

OPTIMIZACIÓN DEL ACABADO SUPERFICIAL EN ACEROS ELÉCTRICOS: 47vo SEMINARIO DE ENROLLADO¹

Gerardo Salinas²
Osvaldo del Ángel²
Edmundo Bazar²
Marcela Laredo³

Resumen

Actualmente, las industrias de acero en todo el mundo deben mejorar continuamente la calidad del producto, la productividad y reducir costos para mantener la competitividad y asegurar su supervivencia. Es por eso que el objetivo del presente estudio es optimizar el acabado superficial para aceros eléctricos, con el fin de reducir finos de hierro en la superficie y trazas de óxido de hierro formado durante la laminación en caliente. Esto incluye la determinación de las mejores prácticas para una mejor limpieza en la superficie de la lámina en los procesos de laminación en caliente y decapados, entre las cuales se busca determinar la mejor temperatura de enrollado, la mejor velocidad de proceso de decapado. Para la obtención del mínimo de finos de hierro depositados en la superficie de la lámina, nuestra compañía llevó a cabo gran cantidad de pruebas con temperaturas de enrollado diferentes y velocidades de proceso de decapado diferentes. Se tomaron muestras para determinar el contenido superficial con diversos parámetros de proceso y se estandarizaron y realizaron los ajustes necesarios. Presentaremos los resultados obtenidos en cuanto a limpieza superficial, propiedades magnéticas antes y después del cambio de temperaturas de laminación en caliente y resultados de limpieza superficial de acuerdo a la velocidad del decapado. Los resultados son acompañados de sus análisis metalográficos.

Palabras clave: Superficial; Temperatura; Magnéticas; Decapado.

OPTIMIZATION OF ELECTRIC STEEL SURFACE CLEANLINESS: 47th ROLLING SEMINAR

Abstract

Currently, the steel industry in the world must continuously improve product quality, increase productivity and reduce costs to remain competitive and ensure their permanence in the market. That is why the objective of this study is to optimize the surface finish in electrical steels, with the aim of reducing the sinterized iron fines on the surface and traces of iron oxide formed during hot rolling, this includes the identification of best practices in coiling temperature for better cleanliness on the steel surface and determining the best pickling process speed to achieve the minimum Iron fines deposited on the surface. Our company made extensive testing with different coiling temperatures and finally adjusting the process parameters without affecting the required properties. Samples were taken to determine the surface content with different process parameters and were standardized and made the necessary adjustments. Present the results obtained in terms of surface cleaning, magnetic properties before and after the changes on coiling temperatures and surface cleaning results according to the rate of pickling process. The results are accompanied by graphics and metallographic analysis.

Key words: Surface, Temperature, Magnetic, Pickling.

¹ Trabajo a ser presentado en el 47º Seminario de Laminación – Procesos, Productos Laminados y Revestidos, 26 al 29 de octubre de 2010, Belo Horizonte, MG, Brasil.

² Ternium, S.A.

³ Universidad Autónoma de Nuevo León

1 INTRODUCCIÓN

El presente artículo técnico contiene los resultados de la investigación realizada en Ternium;⁽¹⁾ Planta Guerrero, ubicada en Monterrey, México, en la cual la producción anual de material correspondiente a este tipo de acero es de 120,000 toneladas.

Para el procesamiento del material eléctrico, la compañía cuenta con Horno eléctrico, Colada continua, Laminación en caliente, Decapado continuo,⁽²⁾ Molino Sendzimir (20 H), Recocido 100% H₂, Molino de Temple y Tensionado. Este acero eléctrico es de grano no orientado y su composición se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Análisis químico de acero eléctrico

Elemento	% Peso
C	0.064
Mn	0.45-0.75
Al	0.18-0.32
Si	0.40-0.85
Cu	0.15
Ni	0.15
Sb	0.018-0.04
Cb	0.009

Este artículo muestra la metodología y resultados de la investigación enfocada a la optimización del acabado superficial para aceros eléctricos (acero 5067) que siguen el proceso antes mencionado (proceso 45).

2 MATERIALES Y MÉTODOS

La práctica normal de enrollado en los molinos calientes para el acero eléctrico es realizada a una temperatura de 800°C, pero después de decapar aceros enrollados a esta temperatura se nota en la superficie la presencia de manchas con tonalidades brillantes y escamas.



Figura 1. Patrón de defecto de suciedad superficial en acero eléctrico en salida de decapado.



Figura 2. Zona problema con desprendimiento de superficie. Fotografía microscópica con aumento de 13X.



Figura 3. Zona problema con desprendimiento de superficie. Fotografía microscópica con aumento de 40X.



Figura 4. Fuera de zona problema con aumento de 13X.

En la Figura 1 se puede observar el patrón que tiene este defecto a la salida del proceso de decapado en láminas enrolladas a la temperatura de 800°C y velocidad de proceso de decapado de 180 m/min.

Este patrón consiste en dos franjas verticales en el centro de la lámina o bien una mancha amplia central. Dentro de la zona del problema se observan escamas en la superficie de la lámina (Figuras 2 y 3), las cuales conforman la parte clara del metal. La zona fuera del problema que se muestra en la Figura 4 corresponde a la parte oscura de la lámina, color que presentan con normalidad nuestros aceros eléctricos, donde no se observan defectos en la superficie.

Estas manchas superficiales en este tipo de aceros son observadas desde la entrada del proceso de decapado y son mucho más notorias en la salida. La presencia de estas manchas está asociada con la aparición de escarcha superficial que se observa a la salida del decapado, así como con reventones del acero eléctrico en el primer pase de molinos fríos, proceso que sigue al decapado. Las roturas de lámina en los molinos fríos son ocasionadas debido a que estos aceros introducen variantes en la lubricidad en la superficie de la lámina y/o apelmazamiento de material en la superficie de los rodillos del molino frío.

Este defecto también provoca que la productividad en el proceso de decapado sea baja, ya que este material tiene que ser procesado a baja velocidad para evitar acentuar las manchas.

Se delimitaron las áreas dentro de la zona problema y fuera de la zona problema, cuidando que el área fuera de la zona problema no mostrara índices de cubierta superficial.

Se realizó un análisis metalográfico llamado Análisis Superficial de Muestra (MEB)^(3,4) dentro y fuera de la zona problema. Se observan en la Figura 5 y 6 las áreas de una de las muestras que fueron analizadas.

Para el análisis estadístico de esta prueba se realizó una prueba t en cada elemento para analizar si las medias de las áreas de dentro y fuera de la zona problema son diferentes entre sí para algún elemento.

Se realizaron pruebas variando la temperatura de enrollado del acero en los molinos calientes, probando las temperaturas de 800, 750 y 720°C. Las propiedades magnéticas del acero dependen de temperaturas de enrollado, así que se realizó una medición de éstas para la producción a cada temperatura de prueba.

Las propiedades magnéticas que son mensuradas en aceros eléctricos son:

- Permeabilidad real: capacidad del material para crear un campo magnético, con respecto a una fuerza magnetizante aplicada.
(Para cálculo de la permeabilidad real consultar Anexo 1).
- Core loss: pérdida de energía debido a la histéresis y a las corrientes de Eddy (en forma de calor).

Para determinar el efecto de la temperatura de enrollado en las propiedades magnéticas del acero eléctrico se realizaron mediciones con el Determinador de Pérdidas Magnéticas,⁽⁵⁾ en donde se realizan tres mediciones a la muestra recocida.

A continuación se analizaron los cambios en estas propiedades magnéticas que resultaron de la variación de la temperatura de enrollado para establecer qué condición de temperatura es la más adecuada para conservar el valor de las propiedades magnéticas del acero eléctrico entre el rango de valores de calidad aceptables y que al mismo tiempo permita obtener los requisitos de limpieza a alta velocidad de decapado.

Se utilizaron herramientas estadísticas como el diagrama de caja y bigotes, cpk, así como un porcentaje real de defectivos.

Para la determinación de la mejor velocidad de decapado tomamos como referencia la limpieza obtenida en aceros eléctricos con una temperatura de enrollado de 800°C.

Se decaparon aceros enrollados a diferentes temperaturas en los molinos calientes, variando la velocidad de proceso y analizando la limpieza superficial obtenida después del decapado.

3 RESULTADOS

Podemos observar que en la Figura 5 existe una capa superficial en el acero y contrastar así la diferencia entre la Figura 5 y 6, ya que en la 6 no se nota defecto alguno en la superficie.

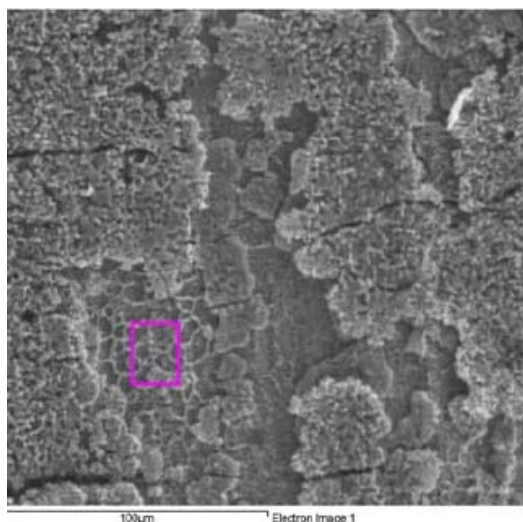


Figura 5. Área de muestra que se analizó dentro de zona problema en lámina decapada.

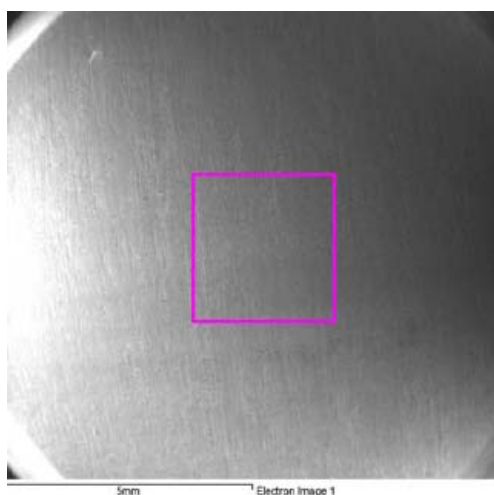


Figura 6. Área de muestra que se analizó fuera de zona problema en lámina decapada.

Tabla 2. Resultados en % peso de elementos encontrados en MEB dentro y fuera de zona problema en lámina decapada

Elemento	Dentro de zona problema	Fuera de zona problema	p-value
C	7.05 ± 3.79	9.38 ± 2.05	0.297
O	4.14 ± 0.72	4.32 ± 2.91	0.885
Al	1.14 ± 0.61	1.17 ± 0.28	0.93
Si	0.47 ± 0.13	0 ± 0	0.000109
Fe	87.15 ± 4.70	85.14 ± 3.79	0.497

Los resultados del análisis superficial (MEB) presentados en la Tabla 2, muestran la media para cada elemento encontrado en las 4 láminas analizadas así como su desviación estándar.

De la Tabla 2 podemos concluir que el silicio es el único elemento que presenta diferencias estadísticas en la composición del acero dentro y fuera de la zona problema.

Con base en esto se puede concluir que la capa superficial desprendida en aceros eléctricos está formada principalmente por óxidos de silicio, ya que estos son los compuestos que se forman con mayor facilidad en la superficie laminar.

Al comprobar esto nos avocamos a la tarea de realizar diferentes pruebas variando la temperatura de enrollado en el molino caliente.

Al iniciar las pruebas, se bajó la temperatura de enrollado en el molino caliente desde 800 a 720 °C para analizar qué efecto tenía sobre la limpieza superficial de los aceros eléctricos. El resultado fue una disminución notable de finos de hierro después del decapado, pero se vieron afectadas negativamente las propiedades magnéticas de aceros eléctricos con espesor banda caliente de 2.54 mm. Luego de esto tuvo que modificarse de nuevo el proceso de laminado en caliente aumentando hasta una temperatura de 750°C para que el acero eléctrico recuperara las propiedades magnéticas requeridas.

En la Figura 7 y 8 encontramos la distribución de los datos de las propiedades magnéticas para un espesor banda caliente de 2.54 mm y un calibre final (después de los molinos fríos) de 0.79 mm, con respecto a cada temperatura.

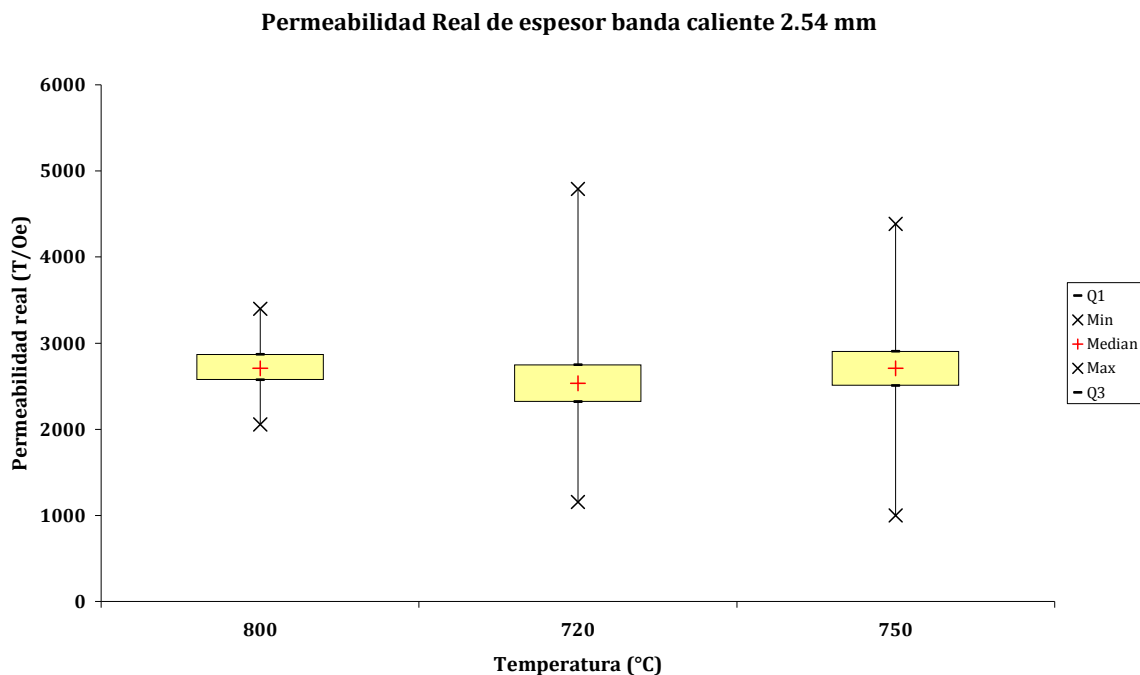


Figura 7. Gráfica de permeabilidad real contra temperaturas de prueba para aceros eléctricos con espesor banda caliente de 2.54 mm (calibre final 0.79 mm).

Core Loss de espesor banda caliente 2.54 mm

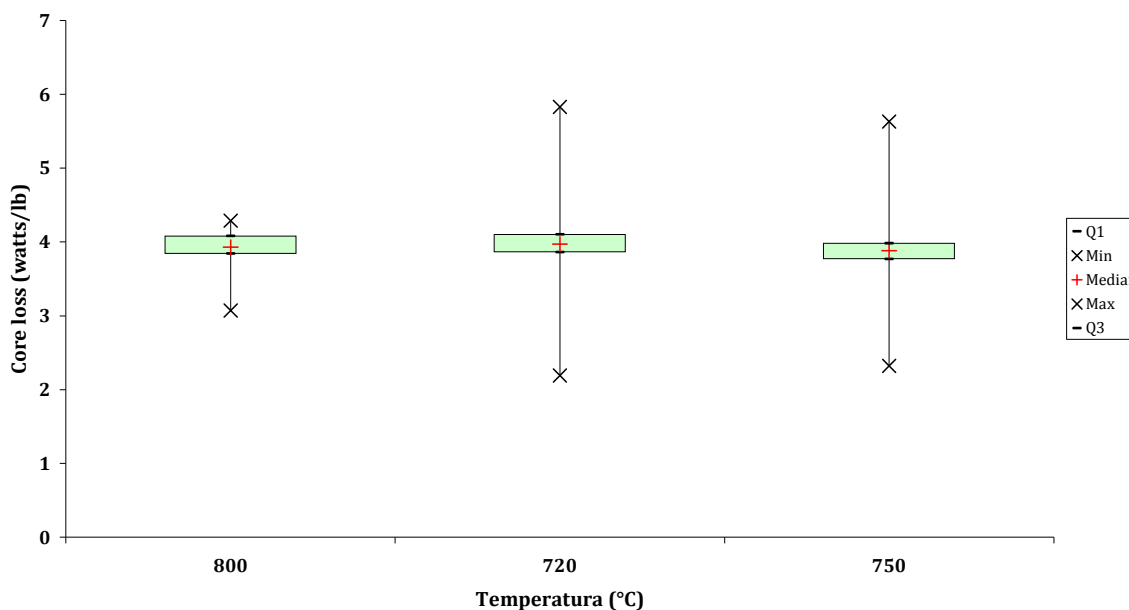


Figura 8. Gráfica de core loss contra temperaturas de prueba para aceros eléctricos con espesor banda caliente de 2.54 mm (calibre final 0.79 mm).

La calidad requerida de aceros eléctricos establece los límites de las propiedades magnéticas, los cuales se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3. Límites de propiedades magnéticas para acero eléctrico de calibre final 0.79 mm.

Propiedad	Mínimo	Máximo
Permeabilidad (T/Oe)	2000	-----
Core loss (watts-lb)	-----	4.89

En la Figura 9 encontramos una gráfica de control de proceso, la cual muestra cuál es la probabilidad de que los rollos no cumplieren con el valor mínimo de permeabilidad a la temperatura de enrollado de 800°C. Se observa que esta probabilidad es muy pequeña.

Analizando la Figura 9 en conjunto con la Tabla 4, podemos ver que a la temperatura de enrollado de 800°C no hubo rollos con propiedades fuera del rango aceptable, registrándose un 0% de rollos defectuosos.

Al disminuir la temperatura de enrollado a 720°C, como vemos en la Figura 8, aumentó considerablemente el área de la curva normal fuera de los límites del proceso así como el porcentaje de rollos que se encontraron fuera estándar de calidad.

A esta temperatura se registró el mayor porcentaje habido de incumplimiento de propiedades magnéticas en la producción de aceros eléctricos desde 2008.

Buscando que las propiedades magnéticas de aceros eléctricos se encuentren dentro del estándar de calidad se elevó la temperatura de enrollado hasta el valor de 750°C.

La Figura 9 muestra que a esta temperatura de enrollado la probabilidad de que la permeabilidad real se encuentre fuera del rango aceptable es mucho menor y

se confirmó habiendo una notable disminución del porcentaje de rollos que no cumplen con los requisitos magnéticos, como muestra la Tabla 4.

Tabla 4. Porcentaje de rollos fuera de límites de propiedades magnéticas.

Propiedad	Temperatura de enrollado (°C)		
	800	720	750
Permeabilidad Real (T/Oe)	0	2.82	0.80
Core Loss (watts/lb)	0	1.95	0.42

La variación del core loss sigue una tendencia muy similar a la de la permeabilidad y el porcentaje de rollos fuera del estándar es mucho menor al de esta.

Permeabilidad real de aceros eléctricos enrollados a 800°C

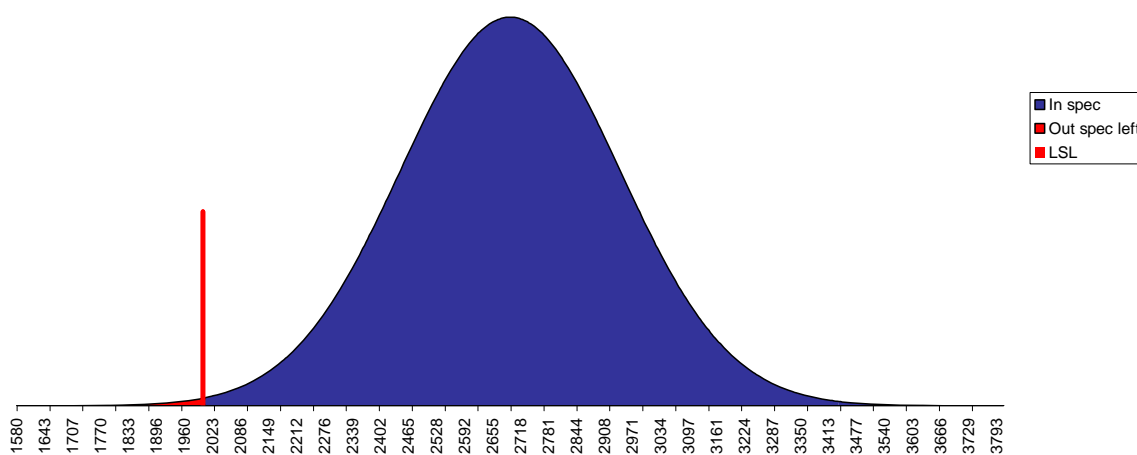


Figura 9. Gráfica de control de proceso para permeabilidad real de aceros eléctricos enrollados a 800°C con espesor banda caliente de 2.54 mm con un mínimo de 2000 T/Oe.

Permeabilidade real de aceros eléctricos enrollados a 720°C

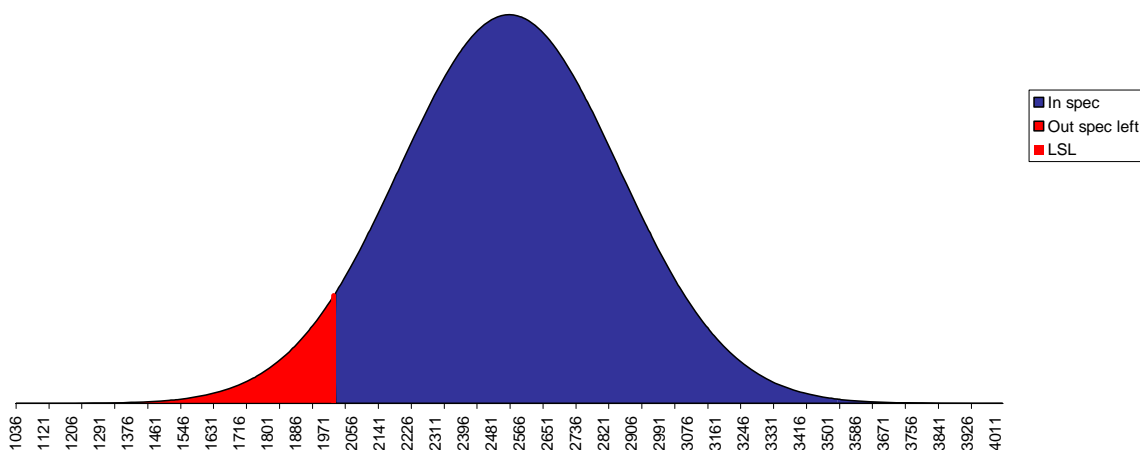


Figura 10. Gráfica de control de proceso para permeabilidade real de aceros eléctricos enrollados a 720°C con espesor banda caliente de 2.54 mm con un mínimo de 2000 T/Oe.

Permeabilidade real de aceros eléctricos enrollados a 750°C

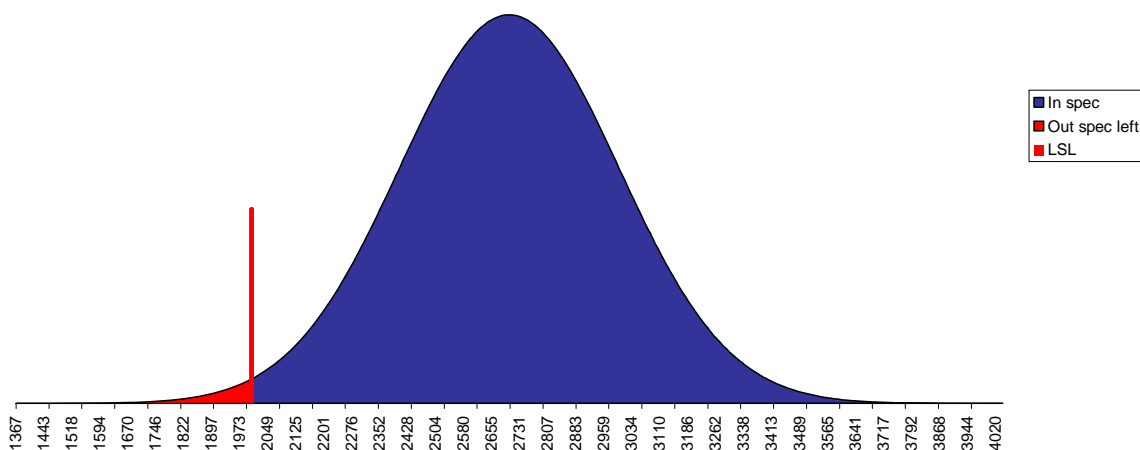


Figura 11. Gráfica de control de proceso para permeabilidade real de aceros eléctricos enrollados a 750°C con espesor banda caliente de 2.54 mm con un mínimo de 2000 T/Oe.

La velocidad de proceso para obtener un buen decapado en aceros enrollados a esta temperatura no sobrepasó los 180 m/min, ya que a velocidades mayores se obtuvo escarcha en la superficie.



Figura 12. Acero eléctrico enrollado a 800°C después ser decapado a una velocidad de 180 m/min.

La Figura 12 muestra lámina decapada en la que hubo abundante presencia de finos de hierro depositados en la superficie. Bajo estas condiciones de proceso hubo mucha escarcha en la salida del decapado y comunes reventones en el molino frío.

Al disminuir la temperatura de enrollado a 720°C se pudo trabajar a la máxima velocidad de decapado (270 m/min) y cumplir con los requisitos de limpieza para aceros eléctricos, pero al verse afectadas las propiedades magnéticas se aumentó la temperatura de enrollado a 750°C.

En la Figura 13 se observa acero eléctrico decapado a una velocidad de 250 m/min. La temperatura de enrollado de esta lámina fue 750°C. A esta velocidad se obtuvieron manchas negras en las orillas de la lámina, ocasionadas por un mal decapado aunque sin depósitos de hierro superficiales.



Figura 13. Acero eléctrico enrollado a 750°C después ser decapado a una velocidad de 250 m/min.



Figura 14. Acero eléctrico enrollado a 750°C después ser decapado a una velocidad de 230 m/min.



Figura 15. Acero eléctrico enrollado a 750°C después ser decapado a una velocidad de 200 m/min.



Figura 16. Acero eléctrico enrollado a 750°C después ser decapado a una velocidad de 180 m/min.

La óptima limpieza mostrada en la Figura 14, 15 y 16 se obtuvo a una velocidad de proceso de decapado menor a 250 m/min, rollos en los cuales no se encontraron manchas de mal decapado ni finos de hierro depositados en la superficie.

Así concluimos que es posible decapar aceros eléctricos enrollados a 750°C hasta una velocidad de decapado de 230 m/min sin problemas de escarcha superficial ni de franjas de mal decapado en las orillas.

4 CONCLUSIONES

La capa superficial desprendida en aceros eléctricos está formada principalmente por óxidos de silicio.

La temperatura de enrollado de 750°C en aceros eléctricos presenta un menor porcentaje de rollos fuera del estándar de calidad para propiedades magnéticas que la temperatura de enrollado de 720°C.

Aceros eléctricos enrollados en los molinos calientes a 750°C no presentan finos de hierro depositados en la superficie de la lámina antes ni después del decapado, disminuyendo reventones de lámina y contaminación atmosférica en la línea de producción.

Es posible decapar aceros eléctricos enrollados en los molinos calientes a 750°C a una velocidad menor o igual a 230 m/min sin dejar manchas negras por mal decapado.

REFERENCIAS

- 1 Ternium Hylsa S.A. de C.V., División Aceros Planos.
- 2 Decapado 2. Ternium México, Planta Guerrero. del Ángel, Osvaldo.
- 3 Análisis Superficial de Muestras en Microscopio Electrónico de Barrido (MEB). Laboratorio Químico. Ternium México, Planta Guerrero. Hernández, Raymundo.
- 4 Análisis Superficial de Muestras en Microscopio Electrónico de Barrido (MEB). Laboratorio MEB. Ternium México, Planta Juventud. Caballero, Sergio.
- 5 Determinador de Pruebas Magnéticas EPSTEIN. Laboratorio metalográfico. Montemayor, Ricardo.