

## CONTROL DEL PROCEDIMIENTO

El shot peening controlado es diferente de la mayoría de los procedimientos de fabricación por el hecho de que no existe un método no destructivo para determinar que fue realizado en acuerdo con las especificaciones. Las técnicas de control, como el análisis por difracción de rayos X, necesitan el sacrificio de una pieza para obtener un perfil de tensiones en profundidad. Para asegurarse del respeto de las especificaciones sobre los lotes producidos, los controles siguientes deben ser aplicados de manera permanente :

- Bola de Shot Peening
- Intensidad Almen
- Cobertura
- Máquinas y equipos de producción

MIC satisface o supera criterios de calidad muy severos así como las normas y especificaciones establecidas por todo tipo de industrias, incluso aeronáutica y automóvil. MIC posee certificación y es conforme a las normas ISO 9002 y QS 9000.

## CONTROL DE LAS BOLAS

### Formas aceptables



### Formas inaceptables

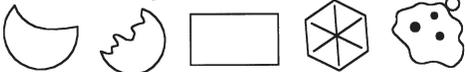


FIGURA 12-1 Formas de Bolas

La FIGURA 12-1 muestra las formas aceptables e inaceptables de bolas. La bola de Shot Peening debe ser de forma globalmente esférica. Cuando la bola se quiebra

bajo el impacto, los residuos deben ser eliminados para procurar que la superficie no se estropee. La FIGURA 12-2A (ampliación x100) presenta de manera evidente la deterioración y los sitios de inicio de grietas potenciales sobre la superficie causados por el uso de bolas inaceptables.

La FIGURA 12-2B (ampliación x100) muestra lo que debe ser una superficie correctamente Shot Peenizada.

El diámetro de las bolas debe ser uniforme. La energía del impacto transmitida por la bola es función de su masa y de su velocidad. Una bola más gruesa tiene una masa y una energía de impacto más importante. Si se utiliza para el Shot Peening una mezcla de bolas de tamaños diferentes, las más gruesas crearán zonas de tensión residual mucho más profundas. La capa en tensión será heterogénea y ocasionará resultados incoherentes a fatiga. La FIGURA 12-3A presenta un lote de bolas de tamaño y de forma correctas.

La FIGURA 12-3B presenta bolas inaceptables.



FIGURA 12-2A Daño de Superficie Creado por Bolas Rotas

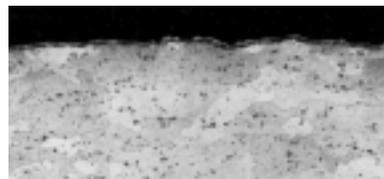


FIGURA 12-2B Estado de Superficie Tipico con Bolas de Buena Calidad



FIGURA 12-3A Bolas de Buena Calidad para el Shot Peening

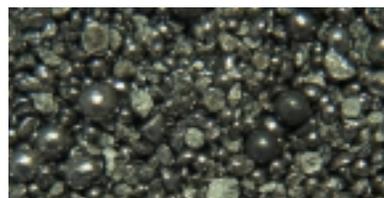


FIGURA 12-3B Bolas Inaceptables de Mala Calidad



Para eliminar correctamente las bolas demasiadas gruesas o pequeñas, MIC utiliza un sistema de tamizado dinámico. Para eliminar de manera correcta la bolas rotas, se introducen las bolas dentro de un separador con espirales interiores abiertas y exteriores envoltentes. El sistema tiene por base la diferencia de velocidad entre las bolas esféricas que ruedan y las bolas rotas que avanzan de golpe. La introducción de las bolas se hace por un tubo a la cumbre del cono **FIGURA 12-4**. Las bolas caen en un deposito de forma conica, y después en la espiral interior. La bolas esféricas tomarán suficiente velocidad para expulsarse en la espiral exterior y así podrán ser recicladas. Las bolas rotas que no pueden rodar se quedarán en la espiral interior de donde serán eliminadas.



**FIGURA 12-4** Separador de Bolas de Shot Peening

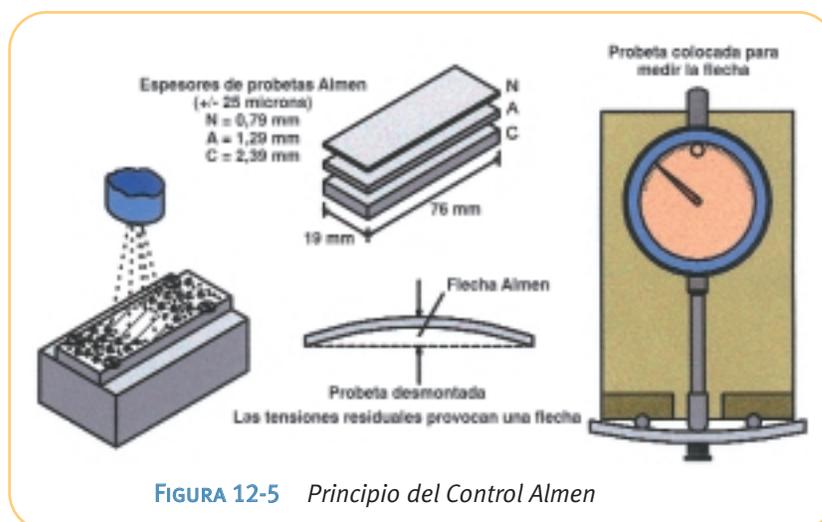
## CONTROL DE INTENSIDAD

La intensidad del Shot Peening es la medida de la energía del flujo de bolas. Es uno de los medios esenciales para asegurar la reproducibilidad del procedimiento. La energía del flujo de bolas está en relación directa con la tensión de compresión introducida en una pieza. La intensidad puede ser aumentada si se utiliza bolas de tamaño más importante y/o si se aumenta la velocidad del tiro de las bolas. Las demás variables a tener en cuenta son el angulo de tiro y el tipo de bolas.

Se mide la intensidad utilizando probetas Almen. La probeta es una placa de acero de muelle SAE1070 shot peenizada por un lado sólo. La tensión residual de compresión del shot peening doblará la probeta Almen formando un arco convexo con respecto a la superficie shot peenizada (**FIGURA 12-5**). La altura de la flecha de la probeta Almen depende de la energía del chorro de las bolas y su medida es muy fiable.

Existen tres tipos de probetas Almen utilizadas según la aplicación del shot peening. Cuanto más intenso es el shot peening, más espesa es la probeta.

- Probeta "N" : espesor = 0.031" (0.79mm)
- Probeta "A" : espesor = 0.051" (1.29 mm)
- Probeta "C" : espesor = 0.094" (2.39 mm)



**FIGURA 12-5** Principio del Control Almen

La intensidad Almen es la altura de la flecha medida por un comparador Almen seguida por el nombramiento de la probeta Almen. El nombramiento apropiado para 0,30 mm de altura de flecha utilizando una probeta A es F 0,30A (0 más usualmente F 30A). El sector de utilización de una probeta Almen es de 0,10 a 0,60 mm. En practica, se utiliza a menudo una probeta Almen más espesa si la intensidad es superior a 0,50 mm.

Usando la misma intensidad de shot peening, se obtiene una flecha 3 veces más importante con una probeta N comparada con la probeta A, ella misma tres veces más importante comparada con la C.



Las probetas Almen están montadas sobre bloques Almen, fijados sobre una pieza rechazadas (FIGURA 12-6) o sobre un utillaje mecano-soldado de forma parecida. Los bloques Almen deben estar instalados en zonas donde la comprobación de energía del impacto es crucial. La intensidad real está comprobada y registrada antes de tratar la primera pieza de cada lote. Eso permite comprobar que la máquina de shot peening está ajustada correctamente y funciona conformemente con el procedimiento aprobado. Al final del tratamiento del lote de piezas, la intensidad está comprobada de nuevo para asegurarse que no hubo desvío de los parámetros de tratamiento. En caso de largos ciclos de tratamiento, se ejecutarán controles de intensidad en el transcurso de la producción con arreglo a las exigencias de calidad.

**Saturación (control de intensidad):** El control inicial de un procedimiento durante su desarrollo necesita que se establezca una curva de saturación. El tiempo de saturación está definido en el primer punto de la curva a partir del cual, duplicando el tiempo de exposición, la altura de arco aumentará sólo de un 10%. La curva de saturación se define shot peenizando una serie de probetas en una máquina ajustada para determinar el tiempo de saturación.

La FIGURA 12-7 muestra que duplicando el tiempo de shot peening de la probeta Almen ( $2T$ ) respecto al tiempo inicial ( $T$ ), la altura del arco Almen aumenta de menos de un 10%. Eso significa que el proceso alcanza la saturación en tiempo  $T$ . La saturación establece la intensidad real del chorro de bolas en una zona precisa de la pieza y permite el ajuste específico de la máquina.

Es importante que no se confunda la saturación con la cobertura. La cobertura está descrita en el próximo capítulo como el porcentaje de la superficie cubierta de impactos de shot peening. Se utiliza la saturación para calcular el tiempo de exposición que define la intensidad. La saturación y la cobertura no se producen necesariamente al mismo tiempo. Eso es debido a que la cobertura está determinada sobre la superficie de la pieza real siendo más o menos dura. Se determina la saturación utilizando probetas Almen de acero de muelle SAE1070 tratadas a 44-50 HRC.



FIGURA 12-6 utillaje Soporte Probeta Almen

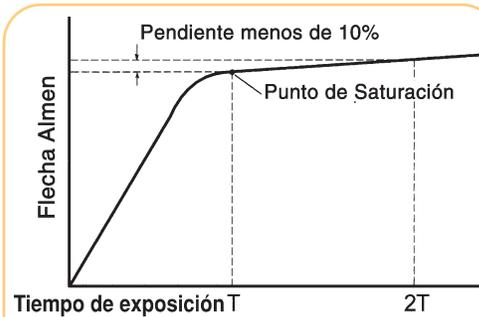


FIGURA 12-7 Curva de Saturación

## CONTROL DE COBERTURA

La cobertura completa de una superficie shot peenizada es esencial para poner en ejecución un shot peening de alta calidad. La cobertura es la relación entre la superficie inicial y la superficie cubierta por las huellas del shot peening. La cobertura no debe nunca ser inferior a un 100% porque sino las grietas de corrosión bajo tensión y de fatiga pueden desarrollarse en una zona sin shot peening, aún que sea mínima. Las imágenes aquí abajo muestran una cobertura completa y una cobertura parcial.

Si la cobertura especificada es superior a un 100% (por ejemplo 150%, 200%) significa que el tiempo de tratamiento será el tiempo para realizar el 100% multiplicado por ese factor. Una cobertura de un 200% duplica el tiempo necesario para el tratamiento a un 100%.

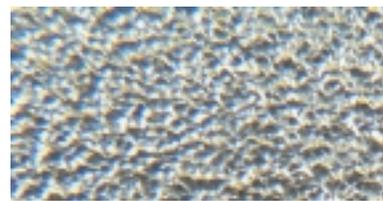


FIGURA 12-8A Cobertura Completa de Shot Peening



FIGURA 12-8B Cobertura Parcial de Shot Peening



**PEENSCAN® (Control de la cobertura) :**

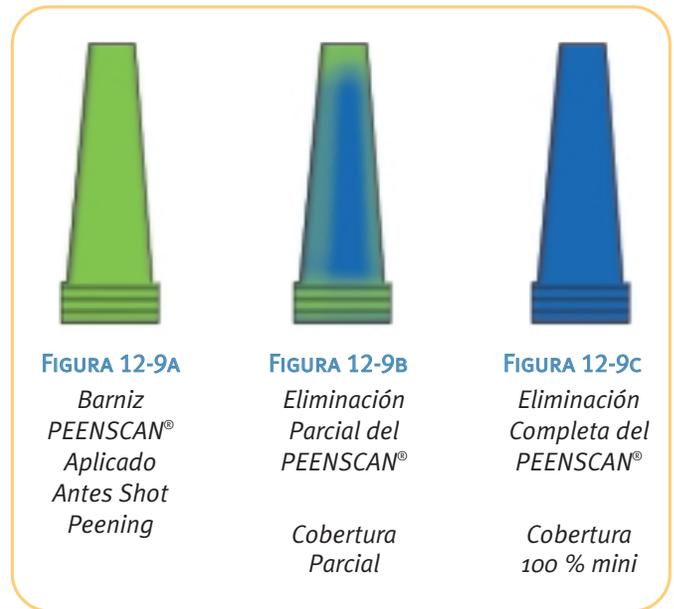
Es bastante fácil determinar la tasa de cobertura del shot peening sobre materiales blandos ya que los impactos son muy visibles. Una lupa con amplificación x 10 es perfectamente adecuada en este caso. En numerosas aplicaciones, es más difícil determinar esa tasa. Agujeros, radios pequeños, materiales duros y pieza de grande superficie son otras tantas dificultades suplementarias para el control de cobertura.

Es la razón por la cual MIC a desarrollado el procedimiento **PEENSCAN®** que utiliza un barniz fluorescente **DYESCAN®**. **PEENSCAN®** es idoneo para medir la uniformidad y la tasa de cobertura en condiciones difíciles. El color amarillo verdoso fluorescente no es visible en condiciones normales de iluminación y el control se debe hacer bajo luz UV.

El barniz puede ser aplicado por inmersión, con pincel o por pulverización sobre la pieza que se quiere analizar. A continuación, la superficie cubierta está shot peenizada y los impactos de bolas quitan el barniz a tasa proporcional a la tasa de cobertura real. Cuando la pieza vuelve a estar controlada bajo luz UV, las heterogeneidades de cobertura aparecen de manera clara. Se pueden, entonces, ajustar los parámetros de shot peening hasta que el procedimiento **PEENSCAN®** confirme el martilleo completo de la zona .

Las **FIGURAS 12-9A hasta 12-9C** muestran el principio del procedimiento del **PEENSCAN®**. Las figuras son simulaciones informaticas de una pala de turbina, el barniz fluorescente está representado en verde (amarillo verdoso bajo UV). A medida que los impactos de shot peening quitan el barniz (de verde), el material (azul) es más y más visible, hasta indicar la cobertura completa.

El proceso de control **PEENSCAN®** a demostrado ser superior al control por lupa con amplificación x 10.



## EQUIPO DE SHOT PEENING AUTOMATIZADO

En el mundo entero, las fabricas MIC están equipadas de máquinas de Shot Peening automatizadas y semejantes. Cuando es necesario, esa red permite duplicación o traslado eficaz, económico y fiable de un proceso de shot peening entre dos fabricas MIC.

MIC propone también el shot peening controlado por ordenador (SPCO).

El SPCO está destinado a las piezas críticas que necesitan una grabación de los datos además de nuestro certificado de conformidad a las especificaciones de shot peening( AMS-S-13165, MIL-S-13165C, AMS 2430, NFL 06831/832, etc..)

Les piezas críticas que integran el shot peening desde el diseño deben utilizar el SPCO tal y como es especificado el la norma AMS 2432 por ejemplo.



MIC a desarrollado máquinas auto-controladas por ordenador capaces de presentar sobre pantalla, controlar, y de documentar los parámetros siguientes del procedimiento de shot peening :

- Presión de aire y caudal de bolas a cada boquilla
- Velocidad de rotación y caudal de bolas a cada turbina
- Velocidad de rotación y/o de traslación de la pieza
- Velocidad de desplazamiento de las boquillas
- Tiempo de ciclo.

Estos parámetros están vigilados de manera permanente y comparados a valores límites que están programados. Si se nota un desvío, la máquina se para automáticamente al segundo e indicará la naturaleza y la extensión del fallo. La máquina no podrá volver a tomar su ciclo hasta que no corrijan los parámetros. Un informe del histórico del tratamiento se imprime al final del ciclo SPCO. Toda interrupción del procedimiento se grabará en ese documento. Ese informe está archivado por el servicio calidad MIC y queda a disposición para consulta. La **FIGURA 12-10A** presenta una máquina SPCO utilizada para el shot peening de agujeros interiores de piezas aeronáuticas. La **FIGURA 12-10B** presenta una máquina SPCO con boquillas múltiples. Estas dos figuras presentan al lado de cada máquina sus unidades de mando y de control .



**FIGURA 12-10A** Máquina Controlada por Ordenador, con Lanza, para Shot Peening de Agujeros



**FIGURA 12-10B** Máquina Controlada por Ordenador con Múltiples Boquillas

## ETUDIO DE CASO : APLICACION

### *EL SPCO AUMENTA LA DURACION DE VIDA DE LAS TURBINAS*

El SPCO ha conocido un gran interés cuando la FAA a valorizado el aumento del potencial de una turbina aeronáutica de 700 a 1500 ciclos de vuelo entre dos revisiones. Esa ventaja ha permitido a este motor concebido para los aviones militares de penetrar el mercado de la aviación civil.

Había muy pocas posibilidades de mejorar sin cambiar el diseño, por eso el fabricante del motor eligió aplicar el shot peening para aumentar la duración de vida de los discos de turbina y de las placas de enfriamiento. El SPCO permitió asegurarse de que todos los parámetros de producción de esas piezas críticas estaban cuidadosamente controlados y reproducidos con mucha precisión [Ref.12.1].



## ESPECIFICAR EL SHOT PEENING

La FIGURA 12-11 presenta un árbol dentado armado sobre dos apoyos de un conjunto mecánico. Los dientes exteriores y los radios adyacentes son zonas típicas de inicio de grietas de fatiga de flexión y/o de torsión. En este caso, se debe especificar el shot peening sobre plano de manera siguiente :

- Zona A : shot peening imperativo
- Zona B : sobrepaso autorizado
- Zona C : protección obligatoria.

Las informaciones siguientes deben aparecer sobre el plano :

- Shot peening de los dientes y de los radios adyacentes utilizando bolas MI 110H (BA 300 D) con intensidad de 0.006" - 0.009" A ( F 15-22A)
- 100% de cobertura mínima sobre los dientes control por PEENSCAN®.
- Sobrepaso autorizado sobre el diámetro adyacente más importante.
- Protección de los tramos de rodamiento y de la zona central del árbol.
- Shot peening siguiendo la norma AMS-S-13165.

Es importante anotar que si se pide un control sin destrozo, debiera realizarse antes el shot peening. El shot peening tiende a ocultar y/o a cerrar grietas pequeñas de manera superficial, lo que falsea los resultados del control sin destrozo.

Metal improvement Company tiene más de cincuenta años de experiencia en estudio de la elección de los parámetros del shot peening. MIC esta especializado en la elección del tipo de bolas y de las intensidades apropiadas para todas las aplicaciones sobre la corrosión bajo tensión y/o fatiga. Existe una lista de los servicios técnicos del mundo entero al final de este manual técnico.

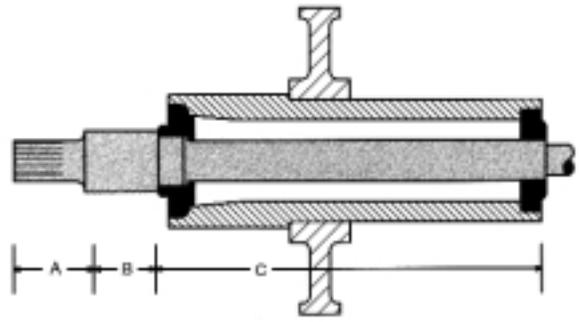


FIGURA 12-11 Dibujo de Montaje de un Eje Estriado Exigiendo un Shot Peening

### REFERENCIAS:

12.1 Internal Metal Improvement Co. Memo

