



Mejorando el Proceso de Aserrado a través del Manejo de la Fatiga en la Herramienta y la Madera: Tres Estudios de Casos

Warren M. Bird
California Saw & Knife Works, San Francisco, California
www.calsaw.com

Introducción:

Una respuesta efectiva a un problema difícil de resolver en el maquinado puede requerir la integración de la ingeniería mecánica, la ciencia de los materiales y las estadísticas, junto con la intuición de un observador especialista en aserrado, la dedicada y sostenida atención de una persona encargada del control de la calidad, o un hallazgo aislado de décadas atrás. Aquí consideraremos tres ejemplos de este proceso en funcionamiento. Cada caso implica un manejo exitoso de la fatiga en la herramienta o en la pieza de trabajo:

- I. Aumentando la velocidad de avance en los procesos con sierras cinta.
- II. Aumentando la calidad de la superficie y confiabilidad del proceso en el corte transversal.
- III. Mejorando la precisión en el corte y el valor del producto en los procesos con sierras circulares.

I. Aumentando la velocidad de avance en los procesos con sierras cinta: manejando la fatiga impuesta a la sierra.

El análisis del flujo de un producto en un aserradero luego de la modernización de un equipo reveló una cantidad significativa de capacidad no aprovechada, debido a las limitaciones generadas por una unidad de sierra cinta con una función clave en el proceso. A fin de aprovechar la oportunidad de aumentar la producción de estas máquinas que no estaban funcionando en su máxima capacidad, la velocidad de avance en esta sierra cinta tendría que aumentar un 30%.

Lo que se buscaba era lograr este cambio de modo tal que no hubiera aumento en el tamaño del ranurado de corte, espesor de la placa de sierra, o medida deseada para la madera aserrada.

Una manera de abordar este problema consiste en intentar mantener una relación constante entre la potencia de aserrado y la rigidez lateral de la placa de sierra – denominada “Índice de Carga” por Klaasen – ya que la sierra y el proceso son modificados.

La potencia de corte requerida fue calculada utilizando el método de Allen, que representa caballos de fuerza específicos, como se indica a continuación:

Potencia Específica (Potencia por unidad de volumen de madera removido)
 $= B_0 \times t^{-0}$,

donde t es el espesor de la astilla y donde B y $_{-}$ son características constantes de la especie de madera bajo consideración. Para madera verde con espesores de astilla menores a aproximadamente 1.3mm, esta expresión puede reemplazarse por una similar a

$$\text{Potencia Específica} = B_1 \times (1 - B_2 \times t^{-1}),$$

que provee una transición a una relación más lineal entre potencia específica y espesor de astilla, a medida que el espesor de astilla disminuye, de acuerdo a los resultados experimentales de Taylor.

Para el abeto Douglas y los parámetros de operación específicos, un aumento del 30 por ciento en la velocidad de avance representaba un aumento estimado en la potencia de aproximadamente un 22 por ciento. Si se aplica el Índice de Carga, la rigidez lateral de la hoja de sierra cinta debe incrementarse en el mismo factor de 1,22

Una hoja de sierra cinta puede describirse como una placa rectangular sobre la cual fatigas de tensión son impuestas por un sistema de “deformación” externo, el cual ejerce una fuerza para separar los discos superior e inferior de la cinta. Si se aumenta la fuerza de deformación, aumenta la fatiga de tensión a lo largo del eje longitudinal de la placa de sierra, lo cual a su vez aumenta el trabajo mecánico que deber realizarse para desviar la placa perpendicular a su plano.

Debido a que el espesor de la placa no podría ser incrementado, fue necesario aumentar el nivel de fatiga de tensión en la hoja de sierra a fin de lograr el aumento de rigidez requerido. Un cálculo presentado en el método de Porter estimó que se necesitaría elevar la fuerza de deformación en un 10,4 por ciento.

Sin embargo, un obstáculo se presentó cuando estaban llevándose a cabo las pruebas de aserrado con niveles de deformación en aumento. La resistencia del acero de la sierra a la formación de rajaduras por fatiga fue hallada no adecuada para tolerar las fatigas combinadas debido a carga de deformación y el curvado cíclico de la cinta de 1,47mm de espesor al recorrer los 1830mm de discos de la cinta. Un aumento en la deformación de aproximadamente 9,4 por ciento produjo la formación de rajaduras en los fondos de diente de sierra. A este nivel de deformación y con la velocidad de avance más alta, la precisión del aserrado no guardaba correspondencia con el nivel anterior.

El problema se abordó de la siguiente manera: para hacer las hojas de prueba, se utilizó un acero de sierra cinta de más alta resistencia, procesado para restringir severamente la medida de inclusiones no metálicas asociadas con la formación de rajaduras por fatiga. La fatiga de curvado de tensión cíclico, en combinación con la fatiga de tensión constante debido a la carga de deformación, fue dentro del límite de diseño de la clase Sandvik de cambio múltiple seleccionada. El espesor de la cinta se cambió a 1,40 mm, a causa de un rango diferente de medidas en las cuales este producto estaba realizado. Los cálculos indicaron que se requirió un

aumento en la carga de deformación de aproximadamente 13,3 por ciento con el acero levemente más delgado.

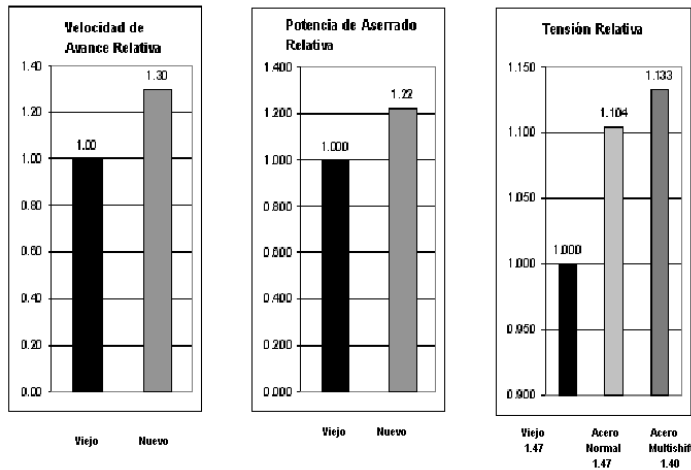


Figura 1. Cambio en Parámetros de Operación de la Sierra Cinta

El acero de cambio múltiple es utilizado con más frecuencia para aumentar el tiempo de funcionamiento de la sierra, o para aumentar la durabilidad de la misma. En este caso, lo que se buscaba era no modificar el tiempo de funcionamiento, pero someter a la sierra a un nivel de fatiga mayor durante ese período. Existe otro factor de diseño asociado con velocidades de avance más altas, que es común a sierras de banda y circulares: el área de fondo debe aumentarse en proporción al mayor volumen de aserrín que cada diente produce. De lo contrario, se necesita una potencia de corte adicional para superar la fricción del aserrín, lo que a su vez introduce más calor en la placa de sierra y degrada la precisión del aserrado.

A fin de lograr un rendimiento libre de rajaduras, el personal de mantenimiento de la sierra debió optar por procedimientos de afilado y acabado del diente que produjeran bajos niveles de fatiga residual y morfología de superficie apropiada en los fondos de diente. En un fondo de diente típico, la fatiga de tensión presente en el cuerpo de la sierra puede ser magnificada por un factor de tres en la parte inferior de los fondos debido al efecto producido por el perfil curvado de los mismos. La clase de cambio múltiple brinda resistencia a la formación de rajaduras por fatiga. Sin embargo, si se produce una rajadura, por afilado, por ejemplo, se producirá una falla que es característica de los aceros de alta resistencia. La combinación de una elevada fatiga de

tensión, selección del material, diseño de fondo de diente, y técnica de mantenimiento, dio como resultado la implementación exitosa del nivel de producción deseado.

II. Mejorando la calidad de superficie y confiabilidad del proceso en el corte transversal: manejando la fatiga en la madera cuando la misma está en proceso de corte.

El crecimiento de las ventas de madera aserrada en el mercado de refacción de casas de Norte América – a menudo directamente al propietario de la misma – ha hecho que los productores orientados a ese mercado le den mayor importancia a la apariencia del producto. Cuando la madera se corta a 90° de su eje de fibra – como es el caso cuando se corta madera hasta lograr su largo final, o cuando se quitan los nudos en una sierra canteadora optimizada – el defecto principal de aserrado encontrado cuando el diente de sierra pierde su filo, es la aparición de astillas de madera dentadas que sobresalen desde el borde del tablero. La severidad de este problema determina cuándo debe detenerse el proceso para cambiar sierras.

Las sierras de corte transversal o de recorte normalmente son robustas con ranuras de corte bastante grandes, ya que la pérdida de ranurado de corte es un problema menor en aplicaciones de recorte de los extremos. Se pone el énfasis en la cuadratura del corte y la geometría del diente de corte a fin de obtener ángulos de corte que recorten las fibras de la madera de un modo determinado, operando bajo el correcto supuesto de que se desean bajas fuerzas de corte.

Sin embargo, los dientes que incluyen ángulos más pequeños están sometidos a un desgaste más rápido. Además, los mismos son más vulnerables al daño durante la operación – o desde el proceso de afilado que los generó. Los dientes con caras cóncavas o partes superiores cóncavas – características que efectivamente aumentan el ángulo de inclinación del borde de corte relativo a la dirección de la trayectoria de corte – presentan dificultades en el re-afilado, aunque se ha observado que proveen un mayor tiempo de operación entre cambios de sierra.

Un gerente de una productora importante de U.S.A., asignó a uno de sus especialistas en sierras que se ocupe de este problema. El hecho de reflexionar sobre el mecanismo de formación de las astillas lo llevó a una mayor comprensión sobre cómo podía mejorarse el proceso de aserrado en el eje de la fibra. Observar los extremos recortados de la madera de pino radiata y abeto Douglas, reveló que las astillas se formaban en la mayoría de los casos desde las porciones de anillos anuales de madera más oscura y tardía. Ya que la gravedad específica de la zona de madera tardía de cada anillo es mucho mayor que la de la zona de madera temprana (aproximadamente cuatro veces más para el abeto Douglas), la resistencia y dureza de la madera tardía también es significativamente mayor.

A medida que los dientes de la sierra se acercan al borde de salida de la pieza de trabajo y comienzan a sobresalir a través de la misma, aún queda un pequeño tirante de madera sin cortar. Este tirante, de sección transversal de forma aproximadamente triangular, aún está sujeto a un extremo (o ambos) de la pieza de trabajo original.

Si el diente tiene una cara cuadrada – sin biseles en su cara o superficie de la parte superior – el tirante de madera aún sin cortar permanece unido a la pieza de trabajo en ambos extremos. Si

– como es habitualmente el caso para sierras de recorte – los dientes son biselados, el tirante sin cortar está sujeto a un extremo, no al otro. Las astillas que se forman por una sierra con dientes de bisel superior alternado se muestran en la Figura 2.

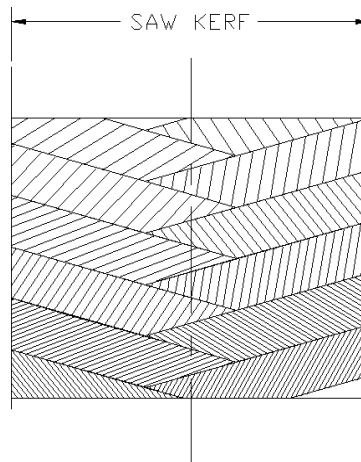


Figura 2. Perfil de la Cara de la Astilla – Diente de Sierra de Bisel Superior Alternado

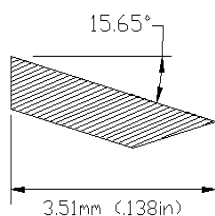
Cuando el diente corta el área de sujeción del tirante, un borde limpio y cuadrado queda atrás en el extremo de la tabla. Si, no obstante, la carga ejercida contra el tirante excede un cierto nivel, el mismo sufrirá falla de flexión en este punto de sujeción y puede llegar a desplazarse y eludir las fuerzas impuestas sobre él por el diente que se aproxima, de este modo evadiendo la acción de corte del borde cortante del diente. La astilla queda atrás, aún unida a la madera.

Para una viga en voladizo clásica de carga uniforme, la magnitud del momento de flexión es proporcional al cuadrado del largo de la viga. Si miramos el diente cuadrado de una sierra circular múltiple, el largo de la viga es simplemente el ranurado de corte; en otras palabras, el momento de flexión es proporcional al cuadrado del ranurado de corte.

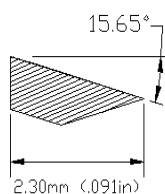
Cuando un diente biselado está afilado, su ápice extendido y su borde de cuchilla asociado penetran y abren su camino a través de las fibras de la madera antes de que la carga de la viga y momento de flexión asociados se tornen muy grandes. Pero al ir perdiendo su capacidad de corte, el ápice (o punta) del diente se retrae y el borde cortante se redondea. El recorte de las fibras de la madera comienza a demorarse, mientras que al mismo tiempo la cara del diente se fuerza en contra de la pequeña viga en voladizo que se extiende delante del mismo. La sección transversal – y el momento de inercia – de la viga disminuyen cuando el diente comienza a salir de la madera.

El resultado es que, una vez que el proceso de embotamiento de filos ha avanzado lo suficiente, la viga – o astilla – no logra flexionarse antes de ser cortada y removida de la pieza de trabajo. El proceso de embotamiento de filos es inevitable. Aquí nos interesa cómo extender el rendimiento de la sierra manejando los esfuerzos que debe realizar la madera debido a un diente cada vez más desafilado ejerciendo una fuerza de empuje contra la misma.

El largo del tirante sin cortar para una sierra con dientes cuadrados es igual al ancho del diente de sierra. Para una sierra con un bisel superior a 15 grados, tal como se emplea comúnmente en el corte transversal, el perfil longitudinal del tirante es tal como se muestra en la Figura 3. Debido al efecto agregado de ángulos de 10 grados de inclinación y espacio superior, el ángulo de inclinación de la astilla es de 15,65 grados.



FACE OF CHIP FOR
5,59mm (.220in) KERF



FACE OF CHIP FOR
3,17mm (.125in) KERF

Figura 3. Cara de la Astilla

La expresión para calcular el momento de flexión sugiere que si el ancho del diente se reduce por un factor de 2, el momento de flexión se reduce por un factor de 4. El efecto es similar para las sierras con dientes biselados, salvo por el hecho de que la geometría es más compleja.

Las sierras de recorte con ranurado de corte reducido fueron realizadas para un aserradero en la costa del Pacífico de Oregon y para otro en la región interior norte de la Columbia Británica. Ambos aserraderos usaban sierras con insertos de carburo con bisel superior alternado y un ángulo de inclinación de 10°, con un ranurado de corte de 5,6mm, cortando madera de 40 a 42mm de espesor. La relación de abertura de corte de la sierra se redujo a 2,80mm para las sierras de 560mm de diámetro; y a 3,05 para las de 584mm. A fin de conservar la rigidez de la sierra, se redujo el espesor de la porción de la placa de sierra de 76mm de ancho que se extiende a través de la madera de 3,8mm a 2,16mm, mientras que el resto de la placa permaneció con su espesor original de 3,8mm.

El cálculo del momento de flexión de la astilla sin cortar para la sierra de ranurado de corte de 2,80mm indicó que su magnitud fue de aproximadamente un tercio de la de la sierra con relación de abertura de corte de 5,6mm. El resultado fue un aumento mayor a cuatro veces el tiempo de operación de la sierra, una mejora significativa con respecto a lo alcanzado con la

ranura de corte original en combinación con geometrías de cara cóncava o parte superior cóncava.

Actualmente se están llevando adelante pruebas en un aserradero de pino radiata equipado para capturar los números exactos de cortes realizados en cada lugar en su sierra cortante múltiple.

III. Mejorando el Valor del Producto en el Aserrado Circular: El Uso de Acero Inoxidable para Cortes Más Precisos; el Uso de Estadísticas de Calidad para Predecir los Beneficios.

La pérdida de calidad en la madera de alto valor es un problema de importancia para los aserraderos que utilizan bandas canteadoras múltiples de ejes dobles para cortar tableros amplios. La rigidez lateral de la placa de sierra puede elevarse substituyendo el acero inoxidable por aceros de aleación de uso normal. Si tenemos registros completos y exactos de control de calidad, especialmente en cuanto a pérdida de calidad debido a tipos de imprecisiones específicas en el proceso de aserrado, podemos emplear directamente métodos estadísticos que puedan conectar un cambio específico en la precisión del aserrado con la ganancia resultante en la calidad de la producción.

En una sierra cinta, la rigidez de la placa de sierra se incrementa significativamente imponiendo una carga de tensión extra a través del sistema de soporte del disco de cinta. En una sierra circular, no existe una oportunidad comparable para impartir rigidez a la placa de sierra desde una fuente externa. Los métodos intentados carecen tanto de simplicidad como de efectividad en el sistema de deformación de la sierra de banda.

Las sierras circulares que se sujetan con abrazaderas entre anillos rígidos pueden ser reforzadas apuntalando el perfil de espesor de placa fuera de la zona de corte y estrechando el perfil dentro del mismo. Estas medidas proveen un aumento en la rigidez derivado del poderoso efecto exponencial cúbico de espesor, además de la oportunidad de agregar más fatigas de tensión que contrarresten las fatigas del aro de compresión inducidos por el calor circulando en forma radial hacia el interior desde los dientes.

En los aserraderos, la sierra circular con eje de guía fue desarrollada alrededor de 1970. Está firmemente establecida como el sistema de sierra circular que cuenta con la mejor combinación de rendimiento volumétrico – baja pérdida de ranurado de corte y alta precisión de corte – sumado a productividad y confiabilidad. Casi todas las máquinas de aserrado múltiple de eje simple y doble que se construyen hoy tienen este diseño.

Las fatigas en la placa de sierra son reguladas a través de controlar el calor generado por el proceso, el cual produce la pendiente térmica radial que da lugar a la expansión térmica que induce las fatigas de compresión que reducen la rigidez lateral de la placa. La generación del calor normalmente se controla a través de la selección correcta de geometría de diente y una programación adecuada de cambios de sierra. El calor se extrae de la placa de sierra a través de la aplicación de agua para enfriamiento.

Existe un método adicional para optimizar la rigidez de la sierra circular a través del manejo de los esfuerzos térmicos en plano. Aproximadamente cinco años atrás se descubrió que las placas de sierra de acero inoxidable cortaban la madera con más precisión que las de acero de aleación estándar bajo las mismas condiciones de operación. En una máquina de doble eje guiada, cortando 300mm de madera de abeto Douglas con sierras de 482mm de diámetro que tenían 2,15mm de espesor, se observó que el índice del límite elástico de tensiones promedio – o paso – entre superficies cortadas por sierras de eje superior y eje inferior se redujo en un 35 por

ciento. Al mismo tiempo, la recuperación de la más alta calidad de madera, después del cepillado, cambió del 11 por ciento de todos los tableros al 17 por ciento. Este cambio fue, en su totalidad, debido a la reducción del número de piezas cuyo índice de límite elástico de tensiones excedía la tolerancia del cepillado.

Para tableros aserrados en máquinas de un solo eje a una profundidad de aproximadamente 145mm, las medidas tomadas a lo largo del borde que se hallaba más distante de las guías de la sierra mostraron una reducción en la deflexión de la sierra (la diferencia entre los espesores de los bordes superior e inferior) cercano al 50 por ciento con respecto a los niveles para las sierras de acero de aleación. La diferencia de resultados entre eje doble y simple es explicada por el efecto agregado, en sierras de eje doble, de cualquier desplazamiento entre las posiciones de los planos de corte de las sierras de eje superior e inferior. En otras palabras, el índice del límite elástico de tensiones de doble eje refleja tanto la posición como la deflexión de la sierra.

La explicación sobre el comportamiento de sierras de acero inoxidable se halla en las propiedades térmicas del material de la placa de sierra. Los aceros inoxidables martensíticos exhiben las siguientes diferencias con respecto a los aceros de aleación de alta resistencia típicamente empleados para fabricar sierras circulares:

- i) calor específico: 10 por ciento más alto
- ii) conductividad térmica: 30 por ciento más baja
- iii) expansión térmica: 15 por ciento más baja

Este conjunto de propiedades exhibe un fuerte efecto de depresión en la magnitud de los esfuerzos de la placa inducidos térmicamente, siempre que el calor implicado sea aquel que es generado por la formación de astillas en la punta de los dientes y que luego puede ser mantenido alejado del cuerpo de la placa de sierra por la baja conductividad. Por esta razón, una buena lubricación de la guía de sierra y un buen enfriamiento son de importancia crítica cuando se utiliza una sierra de acero inoxidable.

En algunos aserraderos en Columbia Británica, una parte de la madera producida posee características – color, espacio entre anillos anuales, medida y separación de nudos – que determinan un precio en Japón que excede ampliamente su más alto valor como material de construcción en Norte América. El interés en esta clase de producto típicamente se despierta cuando los precios de la madera como materia prima están bajos y cuando las tasas de cambio son favorables; cuando los precios para las maderas de calidad especial pueden generar el doble de ganancia.

Estos productos son normalmente aserrados en canteadoras múltiples de doble eje, en anchos de 190 a 300mm. Las dimensiones de madera son también extremadamente críticas. La calidad más apreciada se compra como aserrada para posterior elaboración en Japón; y es rechazada si el índice del límite elástico de tensiones de eje doble en un lado es mayor a 1,5mm.

En un aserradero cuyos troncos habían sido especialmente adaptados para este producto, (llamado “Gen Ban”), el departamento de control de calidad fue acusado de rastrear el porcentaje de madera bajada de categoría como resultado de la presencia de este defecto de fabricación. Por

un período de once meses, el 29,1 por ciento de tableros calificados de 200 a 300mm de ancho fueron degradados de categoría debido a un índice del límite elástico de tensiones de aserrado excesivo. Las mediciones de índice del límite elástico de tensiones fueron muestreadas – manualmente – por la misma persona durante un período de varios años, quien proveía datos inusualmente confiables. Las sierras utilizadas en esta máquina de doble eje tenían 490mm de diámetro y 2,54mm de espesor. Se espera que estas sierras de mayor espesor sean un tanto menos sensibles a los esfuerzos térmicos que las sierras de 2,15mm.

La gerencia del aserradero investigó el posible beneficio que podía resultar de disminuir la deflexión de la hoja de sierra con sierras de acero inoxidable. Una pregunta que surgió fue la siguiente: ¿Cómo se estima el efecto de un índice del límite elástico de tensiones disminuido sobre el porcentaje de tableros que fue rechazado? ¿Cómo se relacionan las estadísticas de precisión de aserrado con las estadísticas de calidad de la madera?

Cuando representamos gráficamente la distribución de las mediciones de espesor de la madera durante un período de tiempo razonablemente largo, esperamos ver la curva de campana característica de la distribución normal.

Es razonable decir, si cada lectura es en parte el resultado de una fuerza lateral actuando en contra de la resistencia de la placa de sierra, que un aumento en la rigidez de la placa tendrá un efecto correspondiente en el lugar de cada punto; es decir que si la rigidez se duplica, entonces la deflexión disminuye a la mitad. El resultado es que la desviación estándar se reduce en un 50 por ciento de la parte de la distribución normal de índice del límite elástico de tensiones producido por deflexión de la sierra.

Puede decirse que las medidas de índice del límite elástico de tensiones de doble eje (o paso) no poseen signo positivo ni negativo, y pueden representarse por una distribución normal de un solo lado. Desde una tabla o desde la integración de la función de densidad de probabilidad, se puede estimar cómo un cambio particular en valores de índice del límite elástico de tensiones afectará la medida de la población que se halla más allá de un cierto valor.

Cuando se pusieron en servicio las sierras de acero inoxidable el porcentaje de tableros rechazados cayó al 11,9 por ciento (Figura 4). ¿Cuál era la relación entre el cambio en la precisión del aserrado y el cambio asociado en la distribución de la calidad del producto? Las mediciones de la precisión de aserrado nos permiten determinar la probabilidad de que una medición particular se sitúe fuera de un valor seleccionado. Si reducimos los valores de índice del límite elástico de tensiones promedio en un tercio, podemos inferir que el porcentaje de superficies de tablero con índice del límite elástico de tensiones que va más allá de un valor específico puede calcularse cambiando el número de desviaciones estándar que corresponde al porcentaje original por un factor de $[1/(1 - \frac{1}{3})] = 1,5$. Un porcentaje mucho menor de la población de tableros se ubicará más allá de un valor particular de índice del límite elástico de tensiones, si ese valor ahora representa 1,5 x el número original de desviaciones estándar.

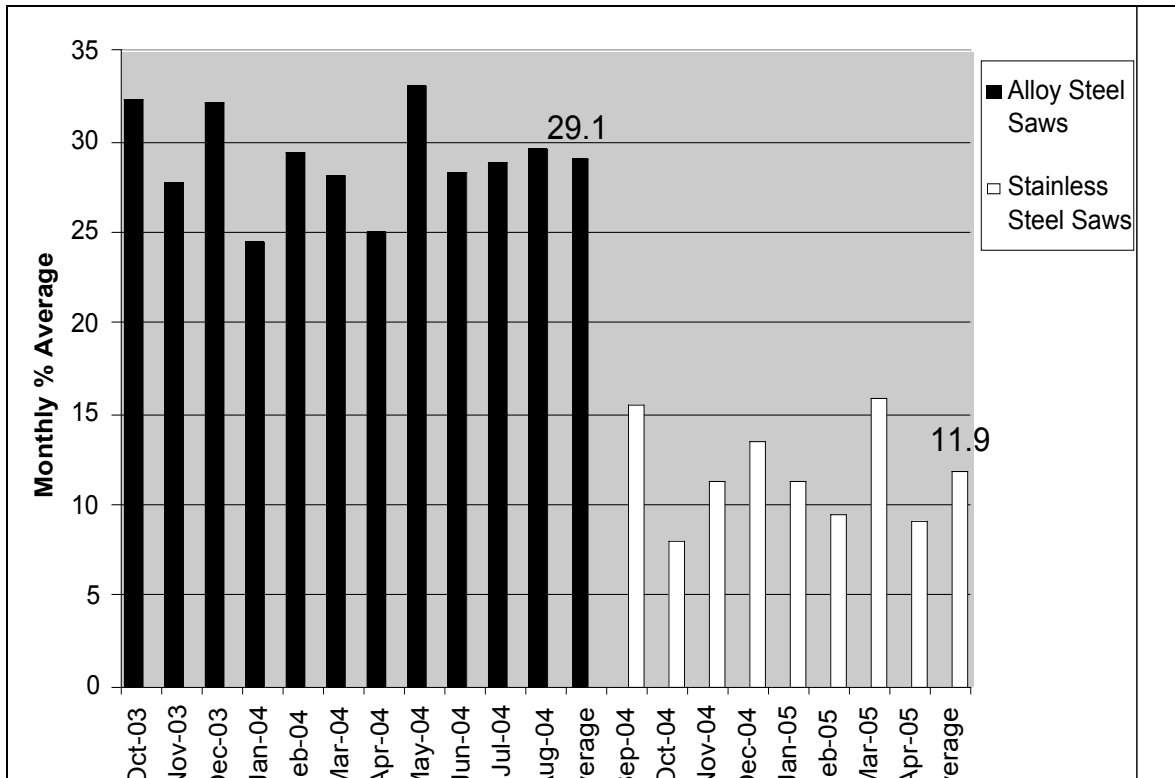


Figura 4. Porcentaje de Pcs con Paso > 1.5 mm

Pero ya que cada tablero contiene dos de tales superficies, generadas independientemente, existen tres resultados de calidad de índice del límite elástico de tensiones posibles:

1. dos lados son buenos
2. un lado es bueno y otro lado es malo
3. dos lados son malos

Las mediciones del cambio en el índice del límite elástico de tensiones promedio nos informan sobre el cambio en la probabilidad de que un lado será malo. Sin embargo, existe una probabilidad de que algunos tableros tengan dos lados malos. Si la presencia de un lado malo es causa para una degradación en la categoría, entonces el número de piezas que son bajadas de categoría será igual al total de aquellas con un lado malo más aquellas con dos lados malos.

Las probabilidades P de estos resultados están relacionadas de la siguiente manera:

$$\begin{aligned}
 1) P(2 \text{ lados buenos}) &= P(1 \text{ lado bueno}) \times P(1 \text{ lado bueno}) \\
 &= 1 - P(1 \text{ ó } 2 \text{ lados malos}) \\
 2) P(1 \text{ lado bueno}) &= 1 - P(1 \text{ lado malo}) \\
 &= 1 - [1 - P(1 \text{ ó } 2 \text{ lados malos})]
 \end{aligned}$$

Si conocemos el porcentaje de tableros degradados en su categoría, podremos calcular la probabilidad de que una superficie particular exhiba índice del límite elástico de tensiones más allá del límite permitido. En contrapartida, si conocemos la optimización en las mediciones de índice del límite elástico de tensiones, podremos estimar la influencia de dicha optimización en la distribución de la calidad.

Empleamos la ecuación (2) descrita anteriormente para convertir las distribuciones normales estandarizadas de un lado de medida de índice del límite elástico de tensiones, a la distribución normal estandarizada de un lado para variación de aserrado, como es representado por el índice del límite elástico de tensiones de doble eje. La probabilidad de índice del límite elástico de tensiones en un lado siendo menor a 1,5mm para sierras de acero de aleación es $1 - (1 - .2908) = .158$; para sierras de acero inoxidable, $1 - (1 - .1185) = .0611$.

El cambio en la distribución de índice del límite elástico de tensiones que se requiere para justificar esta modificación en la distribución de calidad es el siguiente: el número de desviaciones estándar representadas por un índice del límite elástico de tensiones de 1,5mm aumentó de 1,25 a 1,90 desviaciones estándar, lo cual representa una reducción en índice del límite elástico de tensiones del 34 por ciento. En conclusión, una mejora del 34 por ciento en la precisión del aserrado, disminuyó el nivel de reducción en categoría de 29,1 por ciento a 11,9 por ciento.

Las sierras de acero inoxidable cortan con una precisión mayor que las de acero de aleación. Además, podemos estimar la ganancia en valor de madera que resulta de una optimización en la precisión del aserrado.

Síntesis

Estos estudios de caso demuestran cómo el manejo de fatigas de tensión en sierras de cinta, fatigas de flexión de astillas sin cortar en sierras circulares de recorte de extremos, y esfuerzos térmicos en sierras circulares de doble eje guiadas pueden ser dirigidos para mejorar la velocidad del proceso, la confiabilidad del mismo, y el valor del producto.

Reconocimientos

Por sus contribuciones a través de diálogos y trabajos publicados: Ed Allen, Curt Anderzen, Stan Hutton, Lutz Klaasen, Bill McKenzie, Andy Porter, Gary Schajer, y John Taylor.

Por sus análisis y observaciones: Tony Meiwes, Mike Neveau, Joe Smith, y otros que pueden reconocer sus roles en las historias de casos aquí descritas.