

ELIMINATION OF DIMENSIONAL IRREGULARITIES OF BLADES WORKED IN COLD THROUGH TENSIONLEVELLING

ELIMINACIÓN DE IRREGULARIDADES DIMENSIONALES DE LÁMINAS TRABAJADAS EN FRÍO MEDIANTE TENSIONIVELADO

Recibido: 05 de mayo 2013- aceptado: 29 de noviembre 2013

Jorge Enrique González Coneo.¹
Universidad de la costa

Cristian Antonio Pedraza Yepes.²
Universidad Simón Bolívar

Keywords:

Plastic deformation,
inverse bending,
geometrical defect,
tension leveling, cold
working

Abstract

The tensionlevelling is a process of plastic deformation applied principally to sheet of steel that present irregularities in his final form due to the application of Cold Work. This process find to produce a new uniform distribution of internal Stress and a controlled deformation by means of the application of forces and inverse bending moments on the material. This process is made to eliminate a great number of defects so that they can appear on the sheet of metal and can be carried out by means of the alternate bending of the sheet with or without the application of an additional external tension, but the presence of this increases to the effectiveness of the process and the rank of thicknesses that can be worked. The Tension leveling process can be approached by means of the use of numerical methods, the experimental design and by analytical methods.

Palabras clave:

Deformación plástica,
flexión inversa, defectos
de forma, tensionivelado,
trabajo en frío.

Resumen

El tensionivelado es un proceso de deformación plástica aplicado principalmente a láminas de acero que presentan irregularidades en su forma final debido a la aplicación del trabajo en frío. Este proceso busca producir una nueva distribución de esfuerzos internos uniformes y una deformación controlada mediante la aplicación de fuerzas y momentos de flexión inversa sobre el material. Este proceso se realiza para eliminar un gran número de defectos de forma que pueden presentarse sobre la lámina y puede llevarse a cabo mediante la flexión alternada de la lámina con o sin la aplicación de una tensión externa adicional, pero la presencia de esta aumenta la efectividad del proceso y el rango de espesores que se pueden trabajar. El proceso de tensionivelado puede abordarse mediante el uso de métodos numéricos, el diseño experimental y por métodos analíticos.

1. Magister en ingeniería Mecánica, Universidad del Norte. Docente tiempo completo. Universidad de la Costa. Barranquilla, Colombia. E-mail: jgonzalez@cuc.edu.co

2. Docente tiempo completo. Universidad Simón Bolívar, Barranquilla, Colombia. E-mail: cpedraza1@unisimonbolivar.edu.co

I. INTRODUCCIÓN

Durante el proceso de obtención de láminas delgadas de acero mediante la aplicación de trabajo en frío, el material sufre deformaciones irregulares que producen tensiones internas en el mismo. Estas deformaciones generan una serie de defectos geométricos o de formas en la lámina, tales como la formación de ondulaciones o pérdidas de rectitud.

Estos defectos pueden alcanzar niveles que son inaceptables, principalmente cuando la lámina se va a emplear en la fabricación de productos en los cuales se requieren altos estándares de plenitud de la misma (envases, aplicaciones ornamentales, tejados, entre otros). De los defectos mencionados, las ondulaciones, son las que se presentan con mayor frecuencia provocando láminas susceptibles de ser rechazadas por el cliente.

Estos defectos se miden mediante las denominadas I-units, las cuales están normalizadas por la ASTM. De forma general lo que se hace es evaluar la longitud de la ondulación y la amplitud de la misma.

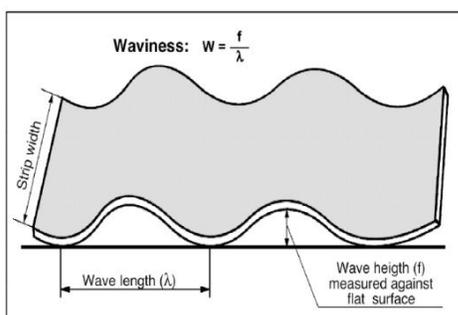


Figura 1.

Medición de la I-units

Para hacer que la lámina disminuya la intensidad de las ondulaciones esta se somete a un proceso combinado de tensión elevada y flexión alternada, denominado tensionivelado, mediante el cual se hace llegar al material su estado plástico, produciéndose sobre estas deformaciones controladas más uniformes y obteniéndose una distribución más regular de los esfuerzos al interior de este.

Con este trabajo se busca presentar algunos aspectos teóricos sobre el proceso de deformación plástica y consideraciones de tipo analítico sobre la aplicación del proceso anteriormente mencionado para la eliminación de defectos de forma producidos por el trabajo en frío.

II. DESARROLLO

El proceso de tensionivelado es una de las técnicas utilizadas para corregir defectos en la forma final de la lámina y es muy útil cuando la magnitud de estos es significativa, es decir son rechazadas en el control de calidad.

Los principios básicos aplicables al tensionivelado se conocen desde hace más de un siglo [1], pero su implementación en trenes de laminado continuo se ha desarrollado de manera importante después de la segunda mitad del siglo XX.

Los defectos de forma, presentes en las láminas, se deben principalmente a la presencia de deformaciones no uniformes al interior del material, dada su anisotropía. Para eliminar estas deformaciones irregulares que producen a su vez esfuerzos residuales, lo que se busca es llevar a la lámina nuevamente a su estado plástico con el fin de inducir unos esfuerzos y deformaciones más uniformes. Es decir que se trata de que las fibras alcancen un estado de esfuerzos superior al del punto de fluencia del material con el fin de producir cambios permanentes en la estructura. Los rodillos centrales que se observan en la figura 2 se les llama niveladores y los rodillos de mayor tamaño que se pueden ver a los lados se denominan bridas y tienen como función inducir esfuerzos de tensión a la lámina mediante la diferencia de velocidades de las mismas.

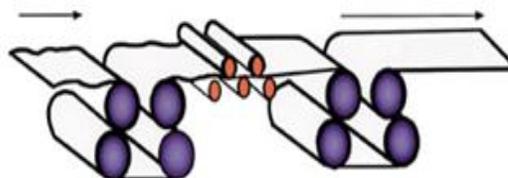


Figura 2. Esquema del proceso de tensionivelado, tomado de [2]

El proceso de tensionivelado involucra el efecto combinado de la flexión alternada de la lámina (rodillos niveladores) y la aplicación de fuerzas de tensión elevada (efecto de la diferencia de velocidad de las bridas). El efecto de la flexión es inducir estados de tensión y compresión a un lado y otro de la línea neutra. Si las condiciones en las que se realiza la flexión de la lámina son adecuadas los esfuerzos en algunas zonas del material sobrepasarán el punto de fluencia y se producen deformaciones permanentes [3], tal como se ilustra en la figura 3.

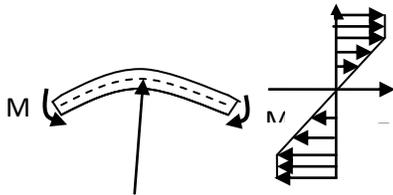


Figura 3. Flexión en una viga y Distribución de esfuerzo para un material perfectamente elástico – plástico.

Dado que la flexión se alterna, también se invierten los signos de los esfuerzos sobre la lámina. La función de la aplicación de una fuerza de tensión elevada es facilitar alcanzar más fácilmente el punto de fluencia y desplazar la línea neutra hacia la cara interna de la curvatura, lo que permite que una mayor cantidad de material por encima de la línea neutra alcance un estado plástico (ver la figura 4)

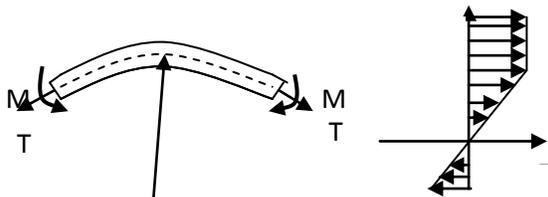


Figura 4. Tensión y Flexión sobre la viga material perfectamente elástico – plástico.

La figura 5 muestra como se concentran los esfuerzos en la zona en la que se induce la flexión de la lámina, estando como es de esperarse los mayores valores en las caras externas de la misma. Un radio de curvatura muy elevado puede provocar la falla del material.

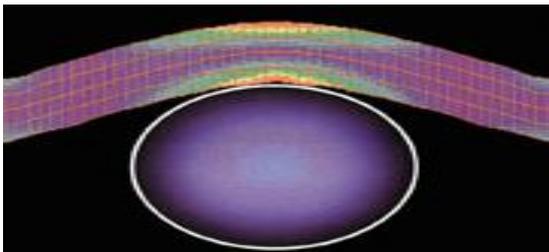


Figura 5. Concentración de Esfuerzos durante el tensionivelado, tomado de [2]

Se puede observar en la figura 6 que en los rodillos externos producen una flexión sobre la lámina que tiene una curvatura inversa a la que le induce el rodillo central o de penetración. La magnitud de la curvatura de la lámina tiene una relación directa con el momento flector que se aplica sobre el producto en cada etapa. También se infiere que la distancia entre los rodillos extremos, la penetración o desplazamiento del rodillo central así como los diámetros de todos los rodillos afectan la forma y la intensidad de la curvatura.

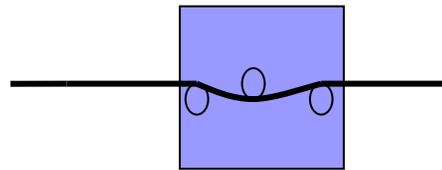


Figura 6. Etapa de aplanado en el proceso de Tensionivelado.

Por otra parte se sabe que si el material tiene un espesor bajo y se somete a una flexión severa, el material puede alcanzar, tal como se menciona, el nivel de falla por ruptura, debido a que supera el esfuerzo máximo que puede soportar. En este punto la tensión externa evita someter el material a condiciones extremas de flexión y facilita la inducción de un estado plástico en el (ver figura 5 y 7). Por lo anterior se intuye que el espesor del material es un parámetro básico en el análisis del proceso.

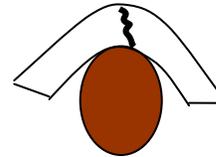


Figura 7. Flexión severa de la lámina

Según Henry Theiss [3], el emplear tensión adicional permite trabajar láminas de menor espesor, aumentando el rango de trabajo, pero no modifica el máximo valor que se puede nivelar para un material dado.

Dado que se busca llevar la lámina hasta un punto superior al de fluencia pero sin alcanzar la falla, el análisis debe involucrar las propiedades mecánicas del material tales como el punto de fluencia y de ruptura del

material, su modulo de elasticidad y apoyarse en sus curvas de esfuerzo deformación.

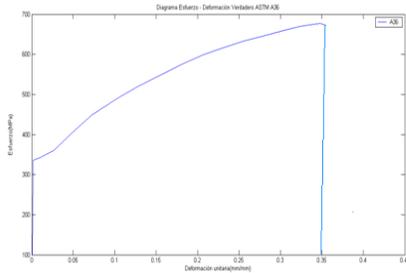


Figura 8. Diagrama esfuerzo-deformación típico

Autores como M.G Kinnavy [1] consideran en que los parámetros básicos que intervienen en el proceso de nivelación son:

- Tensión aplicada.
- Radio de curvatura.
- Modulo de elasticidad.
- Campo de esfuerzos y deformaciones.

El proceso de tensionivelado ha sido estudiado por diversos autores [4]; [5]; [6]; [7], con el fin de desarrollar modelos numéricos que permitan simular y predecir el comportamiento de la lámina bajo ciertas condiciones o modelos analíticos que permiten calcula por ejemplo el radio mínimo de curvatura para evitar la fractura del material de cierto espesor y a una determinada tensión [8].

Una expresión comúnmente aceptada para estimar el radio mínimo en laminas de aceros es la establecida por: $R_{min} = 0.5t$, donde t es el espesor de la lámina [9].

También podría obtenerse un valor de manera aproximada a partir de:

$$\varepsilon = \ln \left(\frac{R_{min} + t}{R_{min} + \frac{t}{2}} \right)$$

Donde ε es la deformación real y debe evaluarse para el punto de del esfuerzo máximo, el cual puede estimarse a partir de un diagrama Esfuerzo- Deformación real.

La principal dificultad que han encontrado para la obtención de sus modelos analíticos y numéricos se relaciona con el modelo elasto-plástico que asuman del material. (elasto - plástico ideal, con endurecimiento, otros) y que el material no solo se encuentra sometido a

tensión y flexión sino que también actúan fuerzas de contacto que inducen no linealidades en el sistema.

El desarrollo de estos modelos analíticos sirve de base para realizar estimativos de las fuerzas necesarias para llevar el material a la zona plástica bajo ciertas condiciones [1], otros sirven para determinar el esfuerzo crítico para el cual se produce el fenómeno de buckling [10]. Todos estos modelos deben validarse en forma experimental para hacer los ajustes respectivos. Otra gran limitante para el desarrollo de un modelo que sea ampliamente utilizado se debe a que no existe un único tipo de maquina tensioniveladora, ya que los materiales pueden presentar defectos diversos [11]:

- Lengthbow (arqueado longitudinal, bobinado)
- Crossbow (arqueado transversal)
- Twist (torcimiento)
- Camber (Combarse)
- Edge wave (ondas laterales)
- Bucle(center,quarter)
- Saddle (silla de montar)

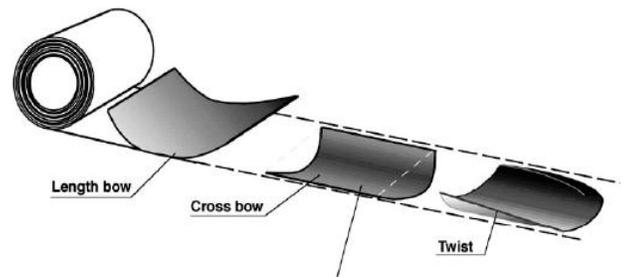


Figura 9. Defectos superficiales por deformación en frio

De acuerdo al tipo de defecto la máquina tendrá una cierta configuración y la forma de los rodillos empleados es diferente. Para eliminar algunos de estos defectos no se requiere de la aplicación de una tensión externa elevada.

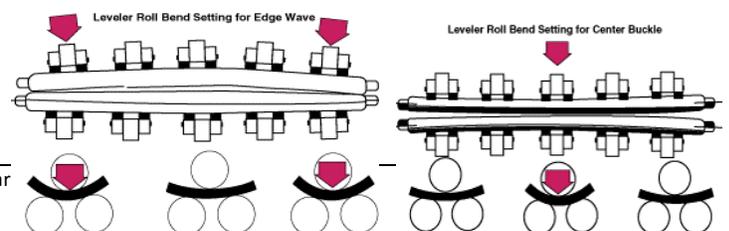


Figura 10. Configuraciones de maquinas tensioniveladora

La tendencia de muchos investigadores es seguir trabajando en modelos numéricos incluyendo aquellos aspectos que inicialmente se simplificaban en el modelo o que no se tenían en cuenta. En la actualidad las empresas aplican el análisis y diseño experimental para obtener modelos de regresión o experimentales para realizar la predicción de la configuración geométrica final de la lámina. Posteriormente realizan la optimización del proceso. Estos modelos de predicción solo tienen validez para una máquina específica y bajo las condiciones de operación de dicho sistema.

III. CONCLUSIONES

El tensionivelado es un proceso empleado ampliamente para corregir las irregularidades dimensionales que sufren las láminas deformadas por trabajo en frío.

El estudio del proceso de tensionivelado cae dentro del campo de la teoría de la plasticidad y no existe un modelo único analítico o numérico para controlar o predecir el comportamiento final o el estado final de la lámina tensionivelada, debido a los diferentes tipos de máquinas utilizadas en este proceso y a las no linealidades presentes en el sistema.

Las empresas desarrollan modelos de control a partir del diseño experimental con el fin de mejorar el resultado final del proceso. Es decir, el efecto del tensionivelado puede estimarse estableciendo un modelo estadístico, basado en la medición de los parámetros de funcionamiento y condición final de la lámina.

IV. BIBLIOGRAFIA

[1] M.G. Kinnavy, Design considerations in tension leveling systems, *Iron and Steel Engineer*. 0021-1559, v 67. 1990.

[2] E. Theis, Flatness in coil processing operations: New turns in the leveling process.

Accesible en URL:http://www.thefabricator.com/CoilProcessing/CoilProcessing_Article.cfm?ID=436. Consultado el 25 de julio de 2008.

[3] H. Theis, Stress/Strain curves & The Leveling Process Accessible en URL : <http://archive.metalfformingmagazine.com/1998/01/STRESS/SSCURVE.HTM>. Consultado el 28 de Julio.

[4] I. Sheng-Zhi, Numerical Simulation of Continuous Tension Leveling Process of Thin Strip Steel and Its Application. *Journal of Iron and Steel Research, International*. Volumen 14, pag 8-13. 2007.

[5] H. Hoon, et al. The parametric process design of tension leveling with an elasto-plastic finite element method. *Journal*, Volumen 113, pag 714-719. 2001.

[6] J.W, Morris, et al. Formation of residual stresses owing to tension leveling of cold rolled strip, *Ironmaking&Steelmaking*. Volumen 28. Pag 44 – 52. 2001.

[7] H. Boulter y Fox, Bending loss calculations. *Applied Industrial Control Solutions*. 2000.

[8] W. Baicheng, Roll Forming High – Strength Materials. Accessible en URL :http://www.thefabricator.com/TubePipeProduction/TubePipeProduction_Article.cfm?ID=1599. Consultado el 25 de julio de 2008.

[9] Kalpakjian, Ingeniería y Tecnología de Procesos de Manufactura. México, Prentice Hall. 2006.

[10] P. Mucle, Shape deviations in strip. Accessible en URL :http://www.andritz.com/sundwig_shape_control_systems.pdf. Consultado el 28 de Julio.

[11] A. Hedrick, Forming High- Strength Materials. Accessible en URL: http://www.thefabricator.com/ToolandDie/ToolandDie_Article.cfm?ID=104. Consultado el 28 de julio.