

AGUJEROS Y SUPERFICIES INTERNAS

Cuando la profundidad del agujero de una pieza es más importante que el diámetro de este agujero, no puede estar correctamente shot peenizado por método externo. Una boquilla de shot peening interna o un deflector de granalla interno debe ser utilizado y eso, bajo condiciones de control muy estrictas (FIGURA 11-1). Pequeños orificios, hasta 2,4 mm de diámetro, sobre discos de turbina aeronáutica, han sido Shot Peenizados en producción utilizando el método del deflector de granalla interna.

Las aplicaciones potenciales del shot peening interno incluyen :

- orificios de fijación
- cilindros hidráulicos
- largueros de palas de helicópteros
- tubos de sondeo
- hélices de avión
- orificios de lubricación de arboles de transmisión
- anclajes de álabe de disco de turbina y de compresor.

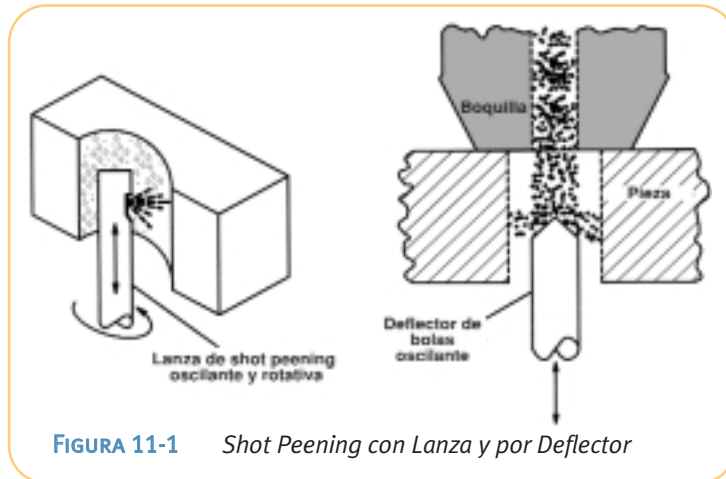


FIGURA 11-1 Shot Peening con Lanza y por Deflector

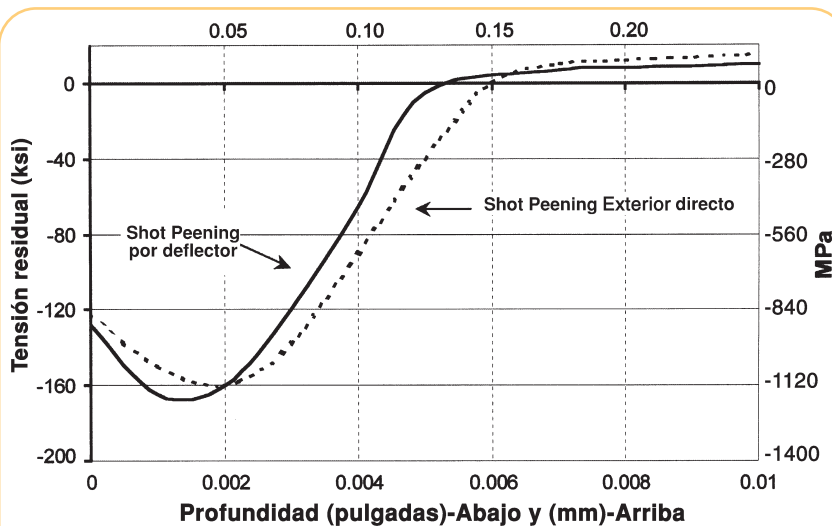


FIGURA 11-2 Comparación entre Shot Peening por Deflector y Shot Peening Exterior Directo

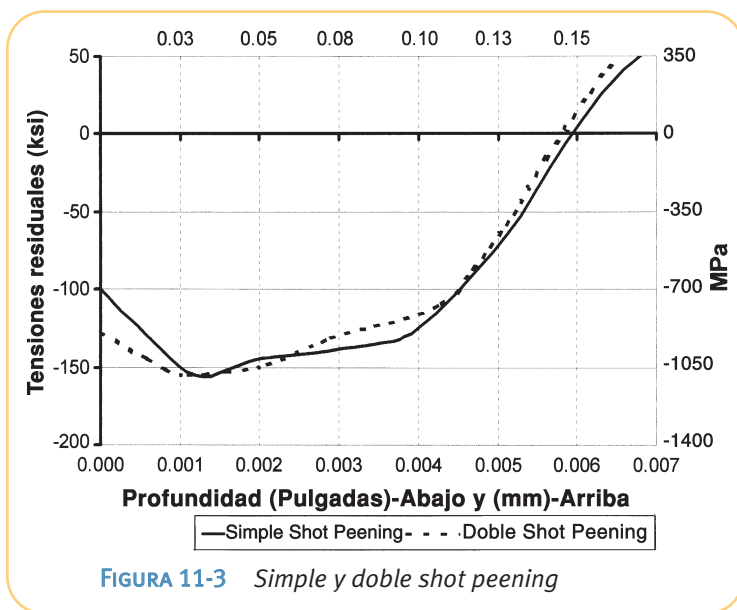
M.I.C ha desarrollado una técnica para comprobar la intensidad en los pequeños orificios. La FIGURA 11-2 muestra los resultados de un estudio realizado sobre un disco de turbina aeronáutica. La comparación se hace entre el perfil de las tensiones residuales sobre una superficie externa shot peenizada con un sistema convencional con boquillas, y las tensiones generadas al interior de un pequeño diámetro shot peenizado utilizando el método del deflector. Se utiliza el mismo tamaño de bola, la misma tasa de cobertura y la misma intensidad. Los perfiles de las tensiones residuales obtenidos por ambos métodos son prácticamente superponibles. [Réf 11.1].

DOBLE SHOT PEENING

El doble shot peening (o Dura Peensm) se utiliza para mejorar si es necesario los resultados a fatiga con relación a la operación del simple tratamiento de shot peening. Las mejoras en duraciones de vida a fatiga debidas al shot peening sobrepasan generalmente un 300 %, 500 % o más.

Durante el tratamiento por doble shot peening, los resultados del simple shot peening están muy a menudo multiplicados por dos o por tres, a veces más.





La **FIGURA 11-3** muestra aproximativamente 200 MPa de compresión suplementaria en la superficie cuando el doble shot peening está realizado sobre un acero de muelle al cromo silicio [Ref. 11.2].

El doble shot peening consiste en un primer tratamiento seguido de un segundo tratamiento sobre la misma superficie utilizando una bola más pequeña y una intensidad reducida. Este segundo shot peening martillea así las asperezas generadas por el primer tratamiento, lo que mejora el estado de superficie. El martilleo de las asperezas en superficie acarrea una ganancia de las tensiones de compresión sobre la superficie. Las **FIGURAS 11-4** y **11-5** muestran los estados de superficie de un simple y de un doble shot peening ampliados por 30x, cuyos perfiles de tensiones se presentan en la **FIGURA 11-3**. [Ref. 11.2]

El objetivo es mejorar la tensión residual de compresión de la capa más cercana de la superficie, porque sabemos que se inician en superficie las grietas de fatiga. Comprimiendo más la capa superficial, la pieza se vuelve más resistente a las grietas de fatiga.

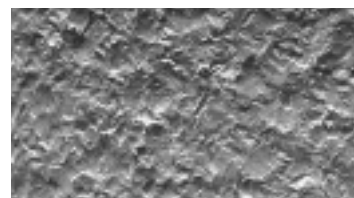


FIGURA 11-4 Textura de Superficie con Simple Shot Peening

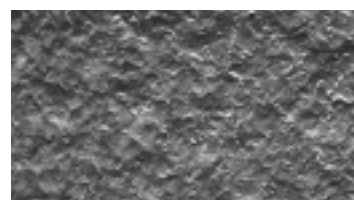


FIGURA 11-5 Textura de Superficie con Doble Shot Peening

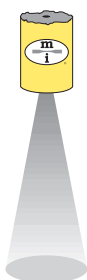
EL PROCEDIMIENTO C.A.S.E.SM

Le procedimiento C.A.S.E.SM consiste en un tratamiento de shot peening seguido de un acabado isotropico. El acabado isotropico suprime las asperezas dejadas por el tratamiento de shot peening por técnicas de pulido por vibración y así mantiene la integridad de la tensión residual de compresión en superficie. El procedimiento utiliza una solución química especialmente concebida para reducir el tiempo de tratamiento, lo que permite utilizarlo sobre producciones de grandes series.

C.A.S.E.SM fue concebido para superficies que exigen a la vez una excelente resistencia a fatiga y un excelente estado de superficie debido a una carga de contacto. El C.A.S.E.SM se ha demostrado muy eficaz para mejorar la resistencia al pitting o al micro-pitting de los engranajes. Muchas concepciones de engranajes estan limitadas por fatiga al pitting que se considera como el factor crítico.

El Shot peening se realiza sobre los flancos y pies de dientes mientras que el acabado isotropico se concentra sobre los flancos. Las mejoras del estado de superficie permiten una mejor repartición de las cargas en superficie lo que reduce las tensiones de contacto y aumenta la resistencia al pitting.

Los engranajes de transmisión utilizados en la aeronáutica, el automóvil y los vehículos pesados son aplicaciones ideales para el procedimiento CASE.SM. Estaran utilizados para soportar durante años, momentos de flexión al pie y cargas de contacto importantes sobre los flancos de dientes. Este procedimiento ha dado excelentes resultados en todas estas industrias.



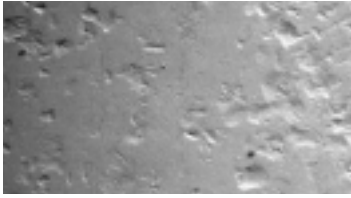


FIGURA 11-6 Textura de superficie con Proceso C.A.S.Esm

La **FIGURA 11-6** muestra una finición típica del CASEsm ampliada por x 30 [Ref. 11.3]. El estado de superficie shot peenizado sería muy parecido a la **FIGURA 11-4**. El procedimiento está concebido para dejar algunos “valles” al acabado shot peenizado para la retención de lubricante.

Estados de superficie de $0,4 \mu\text{mRa}$ o mejor son realizables sobre engranajes cementados. La **FIGURA 11-7** muestra un perfil típico de rugosidad de un engranaje cementado después de

shot peening y también después el acabado isotropico del procedimiento CASEsm. La distancia de “pico hasta valle” del acabado shot peenizado es de $2,9 \mu\text{m}$. Después del acabado isotropico, esta distancia se rebaja a $0,6 \mu\text{m}$. La rugosidad R_{sk} , que mide la disimetría de un perfil de rugosidad teniendo en cuenta su valor mediano es entonces negativo y puede acercarse a $-1,1$, dado que el procedimiento elimina todos los picos para guardar únicamente los valles del shot peening.

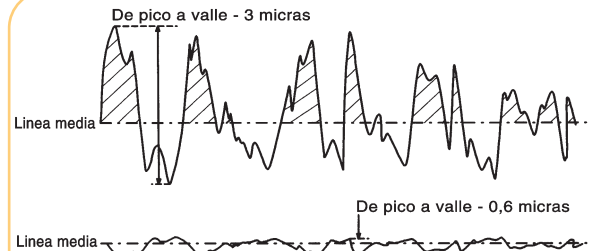


FIGURA 11-7 Textura de Superficie con Shot Peening y Después del Proceso C.A.S.Esm

SHOT PEENING EN OBRA

Las grandes estructuras que han sido fijadas sobre sus fundaciones o cuyo tamaño sobrepasa los límites de cargamento sobre camión pueden ser shot peenizadas por equipos de operadores experimentados con equipamientos portátiles. Estos equipos realizan el shot peening en el mundo entero conformándose a los mismos criterios de calidad que en las fábricas M.I.C. Control de Intensidad Almen, cobertura y bolas certificadas son utilizados como descritos en el capítulo 12 - Control del procedimiento

Ejemplos de aplicaciones realizadas con éxito con equipo móvil :

- Elementos soldados (depósitos bajo presión, cuerpo de triturador, casco de embarcación, depósitos de almacenamiento químico, puentes)
- Reparación de avión y eliminación de la corrosión (panel de alas, tren de aterrizaje, otros componentes cargados dinámicamente)
- Componentes de centrale eléctrica (tubos de intercambiador térmico, stator de turbina, componentes rotativos, álabes de turbina)
- Shot peening direccional sobre tubos de transporte de partículas plásticas (polietileno, polipropileno,...etc.)
- Industrias diversas (acería, papeleras, minas)

SHOT PEENING BAJO TENSION

El shot peening bajo tensión permite desarrollar una tensión residual de compresión suplementaria que ofrece más resistencia a las grietas de fatiga. Mientras que el doble shot peening ofrece mejoras a la capa superficial, el shot peening bajo tensión desarrolla un nivel importante de tensión de compresión sobre toda la capa afectada.

Para ejecutar el shot peening bajo tensión, la pieza debe estar físicamente cargada en la misma dirección que tiene en servicio antes el shot peening. Los muelles de tracción deben estar estirados, los muelles de compresión deben estar comprimidos y las barras de torsión deben estar cargadas en torsión. Eso ofrecerá una tensión residual de compresión máxima y orientada que se opone a la tensión de tracción de servicio creada durante el cargamento cíclico.

La tensión de compresión suplementaria está producida por el precargamento de la pieza en su límite elástico durante el tratamiento por shot peening. Cuando las bolas de shot peening alcanzan la superficie, la capa en superficie se alarga bajo la tensión debida al precargamento.



Se obtiene la tensión residual suplementaria cuando la superficie del metal intenta restaurar su alargamiento inicial.

La **FIGURA 11-8** muestra la tensión de compresión suplementaria, obtenida sobre un acero 50CrV4 por shot peening bajo tensión [Ref11-4]. El gráfico demuestra que, cuanto más es elevado el cargamento, más importante es la tensión residual. Cuando el shot peening se realiza bajo tensión, el coste de tratamiento aumenta a causa de la fabricación del utillaje de fijación y de la manipulación suplementaria para precargar las piezas antes shot peening.

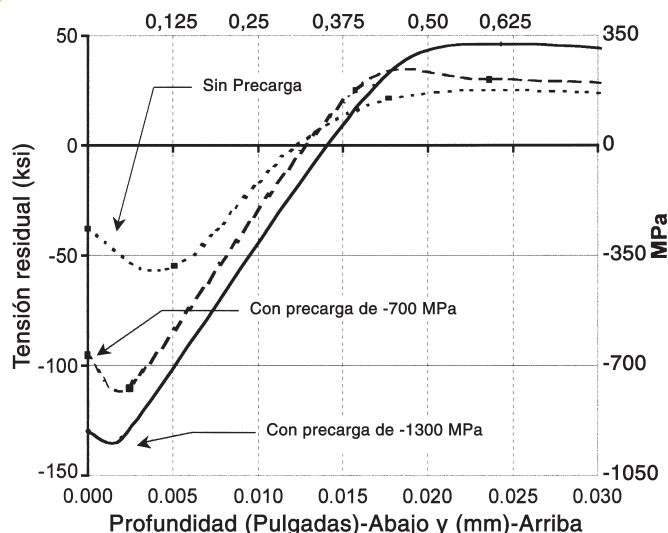


FIGURA 11-8 Tensión Residual Inducida por shot peening Bajo Tensión.

PEENSTRESSSM – MODELISACION DE LA TENSION RESIDUAL

Para definir los parámetros de shot peening apropiados, MIC toma en consideración diversos criterios. Uno de los más importantes es la predicción del perfil de la tensión residual después del shot peening. Los factores siguientes influyen en el perfil de tensión residual final :

- Material, tratamiento térmico y dureza
- Geometría de la pieza
- Bola (tamaño, material, dureza e intensidad)
- Tratamiento simple, doble o bajo tensión

MIC tiene más de 50 años de experiencia en la selección de los parámetros de shot peening.

Recientemente, MIC ha desarrollado en interno un programa llamado Peenstress utilizado para optimizar los resultados del shot peening.

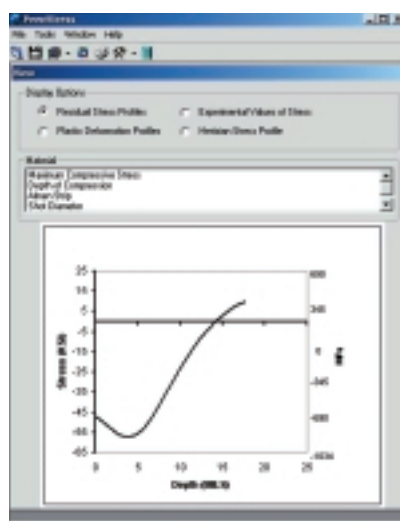


FIGURA 11-9 Perfil de tensión Residual Modelizado por PeenstressSM.

PeenstressSM posee una amplia base de datos de materiales y condiciones de tratamientos térmicos a disposición del utilizador. Una vez seleccionado el material apropiado (y el tipo de tratamiento térmico), el utilizador elige los parámetros de shot peening que son :

- Diámetro de la bola
- Material y dureza de la bola
- Intensidad Almen.

Como sobre la **FIGURA 11-9**, PeenstressSM traza graficamente la curva teórica basada sobre los datos introducidos. Cambiando los parámetros de shot peening, el utilizador puede optimizar el tratamiento para conseguir los resultados deseados.

PeenstressSM contiene una base importante de datos de análisis de tensión resultando de difracción de rayos X que servirán a comprobar las curvas teóricas. Cuando se utiliza el Shot Peening sobre piezas de espesor reducido el programa es particularmente útil para establecer la profundidad de compresión y así reducir al mínimo la deformación.

LASERSHOTSM PEENING

El Lasershotsm peening, o choque laser, utiliza ondas de choque para introducir una tensión residual de compresión. La ventaja principal de este procedimiento es la introducción de una capa de compresión muy profunda con una plastificación mínima. Profundidades de capa hasta 1.0 mm sobre aceros cementados y 2.54 mm sobre aleaciones de aluminio han sido obtenidas de manera corriente. Los métodos convencionales de shot peening, son capaces de alcanzar hasta un 35 % de esas profundidades. Otro beneficio, es que el alivio térmico de la tensión residual es menos importante que la que es generada por el shot peening mecánico sobre aleaciones como el titanio, inconel, etc...[Réf 11.5]

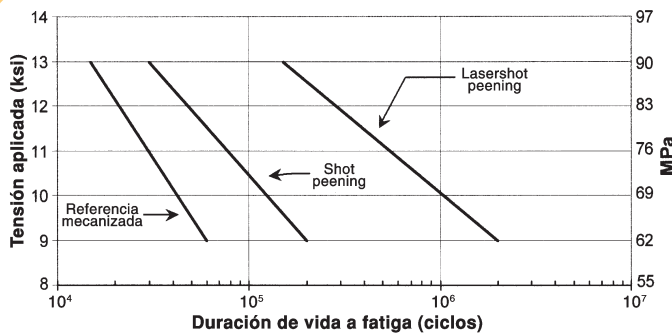


FIGURA 11-10 Lasershot Peening Sobre Alu 6061-T6

Metal Improvement Company a tomado parte activamente en un acuerdo de investigación y desarrollo cooperativo (CRADA) con el Laboratorio Nacional Lawrence Livermore (EEUU) para desarrollar este procedimiento. El dicho procedimiento utiliza un laser vidrio Neodyme de alta potencia y de fuerte cadencia de tiros. Ese laser está utilizado con un manipulador robotizado cinco ejes lo que permite tratar una gran variedad de piezas.

Los beneficios de una capa de compresión residual excepcionalmente profunda están

presentados en la FIGURA 11-10. La curva de fatiga muestra los resultados de prueba a fatiga de probetas en aluminio 6061-T6. Las pruebas comparativas han sido realizadas con probetas referencias, probetas shot peenizadas de manera mecánica y probetas tratadas por choque laser [Réf. 11.6].

VALVULAS - FABRICACION

Metal Improvement Company fabrica válvulas elásticas utilizadas en compresores, bombas y motores de combustión. Las válvulas elásticas son estampaciones de alta precisión funcionando en ambientes hostiles que necesitan gran resistencia mecánica. Se requieren tolerancias de fabricación muy estrictas para realizar una forma plana y ofrecer una resistencia a fatiga en flexión y a las cargas de contactos importantes.

MIC emplea técnicas de acabado Stress litesm concebidas para producir un estado de superficie específico y con bordes redondeados exigidos para garantizar la duración de vida de la pieza. Para aplicaciones muy cargadas, el Stress litesm puede ser asociado con el Shot peening. Los resultados siguientes comparan los resultados de válvulas elásticas utilizando el Stress litesm, con o sin shot peening [Réf. 11.7] :

- Estampada : 47,000 ciclos
- Stress Litesm : 62,000
- Stress Litesm + Shot peening: 194,000

FIGURA 11-11 (válvulas elásticas) representa una selección de la numerosas formas complejas de válvulas fabricadas por MIC.

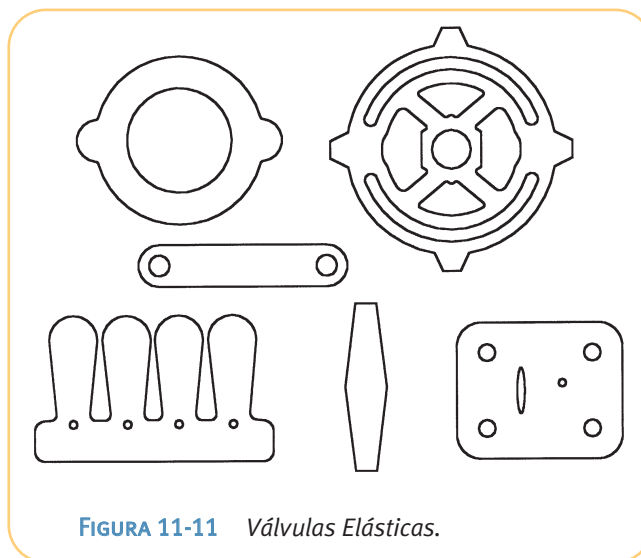


FIGURA 11-11 Válvulas Elásticas.



REPRODUCCION / ARTICULOS TECNICOS

MIC posee una gran colección de publicaciones técnicas referentes a la fatiga y corrosión de los metales, y al shot peening.

Existe una lista de las separatas al final de este manual técnico. Le invitamos a ponerse en contacto con el servicio técnico de MIC más cercano o a visitar nuestro sitio Web www.metalimprovement.com , si desea un complemento de informe referente al shot peening.

TRATAMIENTO TERMICO

Metal Improvement Co. posee una red de unidades de tratamiento térmico para metales. Esas fabricas están catalogadas en el respaldo de la tapa . A fin de ofrecerles el mejor servicio con arreglo a sus necesidades en tratamientos térmicos como el shot peening, MIC le propondra soluciones originales de subcontratación y de producción.

REFERENCIAS:

- 11.1 Hupp; Shot Peening Bolt Holes in Aircraft Engine Hardware; 2nd International Conference on Shot Peening; Chicago, IL May 1984
- 11.2 Lanke, Hornbach, Breuer; Optimization of Spring Performance Through Understanding and Application of Residual Stress; Wisconsin Coil Spring Inc., Lambda Research, Inc., Metal Improvement Co. Inc.; 1999 Spring Manufacturer's Institute Technical Symposium; Chicago, IL May 1999
- 11.3 Metallurgical Associates, Inc; Waukesha, WI 1999
- 11.4 Muhr; Influence of Compressive Stress on Springs Made of Steel Under Cyclic Loads; Steel and Iron, December 1968
- 11.5 Prevey, Hornbach, and Mason; Thermal Residual Stress Relaxation and Distortion in Surface Enhanced Gas Turbine Engine Components, Proceedings of ASM/TMS Materials Week, September 1997, Indianapolis, IN
- 11.6 Thakkar; Tower Automotive fatigue study 1999
- 11.7 Ferrelli, Eckersley; Using Shot Peening to Multiply the Life of Compressor Components; 1992 International Compressor Engineering Conference, Purdue University

