

# Ciencia de los Materiales

## Acero para Muelles

### INTRODUCCION

En una gran cantidad de maquinaria y en muchas aplicaciones, en las cuales se reciben una gran cantidad de esfuerzos, es necesario que esos esfuerzos sean absorbidos y que esta energía asimilada no afecte el material ni el desempeño de esta maquinaria.

Para ello existen los muelles, que son elementos mecánicos fabricados de distintos materiales, capaces de soportar altos esfuerzos y con una gran capacidad de deformación elástica. Es importante mencionar que uno de los materiales de mayor utilización en los muelles es el acero y todas sus aleaciones.

Existen distintos tipos de muelles para distintas aplicaciones:

Los muelles de flexión, o también denominados muelles de ballesta, que poseen una configuración de una serie de laminas con igual espesor y ancho, pero de distinta longitud; muy utilizada en la industria del automóvil y ferrocarriles.

Los muelles de torsión, en donde encontramos los de tipo de eje rectilíneo y los de hélice cilíndrica; consiguen en los sistemas de suspensión, su mercado natural.

Los muelles cónicos helicoidales, que tienen como característica principal que su resistencia aumenta al aplicársele un mayor esfuerzo, muy utilizado en los vehículos ferroviarios y en las prensas

Y por último los muelles de goma, que aunque no está hecho de acero, tiene cada vez mayor aceptación, actúan como amortiguadores y con bajos desplazamientos elásticos, utilizados en parachoques, aparatos vibrantes, etc.

Nos enfocaremos del estudio de los aceros para muelles, la conveniencia de cada tipo de acero, según su composición química, para cada aplicación; sus procesos de fabricación, tratamientos térmicos y para terminar se introducirán como aplicación los cálculos para muelles helicoidales.

### CARACTERÍSTICAS DE LOS ACEROS PARA MUELLES

1. Es indispensable que los aceros posean un alto límite elástico, es decir, que el coeficiente de trabajo no sobrepase el límite de elasticidad.
2. En la práctica industrial, el límite de elasticidad a la tracción suele oscilar entre  $8,83 \cdot 10^8 \text{Pa}$  y  $1,77 \cdot 10^9 \text{Pa}$ , dependiendo del uso y de las características de dimensión, composición, etc.
3. Para que un muelle funcione normalmente, el valor del límite de elasticidad debe ser muy elevado y próximo a las cifras antes señaladas, y como la resistencia a la rotura suele oscilar de un 10 a un 40% superior al límite elástico, es decir, de  $9,81 \cdot 10^8 \text{Pa}$  y  $2,35 \cdot 10^8 \text{Pa}$ .
4. Es importante que los muelles, posean resistencia a la fatiga, pues muchos de los muelles, en vida útil, reciben los esfuerzos en forma cíclica y repetitiva.
5. Es necesario evitar la descarburación de los muelles en sus procesos térmicos y de fabricación, pues esto cataliza el proceso de fatiga, porque la descarburación, se produce inicialmente en la periferia, y es por la periferia donde el muelle tiende a comenzar su falla. Igualmente hay que cuidar la presencia de grietas, defectos que pueda tener el muelle.

## COMPOSICIÓN DE LOS ACEROS PARA MUELLES

Composición en %						
P<0,03				S<0,03		
#	C	Mn	Si	Cr	V	W
<b>Aceros al Carbono</b>						
1	0,45- 0,60	0,60- 0,80	0,20- 0,30	-	-	-
2	0,60- 0,80	0,60- 0,80	0,20- 0,30	-	-	-
3	0,80- 1,00	0,50- 0,70	0,20- 0,30	-	-	-
<b>Mangano-Siliciosos</b>						
4	0,42- 0,52	0,60- 0,90	1,70- 2,00	-	-	-
5	0,50- 0,60	0,70- 1,00	1,70- 2,00	-	-	-
<b>Al Manganeso</b>						
6	0,50- 0,70	0,80- 1,20	-	-	-	-
<b>Cromo-Manganeso</b>						
7	0,40- 0,50	0,60- 0,80	-	0,90- 1,10	-	-
8	0,45- 0,55	0,60- 0,80	-	0,90- 1,10	-	-
<b>Cromo-Silicio</b>						
9	0,40- 0,60	0,50	0,90- 1,10	0,90- 1,10	-	-
<b>Cromo-Manganeso-Vanadio</b>						
10	0,45	0,60- 0,80	-	0,90- 1,10	0,20	-
11	0,55	0,60- 0,80	-	0,90- 1,10	0,20	-
<b>Para muelles que trabajan en caliente</b>						
12	0,50	0,30	0,30	1,50	0,30	2,00
13	0,60	0,90	1,95	-	0,35	Mo 0,50
14	0,55	1,15	1,95	-	0,35	Mo 1,30

La composición, por economía, también va a depender del tipo de temple que se le vaya aplicar, se sugiere que se realice el temple por aceite, pues se evita tener un cambio tan brusco de temperatura, como se produce con el agua (el punto de ebullición del aceite es mayor). Mientras el temple sea mas agresivo, mas posibilidades hay de generar grietas, deformaciones o temples imperfectos. Como también, al templar en aceite no se afecta tanto la calidad de

los muelles; cuando el aspecto calidad es determinante en el diseño.

Igualmente dependerá del espesor del muelle, traerá como consecuencia que se elija uno otro tipo de acero.

Por ejemplo se tienen distintos aceros como los aceros al manganeso, cromo-manganeso, cromo-silicio, que a diferencia de los mangano-siliciosos, poseen una mayor aptitud al temple.

El problema de los mangano-siliciosos es que tienen a descarburarse cuando son sometidos a tratamientos térmicos. Los aceros mangano-siliciosos han sido muy usados en la fabricación de ballestas, aunque en la actualidad están siendo desplazados con aceros de otras características que soporten mejor los tratamientos térmicos.

Los aceros cromo-manganeso es mas frecuente ver uso, junto con los de cromo – vanadio en la fabricación de hojas maestras de ballestas a ser utilizadas en ferrocarriles, automóviles, etc. Entre ellos encontramos aceros al manganeso de 0,5% a 0,7% de carbono y de 0,8% a 1,2% de manganeso.

### PROCESOS DE FABRICACIÓN DE LOS MUELLES

Existen distintos procesos de fabricación de los muelles, dependiendo del tratamiento térmico realizado al producto de acero recibido del proceso de laminación, como también de la temperatura a la cual se encuentre el acero. Los distintos tipos de procesos dependen de la característica del acero obtenido en el proceso primario:

#### **Barras de acero recocido:**

Dependiendo del espesor de las varillas se utiliza un tipo de material u otro. Cuando el diámetro de la varilla es superior a 6mm, se utiliza material en forma de barras recocidas, mientras que se usa alambre para diámetros inferiores. Estas barras son enrolladas en frío si el diámetro es menor a 13mm y enrolladas en caliente si el diámetro es mayor.

Mientras que la resistencia sea menor, mas fácil será el enrollado y disminuyen las probabilidades que el alambre o varilla falle en ese proceso. Hay veces en que se conforman muelles con barras sin templar, quedando estos resortes con un

límite elástico bajo y se deformaran bajo cargas inferiores a las que se podrían soportar después de un temple o revenido.

### **Barras normalizadas:**

Se da cuando los muelles, inmediatamente de ser laminados en caliente estos son conformados en forma de muelles por enrollamiento. No se hace necesario el proceso de recocido. Este método se realiza generalmente cuando el diámetro de la varilla es superior a 13mm.

Varillas de acero rectificado (acero plata):

Cuando se utilizan muelles, en la cual su calidad es trascendental en el funcionamiento de una maquina como en artículos de aviación o automóviles. Las barras son rectificadas, eliminando cualquier variación en la calidad superficial como cualquier otro efecto derivado de la descarburación causada en los procesos de laminación o en el recocido. Después de fabricado el muelle, este es templado y revenido.

En general, en todos los casos de muelles de alta calidad, se prefiere usar el acero plata, que no es más que un acero con un acabado superficial muy fino.

### **Alambres estirados:**

Este tipo de acero, es usado principalmente para maquinarias y estructuras de baja responsabilidad. Poseen una composición de carbono entre 0,5% a 0,65% de C, de 0,60% a 1% de Mn y de 0,1 a 0,3% de sílice. Su fabricación es realizada por trefilados y recocidos sucesivos, dejándolos sin recocer, con la acritud correspondiente al trefilado. Estos luego por simple enrollamiento se fabrican los muelles.

### **Alambre templado en aceite:**

Semejante al anterior, aunque posee una calidad superior, pero con la diferencia es que antes de realizar el trefilado se le realiza un tratamiento térmico, que incluye un baño en aceite.

### **Alambre “cuerda de piano”:**

Se fabrica con acero al carbono con proporciones de 0,6% a 1% tanto de carbono como de

manganeso. Es considerado el alambre de mejor calidad utilizado para la fabricación para muelles. Puede tener espesores desde 0,1mm a 8mm.

Para ello este alambre tanto en su proceso de conformado como después sufre distintos tratamientos térmicos, como lo es un baño de plomo luego de su salida de un horno continuo. Esto beneficia su resistencia, y el alambre es capaz de deformarse en frío y alargarse sin necesidad de realizar otro tratamiento térmico. Estos alambres son mejores a estirar después de un tratamiento con baño de plomo que con un recocido. De allí el alambre logra una microestructura bainítica o sorbítica con las mejores características de fabricación de muelles.

## **TRATAMIENTO TÉRMICO DE LOS ACEROS PARA MUELLES**

### **Recocido**

El recocido de los aceros para muelles exige ciertas precauciones especiales, que a veces puede inutilizar el material por efectuarse mal esta operación. El recocido tiene por objeto ablandar el acero, quitarles tensiones que se han originado en la laminación y trefilado y hacer posible el enrollado. En este proceso debe evitarse que el material se descarbure, pues luego en las zonas descarburadas se inician fácilmente grietas de fatiga durante el trabajo del muelle y además, con la descarburación, se disminuye la sección transversal útil de muelle, ya que el comportamiento elástico de la zona descarburada es muy bajo. Sobre todo ha que tener especial precaución con los aceros mangano-siliciosos, que se descarburan con mucha mayor facilidad que los demás. Para evitar este contratiempo, se pueden hacer los recocidos en cajas cerradas con bastante cantidad de viruta de fundición exenta de humedad o en hornos de atmósfera controlada, procurando no elevar demasiado la temperatura, siendo preferible, a veces, obtener durezas no muy bajas y tener seguridad de que no hay descarburaciones.

El recocido se suele efectuar a temperaturas comprendidas entre 750° y 800° y luego se enfría lentamente en el horno a los 600°. De esa forma quedan los aceros con durezas comprendidas entre 170° y 220° unidades Brinell.

## TEMPLE.

Se realiza a temperaturas variables de 800° a 900° y no exige precauciones muy especiales. Se obtienen muy buenos trabajos realizando el calentamiento en hornos de sales, ya que de esa forma empleando sales de cianuro ligeramente carburantes no solo se evita la descarburación, sino se consigue una ligera carburación superficial que es muy beneficiosa. Además se evita la oxidación superficial y la presentación es muy buena. El enfriamiento se hará rápidamente en agua o aceite, según el tipo de acero. Los aceros al carbono y de baja aleación se templean en agua y los aceros cromo-vanadio y algunos otros aleados, en aceite. El temple en aceite tiene la ventaja de que produce menos deformaciones que el temple en agua, pero solo se puede emplear para los aceros aleados o perfiles delgados de aceros de baja aleación.

La mejor forma de conocer si los aceros para muelles deben ser templados en agua o aceite, es el estudio de las curvas de Jominy. En ellas se ven diferencias importantes a pesar de ser el contenido en carbono de todos estos aceros casi el mismo.

## REVENIDO.

Se suele efectuar a temperaturas variables desde 200° a 500°, según el proceso de fabricación, y luego se enfrían al aire. En algunos talleres que no tiene buenos aparatos para la medida de la temperatura, al revenir los muelles gruesos y ballestas, para comprobar si el acero tiene la temperatura conveniente, suele utilizar como pirometro un trozo de madera. Es un procedimiento muy clásico, poniendo una madera en contacto con el acero a 400° aproximadamente, desliza suavemente, a 450° la madera comienza a mera y a 500° se quema y aparecen pequeñas llamas.

### Calculo de muelles helicoidales

El éxito de la construcción de muelles se basa en hacer trabajar siempre el acero por debajo del límite elástico, pues así es seguro que los muelles después de su funcionamiento recobrarán su forma primitiva.

Por eso, se pueden construir muelles que trabajan perfectamente, con hierro o con cualquier acero, siempre que, como hemos dicho, trabajen por debajo del límite elástico. En la práctica, sin embargo, hay que elegir aceros especiales para muelles, pues con

ellos se pueden fabricar muelles de menos peso, de menor volumen y más baratos que con los demás aceros al poder hacer trabajar al acero con coeficientes de trabajo muy elevados.

Para calcular un muelle hay que fijar de antemano la fatiga a que se quiere que esté sometido el material durante el trabajo normal, y luego elegir el acero que cumpla las características que se han señalado. Para ello, es indispensable conocer, en cada caso, las características de los diferentes aceros y ver, además, si cumplen lo que se ha señalado. En general, los fabricantes de acero suelen dar para cada acero la resistencia a la tracción, límite de elasticidad y alargamiento; algunas veces dan también la resiliencia. Además de esas características hay que tener en cuenta la templabilidad, que nos indica si se alcanza las características citadas anteriormente en perfiles de cierto espesor y tener en cuenta el medio de enfriamiento que en cada caso hay que emplear.

Cuando los muelles trabajan a tracción, para calcularlos basta sustituir en las fórmulas normales de cálculo que corresponden a cada caso particular, el valor de la fatiga admisible a tracción y el módulo de elasticidad, que ya hemos dicho que suelen venir en todos los catálogos; pero cuando los resortes trabajan a torsión, el problema es algo más complejo, pues aparecen otras características, como la fatiga por torsión y el módulo de desgarramiento a la torsión, que son factores menos conocidos.

Hay pocas informaciones sobre el valor de estos últimos factores y por eso surgen dudas que intentaremos aclarar para calcular los muelles que trabajan a torsión.

En los formularios que suelen dar algunos coeficientes que relacionan las resistencias a tracción con la torsión y esfuerzo cortante; pero hay bastante diferencia entre los valores que se dan. Una de las más modernas teorías de resistencia de los materiales, la de rotura por el desgarramiento máximo, establece que la resistencia máxima a la torsión es igual a la del esfuerzo cortante, y ambas, a la mitad de la resistencia máxima a la tracción.

Se considera el valor de 0.5 y es el empleado en los cálculos que siguen. Según esta hipótesis, un material que tiene una resistencia a la tracción de 165 Kg/mm<sup>2</sup> y 150 Kg/mm<sup>2</sup> de límite elástico, tendrá una resistencia a la torsión y al esfuerzo cortante de 82.5

$\text{Kg/mm}^2$  aproximadamente, y un límite elástico a la torsión de  $75 \text{ Kg/mm}^2$  aproximadamente.

La relación entre el límite elástico y la fatiga máxima a que se queda sometido el material durante el trabajo se denomina coeficiente de seguridad.

Se suele emplear coeficientes de seguridad de 2.5 y 2 para el trabajo normal y de 1.25 para la carga máxima de ensayo.

Admitiendo que el módulo de elasticidad a tracción es  $20000 \text{ Kg/mm}^2$  y el módulo de elasticidad a torsión es  $7800 \text{ Kg/mm}^2$ , las fórmulas fundamentales para el cálculo de muelles en espiral, fabricados con varillas de acero de sección circular son:

Carga que puede resistir el muelle  $P = 0.392 K \frac{d^3}{D} W$

Flecha que se produce en el ensayo  $f = \frac{Pn}{975} \times \frac{D^3}{d^4}$

Para la determinación del factor de corrección de Wahl (W) que en muchos casos es interesante conocer, se emplean las siguientes fórmulas:

$$\frac{1}{W} = \frac{4C-1}{4C-4} + \frac{0.615}{C} \text{ siendo } C = \frac{D}{d}$$

en las que:

P= carga (en Kg) que se aplica.

f= la flecha total del muelle (en mm) bajo la acción de la carga P.

d= el diámetro (en mm) del alambre.

D= el diámetro medio (en mm) del muelle.

n= el número de espiras útiles.

W= el factor de corrección de Wahl.

C= la fatiga (en  $\text{Kg/mm}^2$ ) del material a torsión.

Todo el cálculo usado para los muelles a tracción se pueden usar de igual manera para los de compresión.

### ALGUNOS FRACASOS QUE OCURREN EN LA FABRICACIÓN DE MUELLES

Con frecuencia en la fabricación de muelles se presentan contratiempos y dificultades que impiden cumplir las especificaciones que se marca en los planos y diagramas.

Las causas suelen ser:

1. El muelle está mal calculado.

- a) Se quiere exigir al material fatigas superiores a las convenidas.
  - b) El número de espiras útiles del muelle empleadas en el cálculo no coincide con los del plano.
  - c) Algún otro factor equivocado.
2. El acero es de mala calidad.
    - a) El acero está descarburado
    - b) Las barras o varilla de acero tienen grietas, pliegues u otros defectos que hacen imposible la obtención de muelles de buena calidad.
      - c) Los muelles se agrietan al templar.
      - d) El acero no es de composición apropiada.
      - e) No se ha llegado a conseguir con el estirado o tratamiento del alambre la resistencia conveniente.
  3. El muelle está mal fabricado.
    - a) El muelle se rompe al enrollar.
    - b) Después del ensayo la longitud es inferior a la calculada.
    - c) El número de espiras no coincide con las del plano.