



## Introducción al Proceso de Shot Peening

Es un caso particular dentro de la gama del granallado, mediante el cual se inducen tensiones de compresión en una superficie metálica, exponiéndola a un chorro de partículas esféricas a alta velocidad y manteniendo controlados los parámetros de la operación.

Durante el granallado, además de producir el efecto mencionado se limpia la superficie como en una tarea normal de granallado, pero éste es sólo un efecto secundario del proceso, siendo el propósito básico el incremento de la resistencia a la fatiga del material.

El proceso de shot peening es principalmente utilizado en componentes sujetos a esfuerzos de flexión o torsión siendo las siguientes las más comunes aplicaciones:

- Componentes de aeronaves
- Compresores axiales
- Ejes, piñones y coronas de caja de cambios
- Levas y Cigüeñales
- Pernos y barras laterales de cadenas
- Discos de embragues
- Resortes helicoidales , de válvulas , ballestas, etc
- Barras de torsión
- Componentes de minería
- Taladradores de roca
- Varillas de pistón





## Acción de martillado con partículas esféricas (shot-peening)

Cuando la **granalla**, de forma esférica, es impulsada en un flujo de alta velocidad, impacta sobre una superficie metálica conformando en la misma un perfil superficial constituido por valles y crestas redondeadas y productos por la deformación plástica del metal durante el impacto. Dicha deformación se extiende entre los 50 y 250 micrones de profundidad.

El efecto obtenido luego del granallado constituye el aplastamiento de los granos metalográficos de la superficie del metal. Con ello, se produce dos efectos:

- Los granos se ensanchan comprimiéndose entre sí y provocando la aparición de tensiones de compresión paralelas a la superficie. Estas tensiones de compresión anulan tensiones residuales inducidos en procesos anteriores como mecanizado, tratamiento térmico, conformación plástica, etc. Y además se oponen a toda sollicitación a la tracción a que sea sometida en una utilización posterior.
- Como efecto secundario al ensancharse los granos cubren los espacios Inter. granulares reduciéndolos considerablemente y con ello la velocidad de corrosión galvánica.

En resumen, el shot peening aumenta la resistencia a la fatiga particularmente en resortes, elásticos, flejes, barras estabilizadoras de coches, engranajes y como efecto secundario produce un aumento de la resistencia a la corrosión, la eliminación de tensiones residuales induciendo una tensión de compresión uniforme en toda la superficie además de limpiarla mediante el granallado



## Abrasivos más utilizados en procesos de shot peening

Con la única limitación de la conformación exterior (esférica) los abrasivos más utilizados en procesos de shot peening son los siguientes:

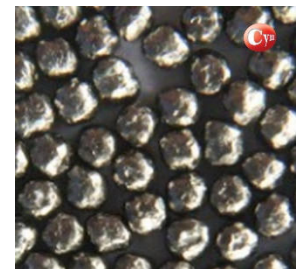
- **Granalla de acero fundida esférica de acero al carbono o inoxidable:**

Es el abrasivo ampliamente utilizado, pues mediante el adecuado tratamiento térmico impuesto a las granallas durante el proceso de fabricación combinan un buen valor de dureza con aceptable capacidad de rotura siendo el costo menor al de granalla de alambre. Los tamaños, tamizados según sus distintas granulometrías y clasificados según un número característico se encuentran normalizados según SAE en el Standard SAE J444



- **Granalla de alambre redondeado:**

Es el abrasivo que más aceptación está teniendo actualmente en el mundo debido a que tiene una excelente dureza con muy bajo nivel de rotura lo que implica un relativo bajo consumo de abrasivo y sobre todo manteniendo un nivel de granulometría constante en un porcentaje elevado de partículas. Los tamaños, según sus distintas granulometrías y clasificados según un número característico se encuentran normalizados según SAE en el Standard SAE J441



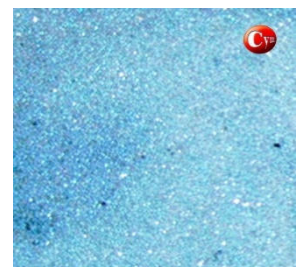
- **Granalla de fundición de hierro esférico y nodular:**

Comprende a las granallas de fundición gris, blanca y maleable. Se utilizan en aquellos casos donde se requiere efectuar un trabajo de shot peening de bajo costo inicial. Esto se debe al bajo costo relativo de estas granallas, a pesar de tener una vida útil muy inferior a las de acero debido a su mayor fragilidad. En el caso del shot peening la rotura del abrasivo adquiere una gran importancia ya que es imprescindible que el impacto sobre la superficie lo realice una partícula esférica los que se torna difícil de controlar utilizando un abrasivo con lata de velocidad de fractura.

En cuanto a las granallas de fundición nodular se utilizan en escala muy limitada pues debido a su baja dureza las intensidades logradas son pobres y además dejan residuos de grafito en las piezas granalladas.

- **Microesferas de vidrio (glass bead) o cerámica:**

Se utilizan para el conformado de chapas delgadas, logrando valores de intensidad bajo. Se utilizan para hacer shot peening en chapas de acero inoxidable o materiales que no ferrosos que no puedan ser contaminados con abrasivos de acero al carbono





## Equipos para shot peening

Los equipos utilizados para efectuar shot peening son esencialmente similares a los empleados para otras tareas de granallado, con el agregado de una instalación auxiliar que permite realizar el más estricto control de los parámetros de ejecución.

En cuanto a la impulsión de la granalla hay dos métodos utilizados a saber:

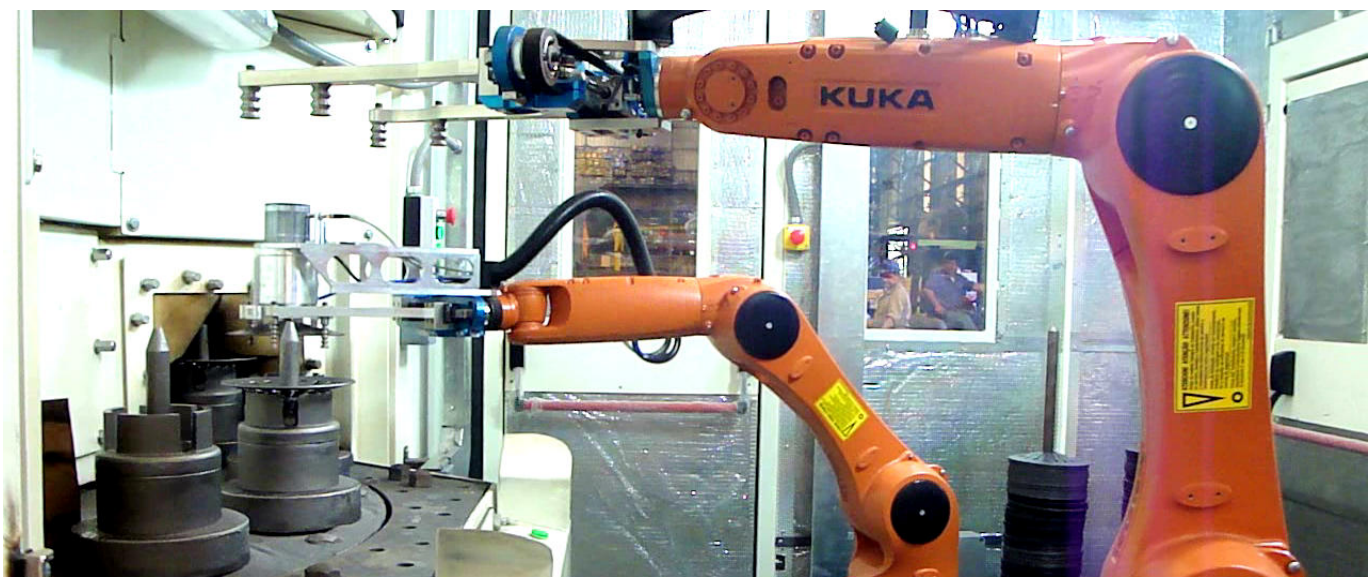
- El empleo de una turbina que impulsa la granalla a alta velocidad mediante una combinación de fuerzas radial y tangencial. Las ventajas del método incluyen la facilidad en el control de la velocidad y la alta capacidad de producción.
- El uso de aire comprimido en un flujo a alta velocidad como medio de arrastre e impulsión de las partículas. Este método es recomendado cuando se requiere trabajar con bajas producciones o con tratamientos localizados permitiendo desarrollar altas velocidad de impacto de la granalla y dirigir el flujo de esta en forma precisa hacia agujeros o cavidades, curvas de pequeño radio, raíces de dientes de engranajes y piezas de formas intrincadas.

El reciclaje de la granalla es de vital importancia en la tarea y durante el cual es necesario separar de las esferas que no han sufrido deterioro y son reutilizables, todo el polvo desprendido durante la operación y las partículas de abrasivo fracturado. Además se debe contar con sistema automático de reposición continua de abrasivo.

Es importante para la uniformidad del granallado disponer de sistemas de movimiento que permitan a las partes una total exposición frente al flujo de abrasivo.

Otros elementos adicionales son las máscaras que se utilizan en aquellos casos donde el tratamiento debe ser selectivo dejando expuesto sólo las zonas a tratar.

Para la utilización de la microesfera de vidrio se emplean equipos en medio seco o líquido. Los equipos en medio seco son generalmente del tipo de proyección por succión. Mientras que los de granallado en medio líquido utilizan una bomba de impulsión y de homogeneización. Debido al gran porcentaje de fractura de las microesferas de vidrio es necesario una alta eficiencia en el equipo separador y recuperador de abrasivo.



## Variables del proceso

Las variables más importantes en el proceso del Shot peening son las siguientes:

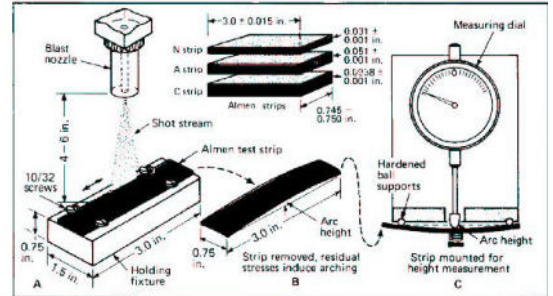
- Tamaño y dureza del abrasivo / granalla
- Velocidad adquirida
- Intensidad del proceso
- Densidad de impactos en la superficie (Factor de cobertura)
- Angulo y distancia de proyección
- Porcentaje de rotura del abrasivo

La efectividad y calidad el Shot peening dependen del eficiente control de cada una de las variables mencionadas.

- **Tamaño de la granalla:** el factor incide en la energía cinética adquirida, que se transformará en energía de deformación (elástica y plástica) en el instante del impacto. Mientras la velocidad y el tiempo de exposición se mantengan constantes, todo incremento del tamaño de la partícula implica un incremento en la intensidad del proceso y una menor densidad de impactos. Siempre se selecciona el menor tamaño de partícula esférica que produzca la intensidad deseada, logrando de esa forma la mayor rapidez del proceso y la mejor cobertura o densidad de impactos en la superficie. Además en la elección del tamaño debe influir la configuración de la pieza a tratar, teniendo en cuenta los menores radios de curvatura de forma tal que los diámetros de la partícula sean dimensionalmente compatibles con los mismos.
- **Dureza de la partícula:** siempre que la dureza de la partícula sea mayor que la superficie, ésta no influye en la intensidad del proceso. Sin embargo, se debe seleccionar una partícula cuya dureza sea sólo algo superior, debido a que si es extremadamente dura será frágil y tendrá un porcentaje de roturas alto. Si en cambio la dureza de la partícula es inferior a la de la superficie cuando más blanda sea, menor será la intensidad lograda.
- **Velocidad de la partícula:** desde el punto de vista energético, al aumentar la velocidad de la partícula, aumenta su energía cinética y por lo tanto aumentará con ella la intensidad del shot peening. Prácticamente ese incremento de velocidad produce además, un mayor porcentaje de fracturas de partículas lo que impide el crecimiento teórico de la intensidad.
- **Intensidad del proceso:** la intensidad del shot peening se mide mediante un ensayo normalizado en base a la curvatura experimentada por una lámina sometida al impacto del flujo de partículas esféricas. Se denomina ensayo Almen y se explicita en la sección "Ensayo Almen". Al someter una cara de una chapa relativamente delgada al flujo de partículas esféricas, se produce, como ya se mencionó, un efecto de martillado sobre la superficie con el consiguiente ensanchamiento por compresión de los granos metalográficos de dicha superficie.



Ese ensanchamiento provoca un aumento del área de la superficie granallada quedando la cara opuesta con el área original, produciendo por ese motivo, la curvatura de la chapa que será función de la intensidad del granallado aplicado. Por ello, la intensidad del shot peening se mide en base a la altura del arco experimentado por la lámina granallada en condiciones normalizadas. Suponiendo una densidad máxima de impactos (saturación), la intensidad dependerá de la velocidad, tamaño y dureza de la partícula esférica proyectada y del ángulo y distancia de proyección de la misma.



La menor intensidad capaz de producir los efectos deseados es la más eficiente y la de menor costo. Ello se debe a que se trabaja con la partícula de menor tamaño, realizando el proceso en el menor tiempo de exposición. Otro factor importante es el espesor de la zona que adquiere las tensiones de compresión luego del shot peening. Ese espesor o profundidad de ataque dependerá de la intensidad del proceso y de la dureza del material tratado.

- **Densidad de impactos** en la superficie (factor de cobertura): Es una medida que indica que en grado el área tratada ha sido impactada por las partículas esféricas. Se logra la saturación de esa densidad de impactos cuando el factor cobertura es cercano al 100 %. Para factores de cobertura inferiores el tratamiento de shot peening no otorga las propiedades de resistencia a la fatiga deseada. Hay una relación directa entre el factor de cobertura y el tiempo de exposición dada por:

$$C_n = 1 - (1 - C)^n \text{ donde}$$

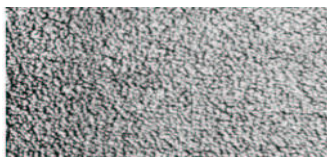
$C_1$  = (%) factor de cobertura para un ciclo de impactos.

$C_n$  = (%) Factor de cobertura luego de  $n$  ciclos de impactos

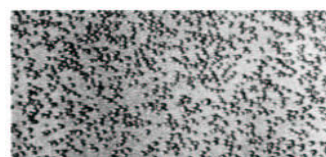
$n$  = número de ciclo

La relación indica el factor de cobertura tiende al 100% a medida que aumenta el número de ciclos.

Cobertura Total



Cobertura Parcial



Es difícil efectuar la medida precisa de factores de cobertura por encima del 98%. De forma tal que se mide una probeta con un factor de cobertura inferior relacionándola con el tiempo de exposición correspondiente y de alto el necesario para el factor de cobertura deseado. Entonces, debido a que la medición del factor de cobertura se puede realizar hasta el 98%, dicho valor se toma arbitrariamente como el valor de



saturación. De allí, el factor de cobertura se expresa en base al tiempo de exposición como un múltiplo del tiempo requerido para obtener la cobertura del 98%.

Existen varios métodos para medir el factor de cobertura, pero el más utilizado consiste en los siguientes:

- Realizar en la probeta a granallar un pulido espejo.
  - Someter a dicha superficie el flujo de abrasivo en condiciones predeterminadas.
  - Retirar la probeta y proyectar la superficie expuesta en un comparador con 50 diámetros de aumentos.
  - Sobre dicha proyección y en un papel transparente trazar las marcas producidas por los impactos (bien diferenciadas de las zonas pulidas). Medir la superficie de la zona impactada y encerradas por las marcas circulares. La relación entre esta superficie total, expresado en porcentaje es el factor de cobertura obtenido.
- **Angulo y distancia de proyección:** es el ángulo formado entre la superficie y la dirección del flujo de partículas (90ª en la vertical y disminuye hacia ambos lados). Al reducirse el ángulo de proyección disminuye la intensidad del shot peening. En aquellos casos en los cuales el ángulo (por necesidades prácticas) debe ser inferior a los 90º, para mantener un valor de intensidad deseado debe incrementarse el tamaño de la partícula y/o la velocidad. En cuanto a la distancia, la intensidad disminuye el aumento de la misma, debiendo fijarse un valor que mantendrá durante el proceso.
  - **Porcentaje de rotura:** en este caso y debido a la necesidad que sean sólo partícula esférica las que impactan sobre la superficie a tratar, las partículas rotas deben ser automática y rápidamente extraídas del circuito. El porcentaje de abrasivo esférico debe ser inferior al 85% y aún son necesarios mayores porcentajes para mantener las intensidades requeridas.



## Medición de intensidad – Ensayo Almen

El ensayo Almen es el método normalizado mediante standard SAEJ442a para la medición de la intensidad del Shot peening. El efecto que se utiliza para la medición es la curvatura producida en una lámina delgada sometida al flujo de partículas esféricas bajo condiciones normalizadas.

El ensayo se mide en base a tres rangos de intensidades: N, A y C para cada una de ellas difiere el espesor de la probeta de medición, según sea el rango de intensidad a medir.

Y por último el instrumento de medición que consta de un reloj comparador, graduado en milésimas de pulgada (o 0.025 mm) con una base perpendicular a la barra de medición con cuatro bolillas de apoyo formando un plano en el cual apoyará la probeta a medir. Dicha probeta se curva durante el proceso del shot peening y se mide la altura de la combinación de curvatura longitudinal y transversal sobre la cara no granallada.

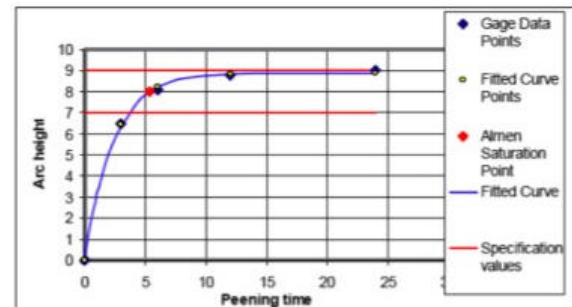


La medición se indica mediante el número Almen indicado en el comparador y la letra de la probeta correspondiente. Así 13 A indica que el ensayo Almen A la intensidad obtenida es 13.

En la práctica se recomiendan los siguientes rangos de utilización.

Para efectuar la medición se procede de la siguiente forma:

1. Exponer la superficie x de la probeta al flujo de partículas en las condiciones normales de trabajo. Medir el tiempo de exposición.
2. Sacar la probeta de la base y medir, mediante el comparador Almen la altura de la curvatura, previa puesta a cero del instrumento.
3. Utilizando distintos tiempos de exposición, repetir los puntos 1 y 2 para determinar una curva como la de la figura.
4. El punto ideal de saturación aceptado en la industria es identificado cuando usando el doble de tiempo de exposición el incremento en la altura del arco no supera el 10%”.







## Efectos del Shot Peening

La aplicación fundamental del tratamiento de shot peening se refiere al aumento de la resistencia a la fatiga de distintos elementos. Sin embargo, otras utilizaciones secundarias son:

- Resistencia a la fatiga

Las piezas sometidas a shot peening experimentan una considerable elevación de la resistencia a la fatiga, en especial en elementos como resortes, flejes, engranajes, barras, herramientas como frezas, mechas, punzones, matrices, etc.

- Conformación de metales.

El shot peening es adecuado para ciertas operaciones de conformación de chapas delgadas. Se usa particularmente en componentes estructurales para la industria aeronáutica tales como chapas de fuselaje. Si dichas curvaturas se realizan por métodos de conformación mecánica en frío o en caliente, las chapas adquirirán tensiones residuales muy altas e inadecuadas a las funciones a cumplir.

- Eliminación de tensiones residuales localizadas.

Es el caso de piezas que han quedado tensionadas luego del tratamiento térmico, de conformación, mecanizado, etc. Mediante la aplicación del shot peening se eliminan tensiones residuales de tracción, uniformando una tensión de compresión en toda la superficie.

- Aumento de la resistencia a la corrosión

La resistencia a la corrosión de un metal sometido al shot peening aumenta debido a la disminución de los espacios Inter.-granulares de la superficie y además debido a la eliminación de tensiones residuales de tracción, las cuales aumentan la energía del sistema aumentando de esa forma la posibilidad de corrosión.



- Prueba de adhesión de láminas de plata.

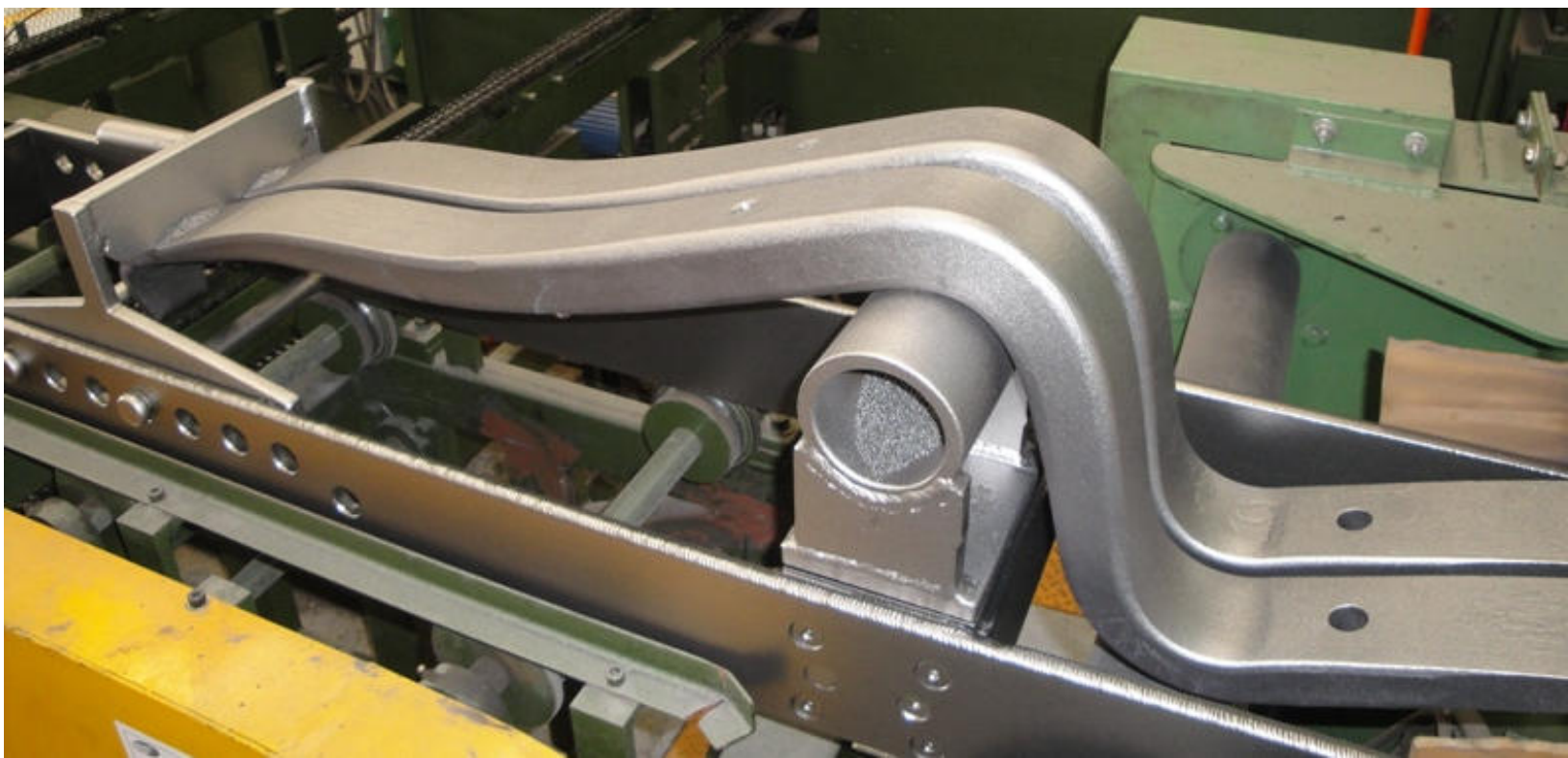
La adhesión de láminas de plata sobre aceros, de gran utilidad en ciertos procesos es efectiva cuando se logra un excelente anclaje entre ambos. Una forma de medirla es someter al conjunto al tratamiento de shot peening. En las zonas donde dicho anclaje es pobre, la lámina de plata deformará dejando ondulada la superficie.

- Procesos posteriores al shot peening

Las piezas tratadas mediante shot peening, no pueden ser posteriormente sometidas a deformaciones mecánicas, calentamientos (salvo los muy leves), mecanizados y ni aún pulidos debido a que la capa superficial que adquirió las tensiones de compresión es de muy bajo espesor. Sólo se admite como tratamiento posterior, un pasivado de la superficie como prevención de la corrosión.

## **Norma SAE - Bibliografía**

A los fines que puedan encontrar información adicional pueden recurrir a las normas SAE J441, SAE J442 , SAE J 443 , SAE J 444, SAE J 445 SAE J 827 , o al manual SAE HS-84 “ Manual on Shot Peening”



# CYM MATERIALES S.A.

Soluciones Industriales

## Administración y Fábrica

Brig. Estanislao Lopez N° 6  
[S2108AIB] Soldini - Santa Fé - Argentina  
Tel: [54-341] 490 1100 | Fax: [54-341] 490 1366  
E-mail: [info@cym.com.ar](mailto:info@cym.com.ar)  
[www.cym.com.ar](http://www.cym.com.ar)

## Metalcym Brasil

Rua Mário Junqueira da Silva nº 684 - Jd Eulina  
Campinas - SP - Brasil - CEP.13063-000  
Tel: [55-19] 3242-9777 - Fax: [55-19] 3243-7236  
E-mail: [metalcym@metalcym.com.br](mailto:metalcym@metalcym.com.br)  
[www.metalcym.com.br](http://www.metalcym.com.br)

