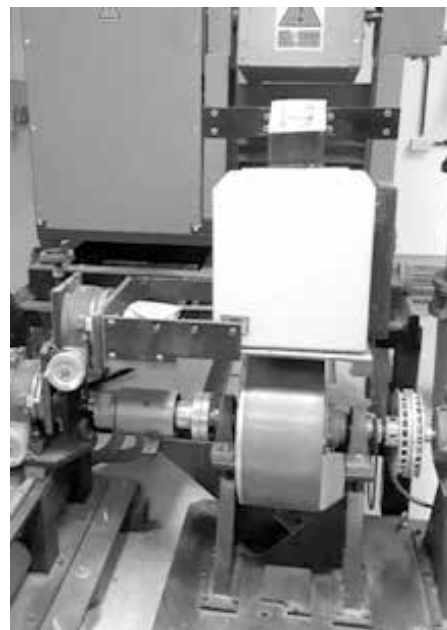


Figura 7: Equipo de Melt Spinning para producción a escala piloto.

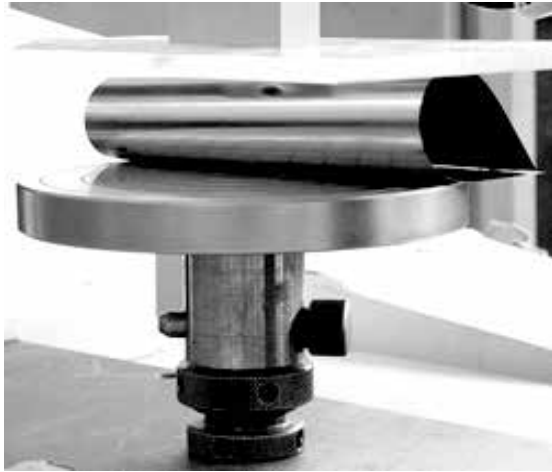


Figura 8: Ensayo de plegado sobre cinta obtenida por melt spinning.

CONCLUSIONES

Las destacadas propiedades de los materiales bajo estudio y las posibilidades de significativos ahorros de energía a través de su empleo, es lo que ha impulsado el inicio de su producción a escala industrial, en diversos países desarrollados. Desde el LSA se inició una etapa de acercamiento al medio productivo que se ha ido concretando con una estimación real de la aplicabilidad de estos productos, estableciendo relaciones con empresas del ramo. En este último aspecto, se ha interactuado durante varios años con la empresa Renacity (ex Virasson) y desde el 2008 con Electropart, generándose con esta última, la base de la presente propuesta que ha sido llevada adelante mediante el proyecto FONAR-SEC FS Nano 03/10. Es de destacar también que este proyecto permitió la continuidad de otros, como el PDTS PI03 y el PDTS 0362, que pudieron ser desarrollados con distintas asociaciones con empresas para la creación de la Planta Piloto de Materiales Magnéticos, instaladas en dependencias del Instituto de Tecnología y Ciencias de la Ingeniería "Ing. Hilario Fernández Long" (INTECIN).

AGRADECIMIENTOS

Los Autores del presente trabajo agradecen a las siguientes instituciones por el financiamiento de las investigaciones: CONICET; Universidad de Buenos Aires; ANPCyT y CIN.

REFERENCIAS

- [1] Pagnola, M.; Malmoria, M.; Barone, M. (2016). *Biot number behaviour in the Chill Block Melt Spinning (CBMS) process. Applied Thermal Engineering*, 103, 807–811.
- [2] Pagnola M.; Malmoria M.; Barone M. and Sirkin, H. (2014). Analysis of Fe78Si9B13 (%at.) ribbons of noncommercial scrap materials produced by melt spinning equipment. *Multidiscipline Modeling in Materials and Structures*, 10(4), 511-524.
- [3] Pagnola, M.; Barone, M.; Malmoria M. and Sirkin H. (2015). Influence of z/w relation in Chill Block Melt Spinning (CBMS) process and analysis of thickness in ribbons. *Multidiscipline Modeling in Materials and Structures* 11(1), 23-31.
- [4] Tkatch, V.I.; Limanovskii, A.I.; Denisenko, S.N. and Rassolov, S.G. (2002). The effect of the melt spinning processing parameters on the rate of cooling. *Materials Science and Engineering A323* (1-2), 91-96.
- [5] Pagnola, M.; Proceso de Melt Spinning para obtención de cintas magnéticas de FeSiB (2018). *Revista .ING de la Facultad de Ingeniería de la UBA* 3, 24-25.
- [6] Pagnola, M; Useche Vivero, J; Marrugo, A. (2018). *New Uses of Micro and Nanomaterials. InTech*. Reino Unido, 1- 120.
- [7] Huang, S-C.; Fielder, H.C (1981). Effects of wheel surface conditions on the casting of amorphous metal ribbons. *Metallurgical Transactions A* 12A (6), 1107-1112.
- [8] Pagnola, M.; Barone, M.; Muñoz M. (2014). *Rueda Refrigerada y Acople Magnético para ser empleado en proceso de Melt Spinning*. Patente de Invención INPI Expte. 20140104880.