

The Shot Peener's Corner



Nº 23

The Shot Peener's Corner es una colaboración entre ELECTRONICS INC. e IPAR-BLAST, S.L.

Cada artículo, es una traducción del reportaje más destacado de la revista THE SHOT PEENER.

ELECTRONICS INC. es líder mundial en formación y difusión del shot peening.

IPAR-BLAST, S.L. es subcontratista de tratamientos superficiales de precisión.

Entre los cuales se encuentra el shot peening.

La intensidad del shot peening

Su significado real y la estrategia de la medida

por el Dr. David Kirk de la Universidad de Coventry (Texto traducido por Eduardo Vázquez—IPAR-BLAST, S.L.)

INTRODUCCION

Los dos términos más importantes para los aplicadores de shot peening son “Cobertura” e “Intensidad de shot peening”. La “cobertura” tiene un único significado, sin ambigüedades: El porcentaje de área a tratar que ha sido impactada al menos en una ocasión. Por otro lado, la “Intensidad de shot peening” se define de varias maneras. Algunos clientes, la identifican como la altura de arco de un punto específico de una llamada “curva de saturación”. Además, buscando en internet definiciones para “Intensidad de shot peening” la describen como “La intensidad de shot peening es la medida de la energía del haz de granalla” – cosa que es incorrecta. Esta, nos lleva a confusión, porque asocia a que un incremento del caudal del haz de granalla conllevará un incremento de la intensidad.

Habiendo aceptado un valor de altura de arco como intensidad de shot peening los aplicadores deben de emplear algún tipo de estrategia de medición. Una definición básica de estrategia es “un plan de alto nivel para alcanzar un objetivo bajo condiciones de incertidumbre”. Esta definición se alinea con la problemática con la que constantemente se encuentran los aplicadores, intentando encontrar un equilibrio entre la intensidad especificada por sus clientes y la variabilidad de los factores que afectan a la intensidad. Por lo que una estrategia efectiva será importante para satisfacer las necesidades de los clientes, ya que los recursos suelen ser limitados.

La mayoría de los aplicadores basan su estrategia para satisfacer a sus clientes en hacerlo de la forma más económica posible. Especificaciones como la SAE J443, permiten una variedad de estrategias de medición. A pesar de todo, las grandes compañías podrán utilizar estrategias propias que diferirán mucho de las contenidas en las especificaciones internacionales. Ese tipo de estrategias, pueden ser muy efectivas.

Este artículo está dividido en dos partes. La primera parte, habla brevemente sobre el verdadero significado de la intensidad de shot peening. La segunda parte, abarca con algo más de profundidad las diferentes estrategias de medición de intensidad de que disponemos, así como sus pros y contras. Finalmente, se sugiere que una combinación de estrategias de preparación y verificación permite alcanzar una estrategia mejorada.

EL VERDADERO SIGNIFICADO DE “INTENSIDAD DE SHOT PEENING”

El verdadero significado de intensidad de shot peening se podría expresar como: “... la capacidad promedio de indentación de cada partícula de granalla que en conjunto, forman un haz de granalla...”. No importa, por ejemplo, si de una boquilla salen una o un millón de partículas por segundo. Lo que verdaderamente importa es la capacidad de indentación de cada una de ellas. Considérese la analogía de estar siendo picado por insectos. Las avispas furiosas provocan picaduras más grandes que los pequeños mosquitos. El tamaño medio de cada picadura, es análogo al valor de intensidad. La cobertura, es análoga al porcentaje de área de piel que tenga al menos una picadura. Una avispa media, pesa unas 200 veces lo que un mosquito medio. Por lo que las picaduras de avispa deberían de ser como 200 veces la de un mosquito para poder igualar el ritmo de cobertura de los mosquitos. En el shot peening, a menor tamaño de granalla, mayor ritmo de cobertura siempre que el resto de parámetros se mantengan iguales.

El siguiente, es un divertido ejercicio de pensamiento paralelo.

Capacidad de indentación de las balas de cañón de buques de guerra

Se pueden establecer varios paralelismos entre las balas de cañón y las partículas de granalla. Imagine un navío de línea equipado con tres filas de cañones esquematizados como en la fig.1. Un navío de línea típico inglés, tendría cañones de 42 libras en la cubierta inferior, de 24 libras en la intermedia y de 12 libras en la superior. Las balas de 42

libras, evidentemente, tendrían una capacidad de indentación mayor que las balas más pequeñas. Una granalla de tamaño grande, tiene la capacidad de generar mayores indentaciones si damos por hecho de que ambas se aceleran hasta la misma velocidad.

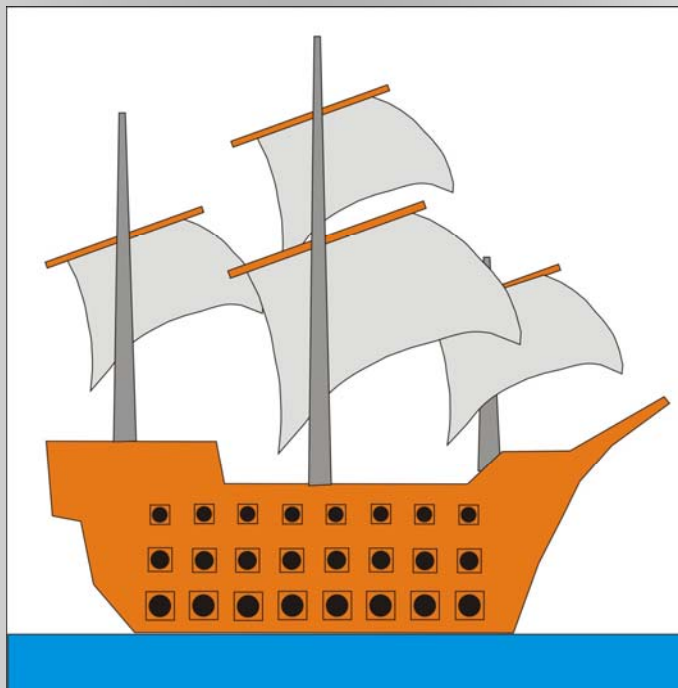


Fig.1 Navío de línea con tres filas de cañones

Se puede establecer otro paralelismo, entre la cobertura en shot peening y el efecto del fuego continuado de cañón. El capitán del navío debería considerar ambas, es decir el tamaño de los impactos y la cantidad de impactos en el objetivo. Bajo un fuego continuo, el objetivo se iría llenando de impactos. La cobertura dependería tanto del número de impactos como del tamaño de ellos.

El tercer, y más importante, paralelismo es que el tamaño promedio de la capacidad de indentación de una bala de cañón es el equivalente del tamaño promedio de la capacidad de indentación de cada partícula de granalla de un haz de granalla. La capacidad de generar un tamaño determinado no depende de la cantidad de balas de cañón disparadas ni de la cantidad de bolas de granalla. A lo que si afecta es a la cobertura, que se mide de manera independiente.

Con las balas de cañón no se intentó cuantificar la capacidad de indentación de estas. Sin embargo con el shot peening, tenemos una medida cuantitativa de esta capacidad, es la altura de arco de la intensidad de shot peening. Esta medición, da por hecho de que un haz de granalla contiene una enorme cantidad de partículas de granalla. No sería práctico intentar medir la capacidad de indentación de cada partícula y sacar el promedio.

Un haz de granalla contiene una vasta cantidad de partículas volando. La medición indirecta de la capacidad de indentación de estas partículas fue ideada por John Almen. El, se dio cuenta de que el uso de un método que midiese el tamaño de la indentación no iba a ser práctico. Como alternativa, ideó un procedimiento basado en la curvatura, que tomaban unas plaquitas de acero, inducida por las indentaciones. Manteniendo otros parámetros, a mayor tamaño de indentación, mayor curvatura en inducida.

El procedimiento del Sr. Almen ha evolucionado mucho desde que se implantó en la era pre ordenadores. Su concepto de un conjunto de placas de acero idénticas sometidas a diferentes tiempos de shot peening dio lugar a la popular curva de saturación que se dibujaba graficando alturas de arco de las placas contra tiempo. En esta curva, él decidió

que la “rodilla” de la curva podría ser utilizada como el punto para definir la intensidad de shot peening (también conocida como capacidad de indentación). Desafortunadamente, la localización de esta rodilla de la curva variaba entre operarios, que no eran expertos matemáticos. De una forma ideal, todo operario podría haber sido capaz de situar ese punto en la curva. El término “el punto más bajo de la curva para el cual la altura de arco no se incrementa más de un 10%” se hizo paso en el vocabulario, y redujo, aunque no eliminó, la variación de la localización manual del punto en la curva. Actualmente, con la disponibilidad de los ordenadores, la variable operario puede ser eliminada.

El término “rodilla” se introdujo para indicar la región de la curva de saturación en la que se acentuaba su curvatura. Las primeras gráficas de las curvas de saturación exageraban esa acentuación de la zona de la rodilla haciéndola parecer una pierna de una persona (similar a cuando uno está sentado). Hoy en día, con la potencia de cálculo de los ordenadores, somos capaces de diferenciar un único punto de esa rodilla: “el punto en el que la altura del arco crece un 10% cuando el tiempo de exposición se duplica”. Este punto (altura H, tiempo T) no tiene por qué ser una altura medida sobre una placa Almen sino que es un punto calculado sobre la curva que se ha dibujado con los datos obtenidos. La diferencia se ve en la Fig. 2.

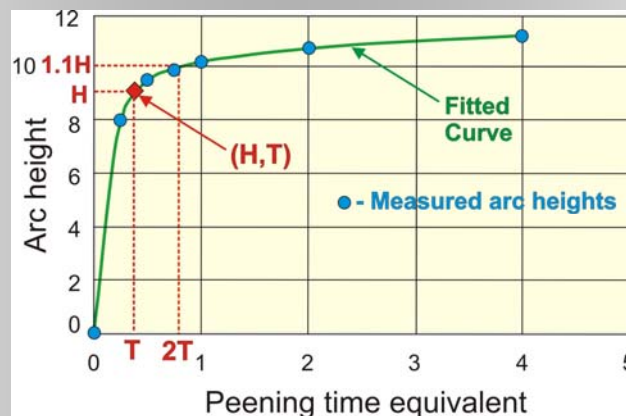


Fig.2 Punto calculado de intensidad de shot peening (H, T)

Algún matemático dirá que el punto en el que la rodilla es más acentuada se determinaría mucho mejor a través de la segunda derivada de la ecuación de la curva. Este concepto debe ser desestimado en favor de la regla del 10%, ya que es mucho más fácilmente asimilable por no expertos en matemáticas.

Durante las operaciones de shot peening, hay dos fases en las que hay que medir la intensidad:

1. Puesta a punto de la máquina
2. Verificaciones

En ambas fases, hay diferentes estrategias de medición. La estrategia de medición hay que elegirla en base a varios criterios como: coste de la medición, satisfacción del cliente y criticidad del componente. Estos factores se solapan tal y como se visualiza en la Fig. 3.

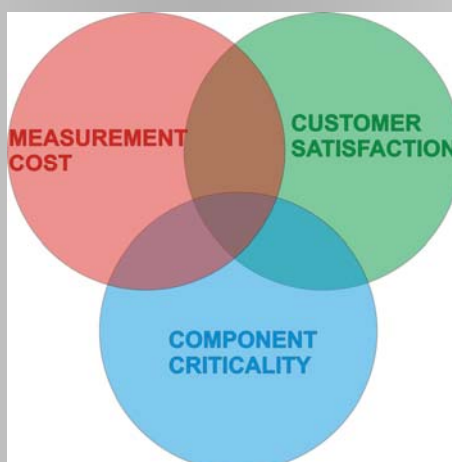


Fig.3 Factores que afectan en la elección de la estrategia de medición

Un uso secundario de las mediciones de la intensidad, es que las curvas de saturación correspondientes son una indicación de la estabilidad del haz de granalla.

ESTRATEGIAS DE MEDICION PARA LA PUESTA A PUNTO

Las especificaciones, como la J442 y J443, regulan el procedimiento de medición de intensidad en la puesta a punto de la máquina. Se permite dibujar una curva de saturación si se someten un mínimo de 4 placas Almen a diferentes tiempos de shot peening. El número real utilizado es un factor clave en la estrategia.

Es importante tener en cuenta que:

1. Todo punto medido, es susceptible de tener una variabilidad (incluso en el hipotético, aunque bastante improbable, caso de que el haz de granalla fuese perfectamente estable) y
2. El propio haz de granalla está sujeto a su propia variabilidad.

Estas variabilidades, se han representado esquemáticamente en la Fig.4. Esta figura asume que este haz en particular tiene una baja variabilidad, comparándola con la variabilidad de la medición, que es lo más habitual. Una estrategia relacionada con placas Almen de bajo coste o calidad, medidores Almen sencillos y poca atención a la técnica de medida, conllevarán una elevada variabilidad.

Los elementos básicos de cualquier estrategia de medición en la puesta a punto son:

1. Elección de un programa para dibujar la curva
2. Decisión sobre la cantidad de placas Almen a tratar para obtener la curva de saturación.
3. Uso de conocimientos previos sobre parámetros similares de shot peening.

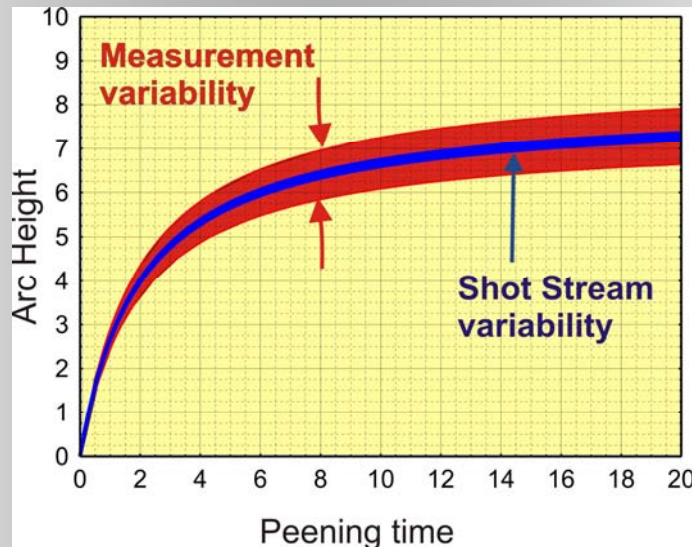


Fig.4 Representación esquemática de la variabilidad del haz de granalla y de las mediciones

1. Elección de un programa para dibujar la curva

La elección, deberá de cumplir con lo indicado en la norma SAE J2597 "Computer generated Shot Peening Saturation Curves"

Los programas que actualmente están disponibles, normalmente utilizan una ecuación con dos parámetros: a y b. Por ejemplo, una ecuación típica es:

$$h = a*t/(b + t) \quad (1)$$

donde **h** es la altura del arco, **a** y **b** son los parámetros deducidos y **t** es el tiempo de exposición (o su equivalente).

También existen ecuaciones de tres variables pero para su uso son necesarios más de 4 puntos. La Fig. 5 muestra el conjunto de 6 puntos de la colección de datos de la SAE J2597 dibujados utilizando tres tipos diferentes de ecuación: A, B y C (siendo dos de ellas de dos variables y la tercera de tres variables). El segundo punto de las mediciones está oculto, porque es muy similar a los puntos de intensidad.

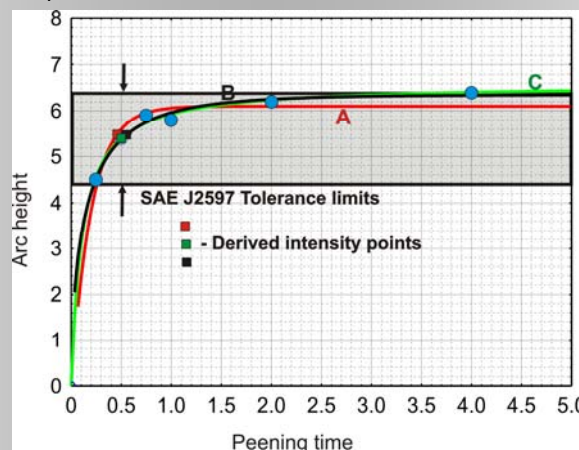


Fig.5 Diferentes gráficas de la colección de datos nº10 de la SAE J2597

Los diferentes tipos de ecuación, tienen ligeras diferencias en sus gráficas. Se evidencia en la Fig. 5 donde la curva A se aplanan antes que las B y C. Hay aplicadores (cada vez menos, afortunadamente) que creen que la curva de saturación debería aplanarse inmediatamente. Por ello preferirían la curva A. Esto es justo lo contrario a las grandes evidencias actuales acerca de los ratios de aplanamiento de las curvas.

La SAE J2597 requiere que la ecuación de cálculo utilizada de un valor de intensidad con una tolerancia de ± 0.001 inch respecto al valor publicado (0.0054 en el caso de la colección de datos del ejemplo). Esta tolerancia, se ha representado también en la Fig.5. Las tres ecuaciones nos muestran puntos de intensidad que cumplen holgadamente los

límites requeridos y además, son similares entre ellos. El valor concreto de las intensidades es de 5.49, 5.47 y 5.38 para las curvas A, B y C respectivamente. Se recomienda que, sea el que sea el programa de ordenador utilizado, este pueda dar datos cercanos a los datos SAE publicados, no simplemente datos dentro de los rangos permitidos.

2. Número de puntos

Cualquier decisión acerca del número de puntos a usar durante el proceso de puesta a punto debe considerar el compromiso entre coste de las mediciones, satisfacción del cliente y criticidad del componente. El número de puntos tiene que ser de al menos 4 para cumplir con los requerimientos de la especificación. Este mínimo es normal cuando los costes deben de reducirse al máximo por tener márgenes bajos. En cualquier caso, los clientes deberían de confiar en el uso de más puntos. Esto, es especialmente importante en componentes con puntos de estrés críticos. Sin embargo, si los parámetros de control de máquina tienen un control exhaustivo, el uso de 4 puntos tiene más validez.

3. Conocimientos previos

El uso del conocimiento previo es el alma de cualquier estrategia de medición de intensidad. La experiencia, puede estar en la memoria de cualquier persona o se puede documentar en una base de datos. Todas las alturas de arco medidas, tienen su valor comercial, más aún si forma parte de una base de datos que puede filtrar mediciones anteriores. La experiencia, sirve principalmente para establecer los parámetros de control. La Fig. 6 muestra un método por el que la experiencia previa puede ser muy útil.

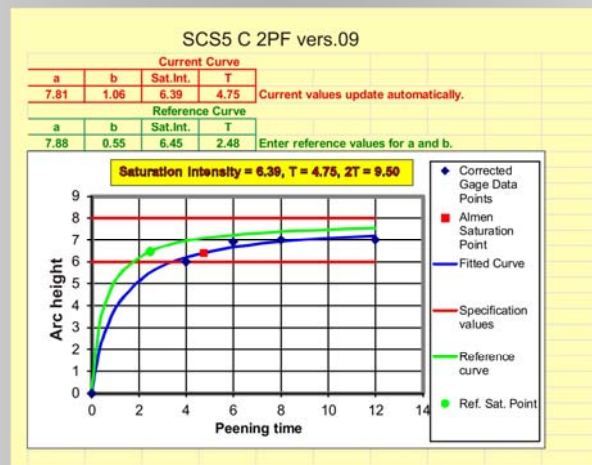


Fig.6 Ilustración de las diferencias entre lo esperado y lo medido mediante un programa comparador

Este utiliza una versión del comparador de la suite de los programas Curve solver de www.shotpeener.com. Se asume aquí, que anteriormente se utilizaron parámetros de proceso específicos que dieron resultados como los indicados como "Reference Curve". Los mismos parámetros se utilizaron posteriormente para hacer una puesta a punto nominalmente idéntica y esperando mediciones similares. En este caso particular, resulta fácil comparar las dos curvas, viendo que a pesar de que los valores de intensidad son muy similares, sus correspondientes tiempos T son substancialmente diferentes.

Si la experiencia previa es limitada, o directamente no existe, se puede utilizar una estrategia de doble placa. Es decir, se tratarán dos placas con los parámetros potencialmente adecuados. Si la intensidad alcanzada está dentro de la tolerancia de la especificación, entonces se podrán más placas para construir toda la curva y así cumplir con el mínimo requerido en la SAE J443.

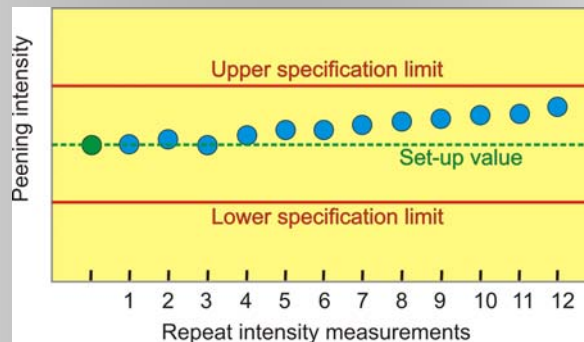


Fig.7 Mediciones repetidas de intensidad a intervalos especificados, mostrando claramente una deriva

Durante un relevo largo, la intensidad de shot peening de un haz de granalla de un ajuste dado, puede tener deriva debida a factores como la granalla, boquillas y desgaste de mangueras. La Fig.7 es un hipotético ejemplo que muestra cómo una deriva podrá ser detectada en el supuesto de que la estrategia de medición tenga una baja variabilidad. La Fig. 8 muestra como la detección sería mucho más difícil si la variabilidad de las medidas fuese mayor. Para ambas figuras, se da por hecho que se hicieron una docena de mediciones intermedias durante el largo relevo con los mismos parámetros de control.

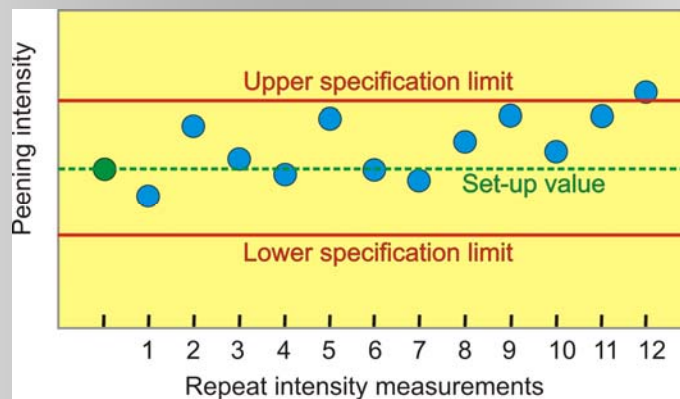


Fig. 8 Mediciones repetidas de intensidad a intervalos especificados, mostrando vagamente una deriva

ESTRATEGIAS PARA MEDIDAS DE VERIFICACION

Las dos estrategias permitidas por la SAE J443 han sido recientemente descritas a fondo en un artículo reciente de la revista The Shot Peener (Otoño 2015). Una de ellas se refiere a situaciones con un solo soporte para placas y habla de la comprobación con una única placa Almen. La segunda trata sobre situaciones de varios soportes para placas y trata de la comprobación mediante el tratamiento de una placa Almen en cada soporte.

Estrategias para un único soporte Almen

La SAE J443 permite dos tipos de estrategias. La primera es que la placa de verificación debe de ser shot peenizada para el tiempo T del punto de intensidad de shot peening derivado de la curva de saturación. Esto, se ilustra en la Fig.9 (utilizando la colección de datos Nº 5 de la SAE) donde en un tiempo T de 4,71 se da una intensidad de 6,55. Si el control de shot peening fue hecho por tiempo, entonces será posible hacer de nuevo una placa a 4,71 segundos. Si por el contrario el control se hizo por unidades enteras, por ejemplo nº de ciclos, entonces será difícil realizar 4,71 ciclos. Por lo tanto, se permite una segunda estrategia. Y es que la cantidad de shot peening aplicada podrá ser del valor entero más cercano a T, en este caso, se ha elegido 5 en la Fig.9. La altura de arco obtenida de la curva de saturación en este caso será de 6,62 para 5 ciclos. Esta es, en efecto, la "altura objetivo" en estrategias de múltiple soportes Almen. La obtención de la altura objetivo se puede obtener dibujando los datos obtenidos o puede ser calculada si se conocen los parámetros de la ecuación de la curva. Como ejemplo para la ecuación $(h=a/t/(b+t))$ del Solver 2PF usado en la Fig.9, los parámetros fueron $a=8,01$ y $b=1,05$ por lo que para $t=5$, la altura sería de 6,62.

Para cualquiera de las estrategias, la altura de arco obtenida, debe repetir el valor de saturación con una tolerancia de $\pm 0,0015$ ".

Estrategias para multi soportes Almen

En la SAE J443, se describe una única estrategia para multisoportes, en la cual, a todos los soportes se les debe aplicar la misma cantidad de shot peening. Las alturas de arco, se deducirán de las curvas de saturación de cada soporte para esta cantidad de shot peening. Estas, se denominarán "alturas objetivo". Las alturas obtenidas para la cantidad de shot peening determinada, deberán repetir las alturas objetivo con una tolerancia de $\pm 0,0015$ ". La cantidad de shot peening, puede ser un tiempo de saturación T o un número entero de ciclos, según haya sido acordado con el cliente.

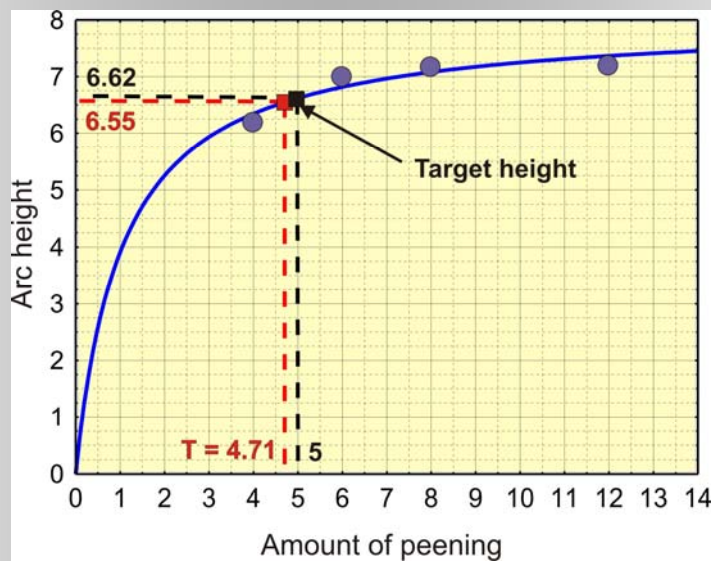


Fig.9 Alternativas a la verificación de soporte único

ESTRATEGIAS COMBINADAS DE PUESTA A PUNTO Y VERIFICACION

Se puede decir que al menos una gran compañía de shot peening utiliza una estrategia combinada de puesta a punto y medición. Se puede resumir de la siguiente manera:

1. Realizar la puesta a punto para un número determinado de placas
2. Obtener la intensidad y el tiempo T de la colección de datos obtenida
3. Determinar la cantidad de shot peening adecuada para la comprobación
4. Shot peenizar una placa adicional para esta cantidad de shot peening

La Fig. 10 ilustra esta estrategia combinada utilizando la misma colección de datos que para la Fig.9.

Los 4 puntos 1, 2, 3 y 4 se obtienen y dibujan. Esto, permite determinar la cantidad de shot peening para la comprobación. Se shot peeniza una quinta placa para esa cantidad de shot peening. En la Fig.10 el punto obtenido se dibuja exactamente sobre la curva, hecho que normalmente no será el caso habitual. Las ventajas de esta estrategia combinada son que (1) podemos confiar doblemente en el punto de verificación y (2) tenemos 5 puntos con los que dibujar la curva, que será más precisa.

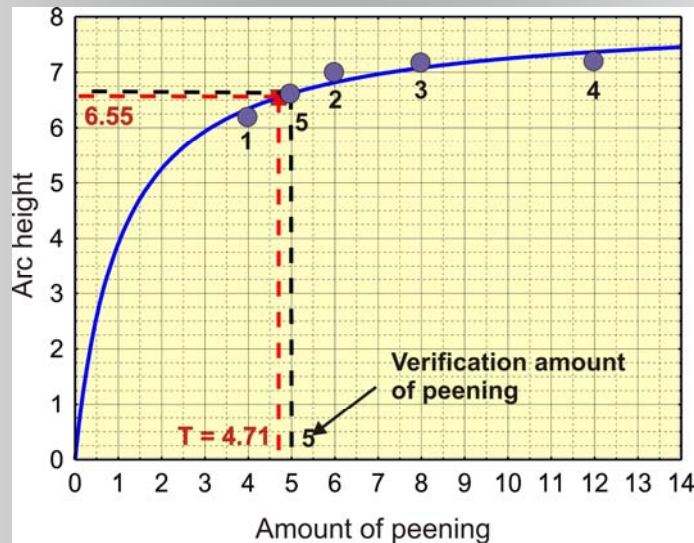


Fig.10 Combinación de puesta a punto con 4 placas y verificación de cantidad de shot peening

Una segunda estrategia combinada se podría resumir como:

1. Hacer una pre puesta a punto con dos placas, basándonos en conocimientos previos de esta puesta a punto.
2. Obtener la intensidad y el tiempo T de esta pre puesta a punto.
3. Realizar el shot peening para tiempos adecuados a los que sigan a los puntos obtenidos en 2.
4. Dibujar y analizar la curva de saturación
5. Determinar la cantidad de shot peening para la verificación
6. Shot peenizar una placa más para esta cantidad del punto 5.

CONCLUSIONES

La intensidad de shot peening es una medida de la capacidad promedio de indentación de las partículas que forman el haz de granalla. A capacidad de indentación, varía de partícula a partícula. La regla del 10% para obtener la altura del arco, determina con precisión esa capacidad media de indentación. Este procedimiento, en cualquier caso, es solo una parte de la estrategia total de medición elegida teniendo en cuenta costes, satisfacción de cliente y criticidad de la pieza.

La precisión de la medición de la intensidad de shot peening está afectada por varios factores implicados en la estrategia global. Estos van desde la calidad de las placas Almen, el propio medidor, su mantenimiento, la destreza del operario, tipo de dibujo de la curva, número de puntos, experiencia previa y tácticas de verificación. La combinación de la puesta a punto y de la verificación, siempre nos aportará ventajas.



IPAR-BLAST, S.L.
Pol. Ind. Ibur Erreka, 40 - bajo 1
20600 EIBAR (Guipúzcoa)
TEL. 943 820 516
FAX. 943 820 619
shot-peening@ipar-blast.com
www.ipar-blast.com



ELECTRONICS INC.
56790 Magnetic Drive
46545 MISHAWAKA (Indiana)
EE.UU.
TEL: 574-256-5001 / 800-832-5653
FAX: 574-256-5222
www.electronics-inc.com