

MODELIZACIÓN DEL PROCESO DE LAMINACIÓN DE CHAPA GRUESA MEDIANTE TÉCNICAS DE VISUALIZACIÓN Y MÉTODOS ADAPTATIVOS

Rodríguez Montequín, M^a.T. *; Mesa Fernández, J. M. *; Álvarez Cabal, V. **; de Cos Juez, F.J.**

*UNIVERSIDAD DE OVIEDO. Área de Matemática Aplicada
**UNIVERSIDAD DE OVIEDO. Área de Proyectos de Ingeniería.

Resumen

El proyecto descrito en esta comunicación tiene como finalidad la mejora del proceso de laminación de chapa gruesa mediante la simulación del "Cálculo Previo de Pasadas". La chapa gruesa se lamina haciendo circular el despaste sucesivas veces por una caja de laminación en ambos sentidos. Cada vez que el despaste atraviesa la caja de laminación se denomina "pasada". Cada pasada que se da al despaste a través de la caja de laminación debe ir marcada por unas consignas de reducción, fuerza y par para conseguir la chapa con las dimensiones requeridas. En el momento en que comienza la laminación se pone en marcha un proceso conocido como "Cálculo Previo de Pasadas" que se encarga de determinar el número de pasadas y las consignas de cada pasada para laminar la chapa. Este proceso busca la secuencia óptima de operaciones para minimizar el tiempo total de laminación pero sin sobrepasar los límites físicos impuestos al tren (reducción, fuerza y par máximos) ni afectar a la calidad de la chapa.

En esta comunicación se presenta el desarrollo de un modelo matemático basado en técnicas de redes neuronales que realiza la simulación del "Cálculo Previo de Pasadas". Este modelo ha sido implementado en un interface desarrollado en Visual Basic, que permite la utilización del modelo por los operarios y que representa los resultados gráficamente facilitando la interpretación de los resultados. Además el modelo permite introducir cambios en los parámetros de entrada de los modelos de forma que el proceso puede ser optimizado.

El proyecto se ha implantado en una de las factorías de transformación de acero más importantes de Europa y esta es la base para su extensión a otras dos factorías de la misma empresa.

Introducción

El objetivo del proyecto se centra en la mejora del proceso de laminación de chapa gruesa mediante la simulación del "Cálculo previo de pasadas". La laminación de chapa gruesa es un proceso de redimensionamiento semicontinuo en caliente,

donde se parte de desbastes de acero ortogonales y se obtiene chapa de un determinado grosor. Cada pasada del desbaste a través de la caja de laminación debe ir marcada por unas consignas de reducción, fuerza y par para conseguir la chapa con las dimensiones requeridas, y debe tener en cuenta factores como la temperatura, diámetro de los cilindros, lubricación, etc.

Antes de comenzar a laminar la chapa se lleva a cabo un proceso denominado "Cálculo Previo de Pasadas", encargado de determinar el número de pasadas y las consignas a aplicar en cada una para conseguir los objetivos. Este proceso busca la secuencia óptima de operaciones para minimizar el tiempo total de laminación pero sin sobrepasar los límites físicos impuestos al tren (reducción, fuerza y par máximos) ni afectar a la calidad de la chapa.

Como entrada para la simulación se toman las variables que definen al desbaste (dimensiones, tipo de material, tipo de laminación, temperatura de deshornamiento, ...), el tipo de laminación (bruta o controlada) y las características de la chapa que se desea conseguir (dimensiones y propiedades). La información es leída por la aplicación de una base de datos. La base de datos almacena también los resultados reales de las laminaciones, por lo que se pueden confrontar visualmente resultados previstos frente a reales. Los resultados de la simulación se muestran gráficamente, de forma que se simplifique el análisis de la información por parte de los tecnólogos de proceso. Se permite variar los parámetros de los modelos matemáticos de laminación como los límites físicos del tren, de forma que los tecnólogos puedan variar y estudiar el efecto que tienen sobre la laminación.

Descripción del proceso

La laminación es el proceso de manufactura mediante el cual se transforma el acero de una forma y longitud inicial a una forma final más pequeña y longitud mayor definida por el trazado del producto que se quiera fabricar.

La laminación se puede clasificar en 'continua' y 'semicontinua':

- En laminación 'continua' el proceso de redimensionamiento se consigue haciendo pasar el desbaste por varias cajas de laminación, en un único sentido.
- La laminación 'semicontinua' se caracteriza porque el redimensionamiento se consigue haciendo circular el desbaste sucesivas veces por una caja de laminación en ambos sentidos. Cada vez que el desbaste atraviesa la caja de laminación se denomina 'pasada'. La laminación de chapa gruesa es del tipo 'semicontinua'.



Figura 1: Tratamiento semicontinuo

El proceso en sí consiste en deformar la masa metálica de acero, en forma de desbastes, haciéndola pasar entre dos cilindros superpuestos que giran en sentido inverso:

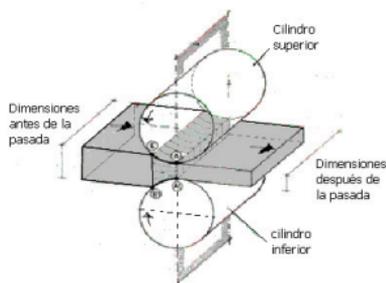


Figura 2: Esquema de los cilindros de laminación

En la laminación de una chapa se distinguen cuatro etapas diferentes. En primer lugar se aplican unas pasadas denominadas iniciales, con el objetivo de acondicionar el desbaste. Tras estas pasadas, el desbaste es girado 90° y comienzan a aplicarse pasadas de ancho, hasta que se consigue que el desbaste tenga el ancho objetivo en la chapa. Tras esto, el desbaste es vuelto a girar 90° y se procede a aplicar las pasadas de carga, en las que se persigue obtener la máxima reducción posible. Las últimas pasadas, denominadas pasadas de forma, siguen un esquema determinado para conseguir que la chapa resultante tenga las dimensiones y propiedades adecuadas.

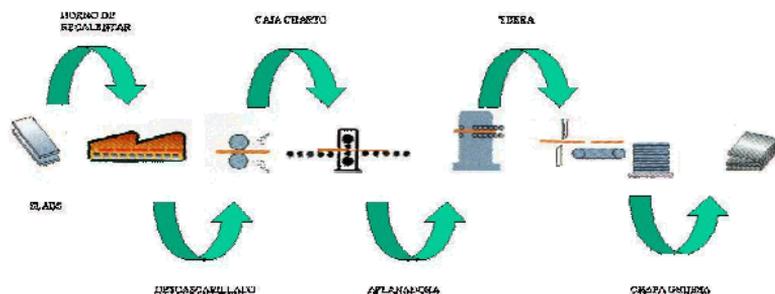


Figura 3: Proceso de fabricación de chapa gruesa

El proceso de transformación se lleva a cabo en caliente por lo cual es necesario elevar la temperatura de los desbastes en un horno de recalentamiento hasta conseguir la temperatura inicial adecuada que puede oscilar entre los $800\text{ }^\circ\text{C}$ y los $1150\text{ }^\circ\text{C}$. La temperatura, la fuerza y par aplicados, así como las dimensiones requeridas son los principales factores que influyen en el proceso, aunque existen

otros factores tales como diámetro de los cilindros, lubricación, tipo de acero que también deben de ser considerados en el proceso. Una descripción detallada del proceso y los fundamentos se puede encontrar en [Ka01] y [Wus69].

Para la predicción de las temperaturas, la fuerza y par aplicados y la forma conseguida existen modelos matemáticos que dependen de una serie de constantes empíricas y permiten mantener ajustados los modelos para diferentes condiciones de laminación, diferentes tipos de materiales o incluso diferentes trenes de laminación..

En función del tratamiento térmico al que se someta la chapa durante el proceso de laminación, se distinguen dos tipos de laminación: laminación normal y laminación controlada. En ambas se busca obtener una chapa con las dimensiones adecuadas, pero en laminación controlada se marca que las últimas pasadas se deben dar a una determinada temperatura, normalmente inferior a la que se darían esas pasadas en laminación normal. Para conseguir esto es necesario proceder a un tiempo de espera mientras se lamina para que se produzca el enfriamiento de la chapa.

En cada pasada se busca conseguir una determinada reducción que se logra aplicando en los cilindros de laminación una fuerza y un par determinados. Tanto la fuerza como el par, dependen de una serie de factores entre los que se encuentra la temperatura de la chapa, existiendo una relación de dependencia inversa entre temperatura y fuerza: cuanto más fría está la chapa, más fuerza hay que aplicar para conseguir una reducción determinada.

La determinación de las magnitudes reducción, fuerza y par entraña gran complejidad, debido a su dependencia de multitud de factores, muchos de ellos no cuantificables. Por lo tanto, en orden de realizar las estimaciones los modelos realizan una serie de simplificaciones, y se ajustan al proceso mediante coeficientes de aprendizaje adaptativo. Estos coeficientes de aprendizaje reflejan la corrección en función del error cometido entre pasadas y desbastes anteriores del mismo tipo de material.

Descripción del proyecto

El mercado de producción de chapa gruesa es un mercado muy competitivo en el que los factores de productividad, calidad y precio juegan un papel muy importante. Bajo este entorno es necesario estar continuamente investigando e innovando sobre todo el proceso de fabricación. Esta herramienta se encuentra englobada dentro de un proyecto que tiene como propósito la mejora de los modelos que se emplean en el proceso laminador de chapa gruesa. Dentro del proyecto se emplean técnicas de Inteligencia Artificial, principalmente Algoritmos Genéticos y Redes Neuronales. Una descripción detallada de las técnicas se puede encontrar en [Fre91] y [Gold89]. [Mon00], [Mon99], [Aba00]. Estas técnicas necesitan disponer para su aplicación de un conjunto de datos de laminación históricos para poder analizar y ajustar los modelos. Para disponer de este conjunto se debe capturar en una base de datos la información de todas las variables que intervienen en el proceso y los valores medidos de las magnitudes (fuerza, par o temperatura). La aplicación de estas

técnicas a la laminación de chapa gruesa y los resultados obtenidos se pueden encontrar en [Mon00], [Mon99] y [Aba00].

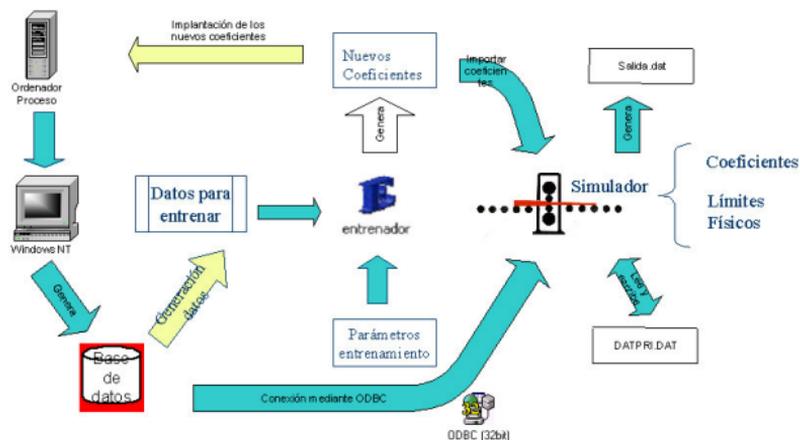


Figura 4: Esquema general del proyecto

En la Figura 4 se puede apreciar el esquema general del proyecto. El ordenador de proceso es el encargado de gobernar el procedimiento de laminación de chapa gruesa. En el residen los modelos implantados para la fabricación. Se procede en primer lugar a la captura de las variables de proceso. Esta información es almacenada en una base de datos. Partiendo de esta información se procede a optimizar los valores de las constantes empíricas que se emplean en los modelos aplicando diversas técnicas de Inteligencia Artificial implementadas en una herramienta denominada "Entrenador". Como salida de esta herramienta se obtiene un nuevo conjunto de constantes empíricas para los modelos. Antes de proceder a implantar unas nuevas constantes para los modelos en el ordenador de proceso del tren de laminación, es necesario simular el efecto que tendrá la aplicación, para lo cual se emplea la herramienta de simulación del "Cálculo Previo de Pasadas" desarrollada en este proyecto.

Descripción del simulador

El simulador está dividido en dos módulos, uno encargado del interface gráfico y otro encargado de los cálculos del plan de pasadas. Funcionalmente, el diagrama de contexto del sistema es:

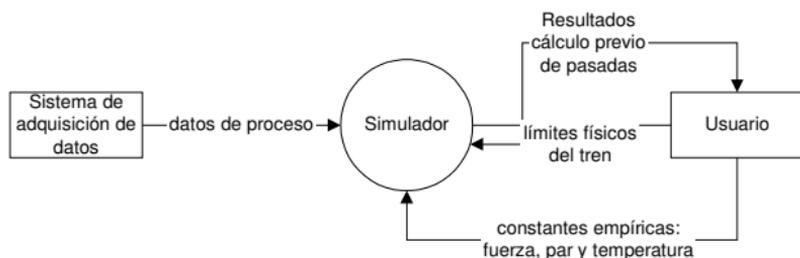


Figura 5: Diagrama de contexto

En este caso el simulador toma del sistema de adquisición de datos los valores de las variables de proceso y a petición del usuario realiza la simulación del cálculo previo de pasadas. El usuario especifica tanto las constantes empíricas de los diferentes modelos como los límites físicos del tren: fuerza, par y reducción límites, entre otros. El usuario recibe los resultados de dos formas distintas: en modo texto y gráfico. En modo gráfico se representa la fuerza, el par y la temperatura calculados frente a los reales.

En cuanto al diseño, la aplicación consta de dos módulos diferentes, el interface gráfico y el módulo de cálculos:

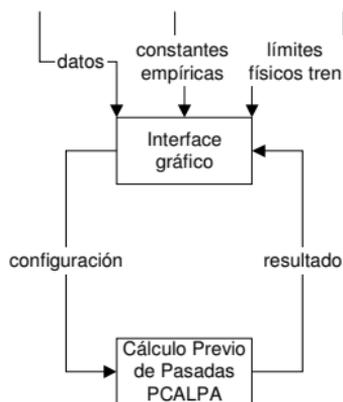


Figura 6: Diseño de la herramienta

El interface gráfico interacciona con el usuario, quien le facilita las constantes empíricas de los modelos y los límites físicos del tren. Las constantes empíricas de los modelos se guardan para su reutilización en ficheros ASCII. Las propiedades físicas del tren de chapa así como otros valores configurables se guardan en un fichero de inicialización.

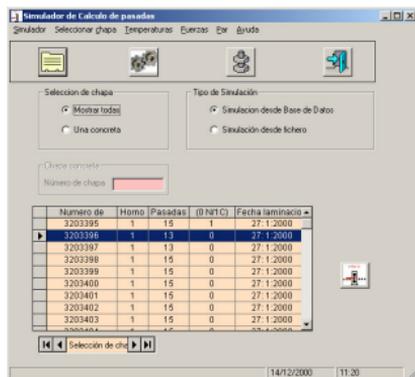


Figura 7: Pantalla principal del simulador

La simulación trabaja a nivel de desbaste. Se simula el cálculo de pasadas completo para un único desbaste de cada vez. Para poder realizar la simulación del cálculo previo se necesitan los valores de las variables que definen el desbaste. Las variables son leídas directamente de la base de datos que genera el programa de captura de datos a través de una conexión ODBC. Con esta información realiza el cálculo de pasadas.

La pantalla principal está dividida en cuatro zonas diferentes. En la parte superior está la barra de menús. Inmediatamente debajo está la barra de iconos para ejecutar las operaciones más habituales. En la parte central de la pantalla se encuentra la lista de chapas que hay en la base de datos y unos atributos característicos y por encima los botones de selección de chapa y de tipo de simulación. En la parte inferior se encuentra la barra de estado.

La aplicación permite la configuración de las constantes físicas y los límites del tren de laminación, así como la definición de las constantes empíricas de los modelos. Entre otros parámetros, permite variar los límites de fuerza, par y reducción máximos, la densidad del acero, la longitud máxima de tabla y el esquema de laminación. La herramienta es integrable con la aplicación de entrenamiento de forma que puede importar directamente las constantes empíricas para los nuevos modelos.

Para realizar la simulación se debe seleccionar en primer lugar el desbaste que se desea procesar. Tras esta operación, aparece la ventana que contiene los resultados de la simulación, con los valores que tomarán todas las variables implicadas en el proceso, como se puede ver en la Figura 9.

Resultados de la simulación

VALORES GENERALES

CD	IMP Desbaste	PROCE	NÚM D	ESCA	FRVSL	FRND	CALL	CRD
4	25	330395	C	7	00	1.04	0.034	02

VALORES EN CADA PASADA

N	PLT	PLW	PLL	DR	RDR	SAFF	CHI	CR
1	155.38	1948.0	2624.7	13.72	11	153.43	00	00
2	141.43	2624.7	1732.2	15.53	10	144.50	00	00
3	127.24	2624.7	1393.8	16.19	11	128.07	00	00
4	116.96	2624.7	2240.9	16.29	13	111.90	00	00
5	94.08	2624.7	2620.0	16.96	14	94.57	00	00
6	79.19	2620.0	2384.7	15.70	17	78.94	05	05
7	64.19	2620.0	4990.3	16.07	19	63.37	05	05
8	50.38	2620.0	5321.6	13.76	21	49.13	04	04
9	38.37	2620.0	6884.9	11.89	24	36.64	03	03
10	28.29	2620.0	8474.6	10.99	26	25.90	03	03
11	22.82	2620.0	11742.9	9.46	19	21.70	05	05
12	19.39	2620.0	13621.5	3.63	15	16.96	04	04
13	19.39	2620.0	13621.5	.00	00	30.96	06	06

Guardar Resultados

Figura 8: Resultados del cálculo de pasadas

Para poder proceder al análisis visual de la información mostrada, se puede representar gráficamente la evolución de las fuerzas, las temperaturas y el par calculados a lo largo de las pasadas de la laminación, y compararlas con los valores medidos realmente.

El diseño de las gráficas es configurable, pudiendo elegir entre líneas, barras y áreas, con o sin efecto tridimensional.

La herramienta es utilizada para evaluar los efectos que origina la modificación de los valores de las constantes empíricas o los límites del tren de laminación.

En las siguientes figuras se muestran ejemplos de la salida generada por el programa, observándose en la figura 13 el efecto que tiene el reducir la fuerza máxima aplicable por el tren de laminación, originando que se necesiten 15 pasadas para laminar una chapa que antes sólo necesitaba de 13:

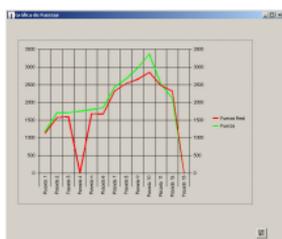


Figura 9: Representación de la evolución de la fuerza mediante líneas

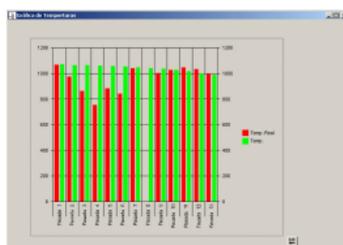


Figura 10: Representación de la Evolución las temperaturas con un gráfico de barras

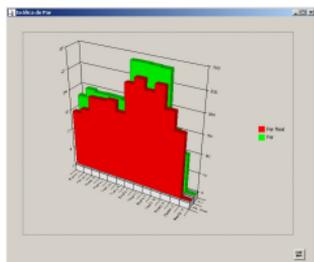


Figura 11: Representación de la evolución del par con un gráfico de área tridimensional

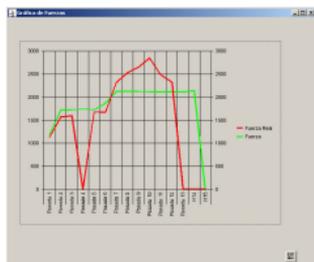


Figura 12: Efecto de la reducción de la fuerza máxima permitida

El módulo gráfico de la herramienta está desarrollado con Visual Basic, mientras que el módulo encargado de hacer el cálculo de pasadas, denominado PCALPA, está desarrollado en Fortran partiendo de los modelos implantados en el ordenador de proceso. La comunicación entre ambos módulos se realiza mediante el intercambio de ficheros.

La configuración hardware mínima que garantiza un rendimiento adecuado se compone de un PC Pentium II a 350 MHz con 64 Mb. de memoria RAM, disco duro de 3 GB de capacidad, monitor color SVGA y tarjeta de vídeo de 2Mb. El sistema operativo que se requiere es Windows 95 ó superior.

Conclusiones

El proceso de laminación de chapa gruesa se encuentra gobernado por una serie de modelos matemáticos. Las magnitudes más importantes que manejan los modelos son las temperaturas, las fuerzas y el par. La complejidad de predicción de estas magnitudes y los continuos cambios que se producen en los trenes de laminación (cambio de cilindros, reformas, ...) hacen que sea necesario reajustar los modelos periódicamente. Para evitar efectos no deseados antes de realizar el ajuste es necesario simular el efecto que producirá. Con este proyecto se minimiza el riesgo de fallos originados por malos ajustes de las constantes de los modelos de laminación.

Este proyecto facilita las labores de análisis por parte de los tecnólogos de proceso en una manera doble. Por un lado proporciona una manera visual e intuitiva de ver las consignas y los resultados de las laminaciones, y por otro lado permite introducir cambios en los modelos para estudiar su influencia. El proyecto se encuentra implantado en una de las factorías de transformación de acero más importantes de Europa.

Referencias

- [Kal01] Kalpakjian, S.; Schmid, S.R.; "Manufacturing Engineering and Technology". 4th edition. New Jersey (EEUU): Prentice Hall, 2001. ISBN 0-201-36131-0
- [Wus69] Wusatowski, Z.; "Fundamentals of rolling". Katowice (Polonia), Pergamon Press, 1969.
- [Fre91] Freeman, J.A.; Skapura D.M.; "Neural Networks. Algorithms, applications and programming techniques". Addison-Wesley, 1991.
- [Gol89] Goldberg, D.E.; "Genetic Algorithms in Search, Optimization & Machine Learning". Addison-Wesley, 1989.
- [Mon00] Montequín, V.R.; "Mejora de los modelos de temperatura, fuerza, par y forma de un tren de laminación de chapa gruesa". Oviedo (España): Tesis Doctoral, 2000.
- [Mon99] Montequín, V.R.; Roqueñí, N.; de Cos, J.; Alvarez, J.V.; "Optimización del modelo de temperaturas de un tren de chapa gruesa". León (España): XV Congreso Nacional de Ingeniería de Proyectos, 1999. ISBN 84-89716-48-X.
- [Aba00] Abajo, N.; González, J.A.; Montequín, V.R.; Ortega, F.; "Optimisation of temperature, rolling force and torque models in the heavy plate mill of Aceralia-Gijón through the use of neural networks and evolutionary strategies". Stockholm (Suecia): ROLLING 2000, 2nd European Rolling Conference at AROS Congress Centre, 2000.