



Técnicas y datos para la predicción automatizada de tendencias y comportamiento del horno de recocido

Palabras clave: acero inoxidable, horno de recocido, minería de datos, innovación, origen de datos.

Key words: stainless steel, annealing furnace, data mining, innovation, origin of information.

Resumen:

El objetivo general del estudio es la predicción automatizada de tendencias y comportamiento del horno de recocido de acero inoxidable, encargado de la recuperación de la estructura de la banda de acero inoxidable sometiendo a la bobina durante un cierto tiempo a un calentamiento con una temperatura suficientemente alta. Este tratamiento se realiza porque en la laminación en caliente, fase en la que se reduce el espesor de la bobina, se produce una deformación en la estructura cristalina de la red metálica que afecta a sus propiedades metalúrgicas.

La automatización del proceso de fabricación y el tratamiento informático de los datos ha aumentado en gran medida la cantidad de datos disponibles, haciendo necesario el aumento de la capacidad de los sistemas de almacenamiento. Para este estudio se va a recurrir a herramientas de minería de datos (data mining), las cuales han experimentado en las últimas décadas un desarrollo paralelo a la capacidad de los ordenadores para procesar datos.

Abstract

The general aim of this study is the automated prediction of trends and behaviour of the annealing furnace of stainless steel in charge of recovering the stainless steel band structure, submitting the coil, during certain period of time, to a sufficiently high temperature heating. This treatment is done due to, during lamination process, it takes place a deformation of the crystalline structure of coil metallic network that change its metallurgical properties.

Automation of manufacturing process and IT treatment of data, have increased in great amount the quantity of available data, making necessary to increase the capacity of storage systems. For this study it will be used tools of data mining which have experienced, in last decades, a parallel development to the capacity of process data computers.



Raquel González Corral

Ingeniera técnica en Informática de Gestión e Ingeniería técnica en Informática de Sistemas del ICAI, Promoción 2006, Primer premio nacional. Ingeniera en organización industrial, Promoción de 2008, Premio extraordinario Fin de Carrera, primer premio al Proyecto Fin de Carrera del Colegio de Ingenieros del ICAI y Primer premio nacional. En la actualidad realiza doctorado en Ingeniería industrial computacional en la Universidad de Cádiz y trabaja en el departamento de Sistemas de Información de Acerinox.

Introducción

En este artículo se pretende dar a conocer el proyecto de tesis doctoral en desarrollo, basada en la predicción automatizada de tendencias y del comportamiento del horno de recocido de acero inoxidable.

El objetivo de la fabricación del acero inoxidable es obtener un producto que cumpla las especificaciones del cliente, en paralelo a una minimización de los costes. Podría pensarse que en el sector del acero existe poco margen para la innovación; nada más lejos de la realidad, el mero hecho de que hace diez años no existiesen el 50% de los aceros que hay actualmente en el mercado, da una idea de la evolución constante del mismo.

El sector del acero se ha caracterizado por las constantes innovaciones desarrolladas durante las últimas décadas en sus procesos de producción, lo que ha significado una revolución tecnológica desde el punto de vista productivo y de calidad. En la actualidad, la actividad innovadora del sector continúa y seguirá en el futuro en términos de simplificación de los procesos, obtención de nuevas calidades y control avanzado de los procesos, buscando siempre soluciones que contribuyan al desarrollo sostenible.

El esfuerzo inversor en I+D+i ha de estar enfocado, entre otras acciones, en conseguir el máximo rendimiento de los recursos empleados en las empresas.

Al trasladar esta intención de innovación al proceso de fabricación se pretende abordar la optimización de una fase del proceso, ya que en la laminación en caliente se reduce el espesor de una bobina al deseado pero se produce una deformación en la estructura cristalina de la red metálica a causa de la deformación sufrida por el material. Con el objeto de regenerar la estructura y conseguir la aparición y crecimiento de los granos, se realiza el tratamiento térmico de recocido.

Antecedentes y estado actual del tema

La laminación produce una fragmentación de los granos y una fuerte perturbación de la estructura cristalina



Imagen de la bobina después de pasar por el horno (acabado 01).

de la banda laminada en caliente (acritud), con el consiguiente descenso de alargamiento junto con acercamiento de la carga de rotura y el límite elástico. Ya se ha mencionado que, para regenerar la estructura interna del acero y mejorar las características mecánicas que permitan la conformabilidad del material laminado en frío, es preciso someter las bandas laminadas a un recocido cuyas fases fundamentales son:

- Calentamiento hasta más de 900 °C.
- Mantenimiento a temperatura.
- Enfriamiento.

Los hornos de recocido en las líneas de LF se extienden a lo largo de una longitud considerable, constituyendo un foco térmico distribuido. Se dispone de la información de la temperatura (t) suministrada por sensores situados en las diferentes zonas, cada una de ellas dividida, a su vez, en parte superior e inferior. Así pues, se puede considerar el horno como un conjunto de focos térmicos con una distribución de temperatura homogénea en cada zona, que será medida por el sensor correspondiente.

Puede realizarse un modelo sencillo si se efectúa una aproximación lineal discreta de la variación de la temperatura en cada zona. Es decir, temperatura constante en cada zona y variación lineal en las transiciones entre zonas. Para la realización de este modelo se dispondrá de las dimensiones de cada zona y una función lineal de aproximación para describir la variación de la temperatura en la transición entre zonas, considerando una cierta graduación de la temperatura para suavizar las transiciones entre las zonas.

Las herramientas de minería de datos (data mining) han experimen-

tado en las últimas décadas un desarrollo paralelo a la capacidad de los ordenadores para procesar datos. Los componentes esenciales de la tecnología de data mining han estado bajo desarrollo en áreas de investigación como estadística, inteligencia artificial y aprendizaje de máquinas. Esta tecnología, si bien reciente en su concepción, puede considerarse como una herramienta de obligada aceptación y uso en el competitivo entorno empresarial, aunque sus principales aplicaciones no se han dirigido a los procesos puramente industriales.

Dentro de las aplicaciones a los procesos industriales se debe destacar el control de calidad.

El cumplimiento a largo plazo de este objetivo global requiere iniciativas de innovación en las áreas de procesos de producción y tecnologías de fabricación, con el fin de hacer frente a los principales retos que se plantean:

- Alcanzar los más altos niveles de calidad con procesos altamente productivos y eficientes.
- Reducir los tiempos desde la recepción de pedido hasta la entrega al cliente.
- Renovar constantemente la oferta de productos siderúrgicos, es decir, el desarrollo de nuevas calidades de acero con mayores, mejores o nuevas propiedades y funciones.
- Garantizar un periodo mínimo desde el desarrollo hasta el lanzamiento en el mercado.
- Contribuir al desarrollo sostenible.

La sostenibilidad y la eficiencia energética constituyen importantes desafíos, no sólo en términos de producto sino también en términos de procesos y actividad siderúrgica en general. Las cuestiones medioambientales suponen en la actualidad elementos dinamizadores de la actividad en I+D+i pero, en un futuro, están llamados a convertirse en factores de diferenciación entre diferentes materiales y, por tanto, entre las empresas.

En la futura tesis se trata de mejorar, mediante el uso de herramientas de análisis multivariante y *data mining*, la planificación y control del horno de una línea de fabricación de bobinas de acero inoxidable.

Hipótesis planteadas

La automatización del proceso de fabricación y el tratamiento informático de los datos han aumentado en gran medida la cantidad de datos disponibles, haciendo necesario el incremento de la capacidad de los sistemas de almacenamiento.

Para la supervisión del recocido es necesario adquirir la temperatura en los hornos de recocido y la velocidad de línea, así como la remanencia magnética. Para ello se dispone de un sistema de aplicaciones, tablas y otros elementos que permiten adquirir estos datos, generar otros a partir de los adquiridos y visualizar toda esta información. Por tanto, la hipótesis planteada es que hay suficiente información almacenada en los repositorios como para extraer un conocimiento útil, no accesible actualmente de otra forma, sobre la fabricación del acero inoxidable. En concreto, la factoría dispone de un sistema de adquisición de datos que monitoriza los principales procesos, como el funcionamiento de los hornos de recocido, de donde se obtiene un histórico con todas las variables que son de interés.

Los datos necesarios para realizar el estudio y modelo del horno objeto de la tesis se encuentran disponibles en tres orígenes y formatos diferentes:

Tablas de la base de datos de Oracle:

Una aplicación se encarga de comunicarse con un PC-Gateway, que contiene un SCADA, que posee los datos del PLC y que controla el horno de recocido. De éste obtiene, cada cierto intervalo de tiempo, los valores para cada una de las variables de temperatura y velocidad, entre otras. Éstos se almacenan en BD, tanto para su representación en gráficas en tiempo real como en ficheros para la posterior visualización de datos históricos.

Otra aplicación se encarga de calcular la fecha y hora exactas de la entrada en horno de la soldadura que une las bobinas que entran en el horno en un proceso continuo; para ello se basa en la distancia del detector de la soldadura a la boca del horno y en la

señal de velocidad y calcula el tiempo que tarda la soldadura en llegar desde el detector a la boca del horno. Además se sabe cuánto mide el horno y cuánto mide la bobina a la que pertenece la soldadura, y también podemos conocer cuándo sale el último metro de la bobina del horno usando la señal de velocidad.

Ficheros GAP:

GAPDLL es una librería de enlace dinámico, diseñada para Win32, que comprime y agrupa los ficheros que almacenan las secuencias de valores de las variables de proceso por coladas, con el fin de reducir la gran cantidad de almacenamiento requerido por los mismos.

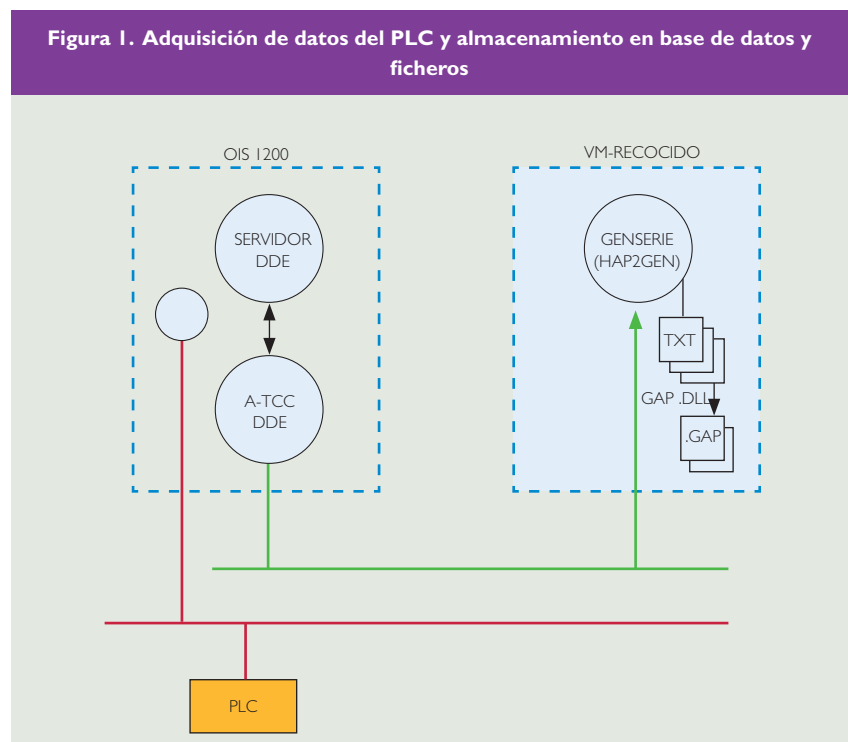
La aplicación HAP2GEN accede a un servidor en la máquina OISI200, de donde obtiene los datos vía socket usando el ATCCDDE (instalado en la propia OISI200).

Los objetivos de la aplicación GENSERIE son la generación de Ficheros GAP, que contienen series de una hora de señales procedentes de un servidor DDE, bien usando DDE o usando sockets con A_TCCDDE como servidor socket en el extremo, donde se encuentra el servidor DDE que nos sirve las señales. GENSERIE también

se encarga de trasladar el fichero al Servidor de Datos Continuos, de donde será tomada esta información por uno o varios programas situados en otras máquinas, que la visualizarán y realizarán cálculos con ella.

El objetivo de esta librería es doble: por un lado reducir el tamaño de los ficheros de variables comprimiéndolos y, por otra parte, agrupar a su vez estos ficheros comprimidos, por coladas, en uno sólo. Un fichero GAP se compone de dos secciones: la primera, una especificación del número de versión y revisión de la librería con el que se generó el fichero y la segunda, una serie de 1 a N bloques que contienen los datos comprimidos de los ficheros de variables junto con la información que permite recuperarlos.

El primer campo comprende un único byte que recoge el número de la variable comprimida. Este valor, expresado de forma numérica, será utilizado en el proceso de descompresión para poner nombre a los ficheros de variables descomprimidos. El segundo campo almacena el tamaño original en bytes del fichero de variable, es decir, el tamaño que tendrá el fichero de variable cuando se descomprima. Por último, en el tercer campo se guarda el tamaño en bytes



El formato de estos ficheros tiene la siguiente estructura:

1	TEMPZ1SUP	Temperatura de la ZONA 1 SUPERIOR	°C
2	TEMPZ2SUP	Temperatura de la ZONA 2 SUPERIOR	°C
3	TEMPZ3SUP	Temperatura de la ZONA 3 SUPERIOR	°C
4	TEMPZ4SUP	Temperatura de la ZONA 4 SUPERIOR	°C
5	TEMPZ5SUP	Temperatura de la ZONA 5 SUPERIOR	°C
6	TEMPZ6SUP	Temperatura de la ZONA 6 SUPERIOR	°C
7	TEMPZ1INF	Temperatura de la ZONA 1 INFERIOR	°C
8	TEMPZ2INF	Temperatura de la ZONA 2 INFERIOR	°C
9	TEMPZ3INF	Temperatura de la ZONA 3 INFERIOR	°C
10	TEMPZ4INF	Temperatura de la ZONA 4 INFERIOR	°C
11	TEMPZ5INF	Temperatura de la ZONA 5 INFERIOR	°C
12	EMPZ6INF	Temperatura de la ZONA 6 INFERIOR	°C
13	TEMPENT	Temperatura de ZONA ENTRADA	°C
14	TEMPZ3SAL	Temperatura de SALIDA en ZONA 3	°C
15	TEMPSAL	Temperatura de SALIDA	°C
16	VELOCIDAD	Velocidad de la Línea	m/min

para su confirmación. Para conocerlos se tiene que cortar una muestra y analizarla. Convencionalmente existen unas normas que aportan unos valores característicos y que definen estas propiedades.

De una muestra se pueden sacar distintas probetas y de cada probeta, al ensayarla, se obtienen una serie de valores que son los resultados de los ensayos. Los ensayos de laboratorio tienen distintos cometidos: el control de Calidad a partir de las normativas sobre aceros y las especificaciones y problemas de los clientes, además de definir cómo tienen que ser los materiales.

En estos casos, tras unas operaciones de fabricación (consideradas críticas) se establecen unos puntos de espera del material, en los que, tras distintos análisis, se decide como debe seguir su proceso de producción.

del fichero de variable comprimido, incluido el tamaño de esta cabecera.

La arquitectura general actual de estos dos tipos de datos es la mostrada en el esquema que se muestra a la derecha:

Los datos se almacenan en ficheros de 1 hora, en el SNT6 (servidor de datos continuos), en formato GAP.

Existen funciones de análisis de los datos de recocido de una bobina cuando estén disponibles. Estas funciones se incluirán en la aplicación EXPBA2, que se encargará de ejecutar esta función para preprocesar esos ficheros y calcular las anomalías de las bobinas que almacenará en la BD.

Sistema iSeries AS400:

Los valores de control intermedio son aquellos que se deben conocer previo a la adjudicación de la bobina, para asegurarse de que tiene las características buscadas. Existen materiales de especial riesgo en los que es necesario realizar unos controles durante el proceso de producción, para asegurar que al final va a cumplir las especificaciones de formato.

Estos controles contienen los resultados de unos ensayos del material

Figura 2. Adquisición de datos, creación de ficheros GAP y flujo a las aplicaciones de usuario

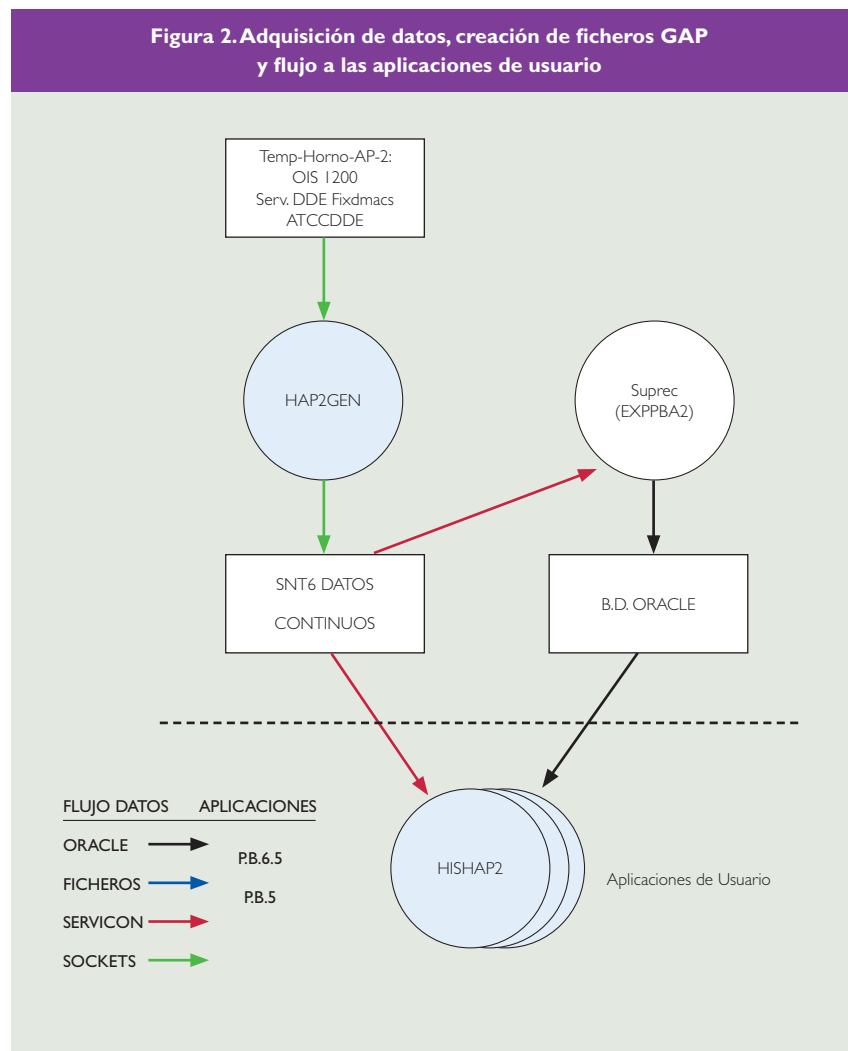
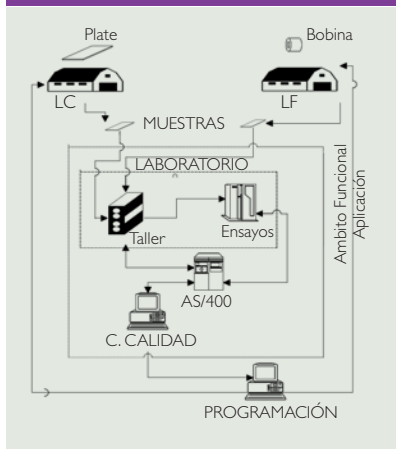


Figura 3. Proceso de controles intermedios



Las variables típicas de estos análisis son:

- Resultados de posibles ensayos de muestras que se tomen.
- Características reales de paso por línea (temperatura, velocidad).
- Defectos que pueden surgir en el material.

Tras este análisis, se puede determinar:

- Que el material siga su curso.
- Asumir que no se van a conseguir las especificaciones que se esperaban y desviarlo hacia otras.
- Sanear los trozos que impiden conseguir lo que se esperaba.
- Control de Calidad a partir de las Normativas sobre aceros y las especificaciones y problemas de los clientes. Define como tienen que ser los materiales.

Al final del proceso de fabricación del material, se cortan unas muestras para comprobar que se ajusta a los requerimientos del pedido y del formato.

En el caso de que no sea correcto se generan las A.D.L., obligando al Control de Calidad a investigar en cada caso el porqué no se han cumplido las especificaciones:

- Soluciones a dar a la A.D.L.
- Asumir la anormalidad.
- Sanear trozos del material que estén defectuosos.
- No permitir que ese material vaya con destino a ese cliente.

Todos estos datos se deben migrar a una base de datos común para facilitar su posterior procesado.

Como resultado final de este trabajo se espera proponer mejoras en el proceso industrial de la fabricación

del acero inoxidable. La implementación de estas mejoras sería una prueba definitiva de la utilidad de estas técnicas de búsqueda de información y modelado. Por otro lado, se tiene previsto realizar un plan de simulación y control de resultados para validar resultados parciales de modelado y/o predicción, que garantizarían la bondad de los modelos propuestos.

En cualquier caso, al tratarse de acometer estudio y mejoras de procesos que se llevan a cabo de forma continua y diaria, el contraste de estos resultados parciales con la realidad es siempre posible, por lo que una vez verificados estos resultados, el éxito de haber encontrado esa información oculta y útil, no accesible por otros métodos de investigación, dependerá de la calidad y relevancia de dicha información.

El rápido crecimiento en la capacidad para almacenar los datos que han experimentado los procesos industriales, en concreto en la fabricación de aceros inoxidables junto con el desarrollo de los procesadores, proporciona nuevas posibilidades para analizar su comportamiento. En este proceso industrial existen gran cantidad de variables, muchas de ellas abiertas e imposibles de controlar. Como consecuencia, las relaciones entre variables no son lineales y por tanto no se puede realizar un modelo lineal. Para determinar el comportamiento del horno es necesaria la aplicación de técnicas de data mining.

Objetivos

El objetivo general es la predicción automatizada de tendencias y comportamiento del horno de recocido de acero inoxidable. La fase de recocido es posterior a la laminación en caliente, donde se reduce el espesor de la banda de acero y, como consecuencia, se destruye la estructura interna ordenada por agrupaciones de granos; éstos se encuentran rotos y la estructura está formada por bandas orientadas en el sentido de la deformación y con el recocido se recupera la estructura de la banda de acero inoxidable. Esta estructura implica la aparición de tensiones internas y de propiedades mecánicas no deseadas en la gran mayoría de las aplicaciones. En este horno se recupera

la estructura interna del material mediante un proceso de calentamiento.

Una característica común de los procesos industriales actuales es el constante y rápido crecimiento de su capacidad para almacenar datos, es decir, día a día se dispone de mayores volúmenes de históricos que contienen información acerca de dichos procesos productivos. Es cierto que la información reduce la incertidumbre y, por tanto, permite tomar mejores decisiones, sin embargo, al aumentar la cantidad de datos almacenados, la capacidad para asimilarlos disminuye, por lo que se hace necesario el uso de herramientas que permitan extraer conocimiento útil a partir de grandes conjuntos de datos. Es aquí donde tiene cabida el data mining, un área de investigación que pretende dar respuesta a esa necesidad de procesar y analizar 'masas' de datos con el fin último de encontrar y aprovechar el conocimiento útil contenido en ellos.

Fundamentalmente, se busca:

- Comprender el sistema a partir de los históricos del proceso.
- Mejorar el control y la planificación de las curvas de consigna del horno para cada tipo de acero, reduciendo el error entre la temperatura real de la banda y la esperada según el ciclo térmico que le haya sido asignado.
- Describir con detalle el proceso en que se divide la línea de fabricación del acero inoxidable, haciendo especial hincapié en el sistema de control del horno y en el modelo teórico del mismo.
- Realizar un estudio exhaustivo mediante técnicas de data mining y de análisis multivariante para determinar la relación entre variables, búsqueda de conocimiento oculto, etc.
- Realización de un modelo donde se desarrolle un sensor-software para la proyección de los puntos de operación del horno y la generación de alarmas. Conseguir la creación de una serie de modelos no lineales, mediante redes neuronales, para la predicción de las curvas de consigna óptimas de temperatura y velocidad de la banda, y para modelar el comportamiento de la misma, reduciendo así los errores entre las temperaturas reales y las esperadas de la banda. ■