

CONTROL DE PERFIL Y PLANITUD EN EL LAMINADOR DE CHAPAS EN CALIENTE DE SIDERAR ¹

Andrés Vigliocco ²

Carlos Biasoli ³

Resumen

Para mejorar la calidad de la chapa laminada en caliente SIDERAR implementó una importante actualización de su equipamiento y sistema de control del Laminador de Chapas en Caliente. Esta actualización incluyó sistema de roll bending en 5 stands, un medidor de planitud que utiliza la técnica de procesamiento de imágenes y un nuevo modelo de setup y control de perfil y planitud. Como resultado de la puesta en funcionamiento de los nuevos equipos tanto el perfil de espesor como la planitud a la salida del tren terminador han sido mejorados. Este documento describe brevemente el equipo, la puesta en marcha del mismo y los resultados obtenidos.

Palabras clave: Control de perfil; Control de planitud; Automación.

PROFILE AND FLATNESS CONTROL IN THE SIDERAR HOT STRIP MILL

Abstract

A profile and flatness upgrade was implemented to improve product quality in the SIDERAR Hot Strip Mill. The profile and flatness upgrade included of new roll bending equipment, a flatness gage using image processing system and a profile and flatness setup model and in bar control. As a result of the implementation of the new equipment both, strip crown and exit flatness have improved. This paper briefly describes the equipment, commissioning of the system and the results achieved.

Key words: Profile control; Flatness control; Automation

¹ 43° Seminário de Laminacao – Processos e Produtos Laminados e Revestidos, 17 - 20 de outubro de 2006 – Curitiba – PR - Brasil

² Laminación en Caliente SIDERAR S.A.I.C. San Nicolas - Argentina

³ Automacion SIDERAR S.A.I.C. San Nicolas - Argentina

1 INTRODUCCIÓN

La forma de la chapa, que está caracterizada por el perfil de su sección transversal y por la planitud, se está transformando en un importante requerimiento para los laminadores de Chapas en Caliente.

Las normas internacionales, bajo las cuales se vende la chapa, especifican que el espesor puede ser medido en cualquier zona de la misma, excepto a una pequeña distancia desde los bordes. Esto significa que independientemente de cuán bueno sea el control de espesor en la línea central de la chapa, variaciones importantes de corona pueden impedir el cumplimiento de las normas más estrictas y obligan a incrementar el espesor nominal al centro de la bobina para evitar caer debajo de las tolerancias mínimas cerca de los bordes. Dado que el perfil relativo de la chapa producida en el laminador en caliente no es posible cambiarlo significativamente en procesos posteriores⁽¹⁾ éste aumento de espesor en la línea central se transforma en pérdidas por rendimiento metálico, ya sea por parte del proveedor o del usuario.

Como parte de un plan de mejora de la forma de la Chapa Laminada en Caliente, SIDERAR llevó a cabo una reforma importante en el tren Laminador de Chapas en Caliente.

Dicha reforma incluyó la instalación de sistemas de roll bending en los 5 últimos laminadores del tren terminador, un medidor de perfil de espesor, un medidor de planitud a la salida del tren y un nuevo modelo de setup y control de perfil y planitud. Este documento describe brevemente el equipamiento instalado, la puesta en marcha y los resultados obtenidos.

2 CONFIGURACION DEL LAMINADOR DE CHAPAS EN CALIENTE DE SIDERAR

La configuración actual del tren terminador esta compuesta por 6 stands 4 en alto con roll bending instalado en los 5 últimos stands con fuerza controlada en valores entre 10 y 120 Tons/chock.

A la salida del tren terminador se encuentra un medidor de perfil de espesor por Rayos X. La medición de perfil de espesor es efectuada por método de escaneo tomando cada medición un tiempo del orden de los 12 segundos.

A continuación del medidor de perfil de espesor se encuentra un medidor de planitud de ultima generación y cuyas características se detallan mas adelante.

En la figura 1 se observa el layout del laminador y sus principales características.

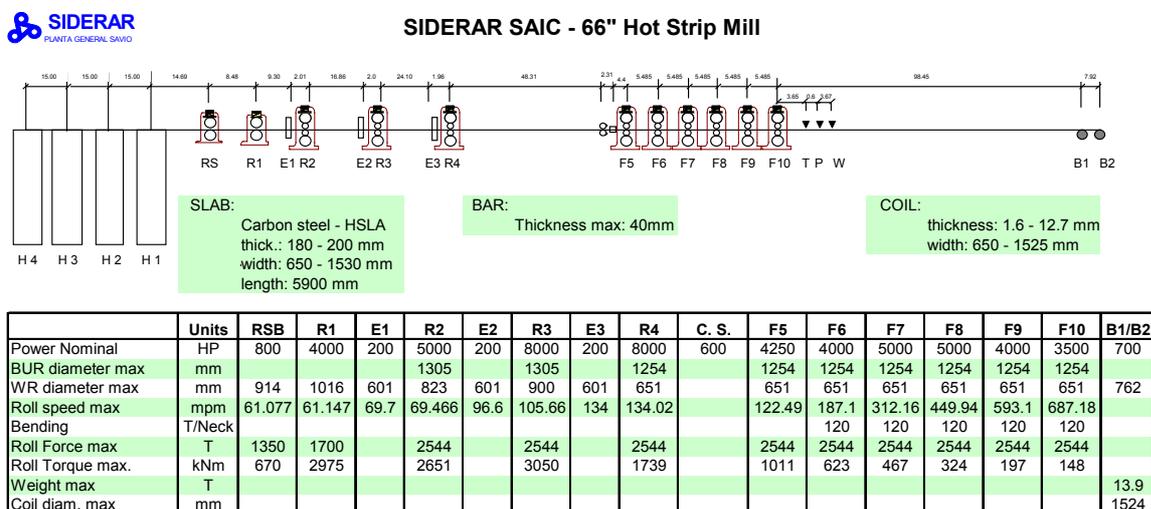


Figura 1. Layout Laminador de Chapas en Caliente

3 CONFORMADO DEL PERFIL Y PLANITUD DE LA CHAPA

En el conformado del perfil y la planitud de la chapa intervienen todos los stands del tren terminador. Desde el punto de vista de la planitud, el comportamiento del material en el tren terminador se puede representar por medio del “cono de admisibilidad de planitud”,⁽²⁾ Figura 2. Esta figura muestra el máximo cambio de perfil relativo admisible, sin aparición de ondulaciones, en función de la relación Ancho / espesor del material. Por lo tanto el eje de abscisas se puede interpretar como el avance de la chapa a lo largo del tren.

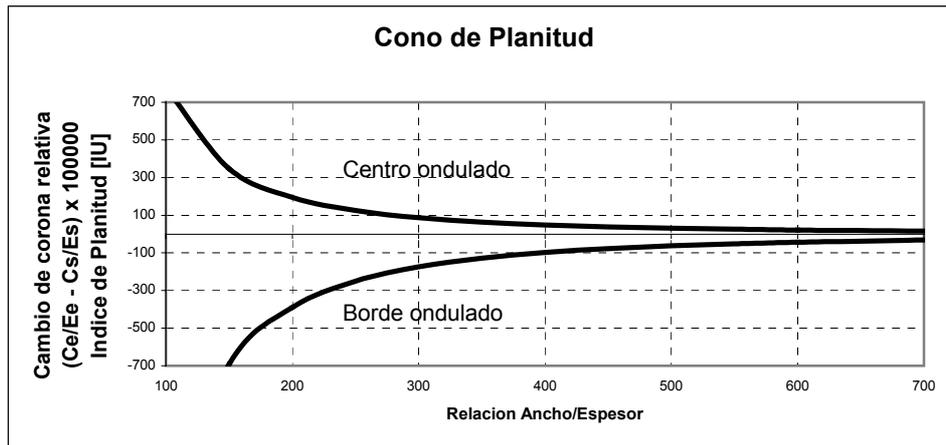


Figura 2. Límites de planitud

Este comportamiento del material es explicado por los siguientes fenómenos físicos:

- La capacidad de la chapa para copiar el perfil del gap es función de la posibilidad que tiene el material para fluir en sentido transversal al de laminación. Esto, a su vez, depende fuertemente de la relación ancho / espesor, la temperatura, características del material y efectos de caída de borde o desgastes localizados existentes en el rodillo.
- En la medida que la capacidad del material de fluir en sentido transversal al de laminación esté limitada se producirán distintas elongaciones de las fibras en el sentido de laminación. La diferencia en la longitud de fibras a la salida del stand producen problemas de planitud permanentes, y esfuerzos internos que decrecen a medida que el material viaja entre dos laminadores, generando un cambio del perfil entre stands.
- La tensión interestand (producida por los loopers y bobinadora) ayuda al cambio de perfil de la chapa fuera del gap.

De lo anterior se deduce que la conformación de la corona relativa (relación entre corona y espesor) se debe efectuar en los primeros laminadores (donde es posible el flujo de material en sentido transversal al de laminado) y mantenerla en los últimos stands para evitar problemas de planitud.

Perfil del Gap

Si se analiza la conformación del gap se puede establecer que el mismo está influenciado por los siguientes factores:

- La corona térmica de los rodillos es de significativa importancia y depende de las características de los rodillos, del pacing del laminador, longitud del arco de contacto, velocidad de laminado, longitud de las piezas, ancho y

temperatura de la chapa y de la práctica de refrigeración. En éste factor no sólo tiene influencia la historia del laminado, sino que, también dentro de la misma chapa, se producen cambios; fundamentalmente en los segundos posteriores al enhebrado, hasta arribar a una estabilización térmica.

- El desgaste de los rodillos de trabajo producido por el laminado es función de la fuerza de laminación, longitud de arco de contacto, ancho de la chapa, características del rodillo, etc. El desgaste de los rodillos de respaldo puede ser considerable al final de la campaña de los mismos, teniendo un efecto importante en el perfil del gap.⁽³⁾
- La fuerza de laminación y su distribución en el sentido transversal al de laminación produce aplastamiento y flexión de los rodillos. En éste cambio del perfil del gap tiene también importancia la corona de chapa que ingresa al stand que, si es distinta al perfil del gap (como generalmente ocurre), genera una distribución de fuerzas no uniforme.

Las herramientas con las cuales se puede modificar la forma del gap son:

- La corona mecánica de rectificado de los cilindros.
- El roll bending que, combinado con una adecuada práctica de rectificación, brindan un importante medio de control.
- La distribución de cargas en el tren terminador. Se debe acotar que éste medio se ve restringido por las potencias máximas admisibles, desgaste de rodillos, limitación de reducciones por razones de calidad superficial, etc.
- La práctica de refrigeración permite modificar la corona térmica de los rodillos pero su acción se refleja recién luego del laminado de varias chapas y depende fuertemente del ritmo de laminado.

4 SISTEMA DE CONTROL EN LINEA

La complejidad del proceso para la obtención de la forma deseada de la chapa muestra la necesidad de un sistema de control automático que permita el manejo de las variables “independientes”, para así maximizar el aprovechamiento de las instalaciones y obtener una buena calidad del producto.

Este sistema se basa en un modelado físico de todos los factores que tienen influencia significativa y que fueron mencionados anteriormente.

La estrategia del sistema de control es calcular y aplicar señales correctivas que permitan obtener el perfil y la planitud deseados para cada bobina. El mecanismo de corrección está basado en modificaciones del perfil del gap de cada laminador por medio de variaciones en la fuerza de bending.

El sistema de control se subdivide en tres módulos:

- **Setup:** una vez calculado el setup del tren terminador para la obtención del espesor y temperatura en cabeza, se calculan las fuerzas de bending necesarias para obtener la corona objetivo sin afectar la planitud.
- **Control dinámico de forma:** Se busca mantener constante la corona de chapa a lo largo de la pieza actuando sobre la fuerza de bending en función de los cambios que se producen en la fuerza de laminado y corona térmica. Este control dinámico se combina con un monitor de planitud que, a partir de la medición en línea, ajusta la fuerza de bending de los últimos stands para compensar los desvíos de esta variable.
- **Adaptación:** las mediciones de planitud, perfil de espesor, fuerzas de laminación, temperatura y espesor permiten hacer un análisis de las desviaciones entre los valores calculados por los modelos y las mediciones.

Estos desvíos son utilizados para hacer un auto ajuste de los modelos y mejorar el control en de las bobinas siguientes.

5 SISTEMA DE MEDICION DE PLANITUD TOPOMETRICO

El sistema de medición de planitud instalado es de ultima generación y permite registrar la planitud de la chapa en tres dimensiones a lo largo de toda la bobina. Un proyector de imágenes proyecta un patrón de líneas transversales sobre la superficie del material a lo ancho de toda la chapa. La proyección es detectada por una cámara (Figura 3)

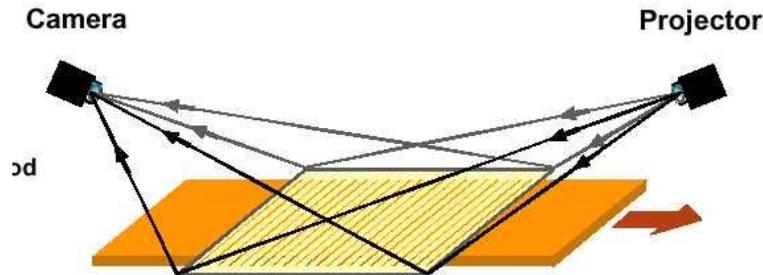


Figura 3. Principio de medicion del TopPlan

Cualquier alejamiento de la chapa del nivel de referencia debido a ondulaciones, causa distorsiones de las líneas proyectadas. Mediante métodos de procesamiento de imágenes se realiza el análisis matemático de las proyecciones, determinando la distribución de alturas y consecuentemente la planitud de la chapa.

Las ventajas del método de medición topométrico son:

- Medición sin contacto, tridimensional
- Alta resolución de la medición a lo largo de todo el rango de medición
- Posibilidad de medir objetos en movimiento y objetos estáticos
- Determinación de grados de fuera de plano muy pequeños (resolución 3 IU)
- Medición de la distribución longitudinal en todo el ancho de la chapa.

Distribución de Elongaciones

Los errores de planitud son identificados por las diferencias de longitudes relativas de fibras de chapa (Figura 4).

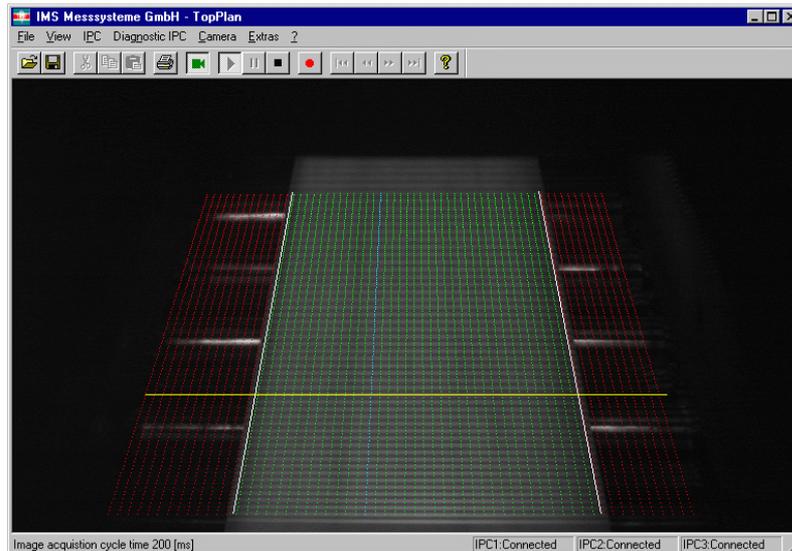


Figura 4. Determinación de longitud de fibras en línea

Siendo:

- L : Longitud de la fibra observada en cada caso correspondiente a la sección de chapa
- L_o : Longitud de la fibra más corta en la sección de chapa.

El índice de planitud I se mide en IUnits y está dado por

$$I (IU) = \frac{L - L_o}{L} \cdot 10^5$$

Determinación de las longitudes de fibras

El sistema de medición de planitud establece la elongación relativa de las diferentes fibras de la chapa y las distribuciones de elongaciones sobre el ancho de la chapa utilizando la matriz de alturas tridimensional de la sección de chapa observada.

El área de medición es de 1600mm de ancho x 1800mm de largo. Cubre 60 fibras a lo ancho de la chapa. En la dirección longitudinal de la chapa cada fibra está comprendida por 120 puntos de medición de alturas.

Determinación de la planitud

Basándose en el cálculo de alturas se calcula la elongación de las fibras obteniéndose el índice de planitud IU por fibra que es integrado utilizando la velocidad de la línea y de esta forma se genera un mapa de planitud de la bobina procesada. (Figura 5).

Esta información es presentada en tiempo real al operador para supervisión y ajuste del proceso.

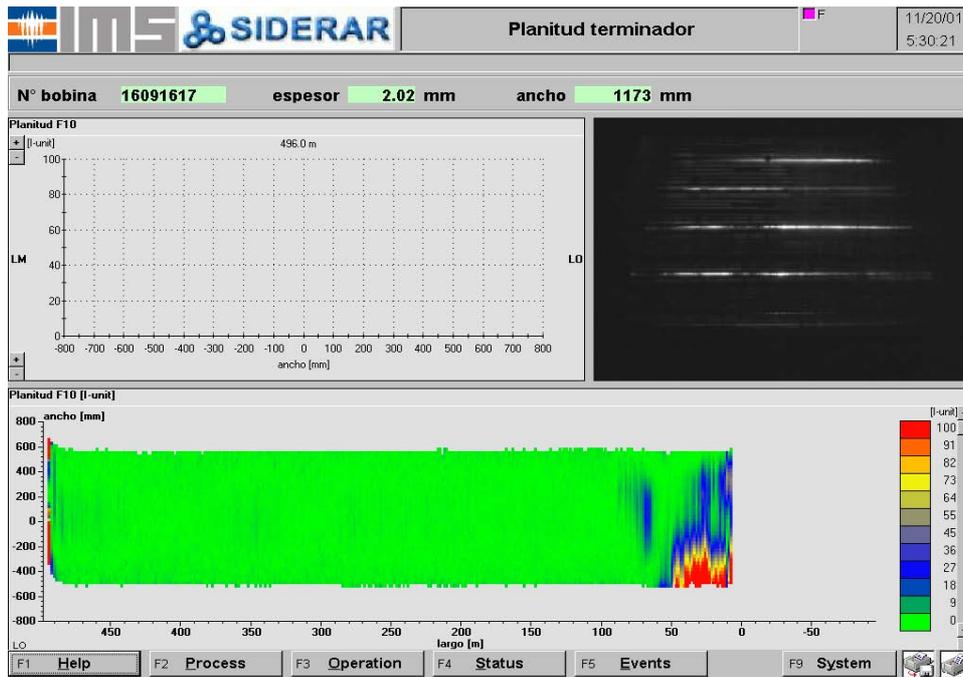


Figura 5. HMI del medidor de planitud

6 RESULTADOS OBTENIDOS

El sistema de control se ajusto y puso en marcha en dos etapas.

En la primera se ajustaron los modelos de corona térmica, desgaste de rodillos de trabajo y de respaldo para lo cual se efectuaron una serie de experimentos y análisis estadísticos.

La evaluación de performance se efectuó analizando el desvío estándar de la diferencia entre corona medida versus corona objetivo.

Los resultados se muestran en la Tabla 1:

Tabla 1. Mejora en acierto de corona de chapa

| Rango de espesor | Desvío estándar corona medida vs. objetivo [micrones] | |
|------------------|---|---------------------------|
| | Previo a la instalación del control | Con Control Automático |
| Menor a 2.00 mm | 23 | 9 |
| 2.01 a 3.20mm | 22 | 10 |
| Mayor a 3.20mm | 25 | 14 |

En una segunda etapa se instaló el medidor de planitud y se efectuó un ajuste del sistema de control de planitud utilizando la medición en línea como feedback y para la adaptación de los modelos.

La medición de planitud se descompone en componente simétrico y asimétrico. El componente simétrico es corregido mediante el sistema de roll bending mientras que el componente asimétrico es removido mediante el ajuste de paralelismo entre los rodillos de trabajo.

Las tolerancias que se utilizan para la evaluación de la performance son +/- 50 IU para espesores de bobina menores o iguales a 4.50mm y +/-20IU para espesores mayores.

En la Figura 6 se observa la evolución de la performance. El componente simétrico tiene una mejora significativa, pasando de valores del orden de 91% a superiores al 96% a partir de la puesta en marcha del control automático en lazo cerrado (mes 5). El componente asimétrico tiene una mejora muy importante pasando de valores del orden del 75% a superiores al 85%. El defecto asimétrico es controlado exclusivamente por el operador del laminador mediante el ajuste de paralelismo de rodillos de trabajo en los últimos stands. La mejora a partir de la puesta en funcionamiento del medidor de planitud se debe fundamentalmente a que éste permitió detectar y corregir defectos que no eran observables a simple vista.

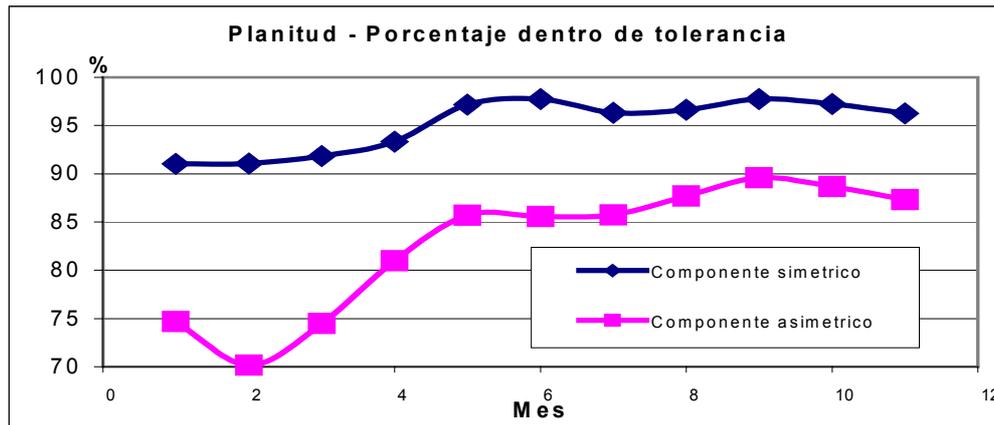


Figura 6. Medidor de planitud puesta en marcha y resultados

7 CONCLUSIONES

Este sistema ha permitido obtener una disminución importante en el desvío estándar de corona de la bobina laminada en caliente. Simultáneamente la planitud a la salida del tren terminador mejoró significativamente.

El sistema fue instalado y puesto en funcionamiento en el laminador durante las paradas de mantenimiento rutinario y sin interferir con la operación del laminador, consiguiendo una completa integración con el sistema de automatización existente.

REFERENCIAS

- 1 Clifford, D.D. ; "Effect of Hot Band Characteristics on uniformity of Cold Rolled Properties", Mechanical Working and Steel Processing Proceedings 1990, páginas 241/247
- 2 Shohet, K. N.; Townsend, N. A. "Flatness Control in Plate Rolling ", Journal of the Iron and Steel Institute, páginas .769/775, October 1971
- 3 Van Roey, J; Vergote, H; Mielke, R.; "Accurate profile and flatness control on a modernized hot strip mill", Iron and Steel Engineer, páginas 29/33, Feb. 1996