IPAR BLAST
SHOT PEENING

The Shot Peener's Corner

Nº.47



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.

ESPECIFICACIONES MÁS ALLÁ DE LA AERONÁUTICA

Kumar Balan | Especialista en Shot Peening

Especificaciones más allá del sector aeroespacial

Al comenzar mi 36.º año de actividad profesional, el 95% de los cuales han transcurrido en esta industria, al igual que la mayoría de vosotros, también he acumulado muchas historias interesantes. Sin embargo, esta destaca sobre las demás y merece ser contada de nuevo, con mis disculpas si ya me la habéis oído. Cuando era un joven e impresionable ingeniero de veintitantos años, me encargaron vender equipos de control de la contaminación atmosférica para cualquier fuente emisora de polvo, desde una máquina de chorreado hasta un horno de arco eléctrico.

Durante una de aquellas reuniones, en una parte del mundo donde por entonces la electricidad era escasa y estaba sometida a restricciones, estaba proponiendo un sistema de extracción de humos que requería, aguas abajo del conjunto, un ventilador extractor de 75 HP. Al calcular con el usuario final el coste de funcionamiento del sistema, me informaron de que aquel ventilador solo se pondría en marcha de forma selectiva, quizá unas pocas horas al mes. Aquello me dejó desconcertado, ya que, como todos sabemos, ningún sistema de ventilación puede funcionar si antes no está en marcha su ventilador extractor.

Mis conocimientos técnicos no quedaron precisamente satisfechos con la explicación del usuario final: el objetivo de aquel sistema de extracción de humos no era controlar la contaminación atmosférica, sino satisfacer a las autoridades de control ambiental. Por tanto, el ventilador se programaba para funcionar únicamente durante las visitas de inspección de dichas autoridades. Esta experiencia me ayudó a decidir en qué tipo de industria quería desarrollar mi carrera. Quería trabajar con usuarios finales que, unas veces por elección, pero siempre por obligación, trabajasen conforme a una especificación. El sector aeroespacial era el candidato perfecto, y aquí estoy.

A medida que los beneficios del shot peening son reconocidos por industrias ajenas a los sectores aeroespacial y de automoción, me he preguntado a menudo por la importancia y utilidad de los documentos de proceso AMS para quienes realizan shot peening fuera del ámbito aeroespacial. ¿Son 2430, 2431 y 2432 simples números para ellos? ¿Qué consideran una especificación y cómo consiguen demostrar su conformidad? Sospecho que estas preguntas también os quitan el sueño. De ahí esta reflexión. Mi investigación incluyó conversaciones con usuarios de automoción (muelles, transmisiones), petróleo y gas (barras de torsión) y ferrocarril (ruedas).

SAE J2441 Shot Peening es una norma para vehículos de superficie destinada a orientar a quienes realizan shot peening fuera del sector aeroespacial. Durante la última reunión de SAE (mayo de 2025), supe que SAE llevaba tiempo sin vender muchas copias de este documento (o posiblemente ninguna). Como me había ofrecido a patrocinar el documento y revisarlo para actualizar su relevancia, consideré que debía reescribirse con el objetivo de situarlo entre la histórica MIL-S-13165C y la actual AMS 2430. Comercializar un producto así será una tarea hercúlea, dado que el "salvaje oeste" de las especificaciones fuera del sector aeroespacial constituye un enorme territorio desconocido. Pero hay que empezar por algún sitio. En esta exposición quisiera presentar algunos de los aspectos clave que debería contener un documento "relevante", con la expectativa de recibir comentarios constructivos de nuestra comunidad sobre otros contenidos que os gustaría encontrar en un futuro documento.

Antecedentes

MIL-S-13165 se publicó por primera vez en 1953 y se

actualizó cuatro veces hasta junio de 1989. Dado que una gran mayoría de usuarios conoce este documento, quisiera destacar algunos aspectos clave de MIL-S-13165C antes de su cancelación:

La última versión ya incluía el control del proceso, como los límites de parada. Aunque las tolerancias concretas no se publicaron hasta versiones posteriores de AMS 2432, este documento MIL identificaba en sus apartados 6.8 y 6.9 todas las variables clave que debían supervisarse, tales como el caudal de granalla, la presión de aire/velocidad de la turbina (velocidad de proyección) y la distancia entre la boquilla y la pieza; el proceso debía detenerse cuando alguna de ellas se desviase fuera de tolerancia.

Este documento establecía la tolerancia de la intensidad de shot peening (3.3.6). Para planos que indicaban un único valor (mínimo) de intensidad, se especificaba una variación de -0, +30 % y, en ningún caso, inferior a tres unidades de intensidad.

Este documento también incluía una mejor definición de la cobertura, la variación en los límites de la zona tratada y el tamaño mínimo de granalla en función del menor radio (de acuerdo) de la pieza.

MIL-S-13165C fue cancelada en febrero de 1998, cuando el ámbito militar transfirió a AMS su titularidad y la responsabilidad de futuras actualizaciones; AMS la sustituyó entonces por AMS-13165. Para más detalles, véase la edición de verano de 2020 de The Shot Peener.

AMS-S-13165A también fue posteriormente cancelada (diciembre de 2007). Fue el documento predominante durante casi una década antes de quedar sustituido por AMS 2430 y AMS 2432 (que, aunque ya existían, no se utilizaban habitualmente como sustitutas).

AMS 2430 y 2432 son especificaciones de proceso, respaldadas por diversas especificaciones de materiales, como AMS 2431/x para los medios de shot peening, y por prácticas recomendadas SAE que aportan detalles adicionales.

SAE J2441 es una norma para vehículos de superficie que, en mi opinión, debería reescribirse para cumplir mejor los objetivos de una especificación destinada a aplicaciones no aeroespaciales. Aspectos destacados de su versión actual (junio de 2015):

J2441 es una especificación de proceso que, como cabría esperar, no hace referencia a documentos AMS para los requisitos de granalla nueva. Todas las referencias remiten a documentos SAE J.

Los requisitos de tamaño de la granalla en proceso (control por tamizado) son los establecidos en AMS 2430. No se hace referencia al mantenimiento de la forma, salvo una breve indicación que admite como máximo un 10 % de partículas rotas en una muestra representativa. En cambio, AMS 2430 (y AMS 2432, que remite a 2430) contiene instrucciones detalladas para la inspección de la forma de la granalla en proceso, incluyendo el tamaño de la ventana de muestra para la evaluación visual según los distintos tamaños de granalla, los aumentos necesarios para la evaluación y las tolerancias. Esto se aplica tanto a medios metálicos como no metálicos.

Siguiendo con la granalla, esta especificación no incluye AMS 2431 como documento de referencia. Obsérvese que los usuarios de este documento cumplirán sus requisitos si optan por utilizar granalla de calidad industrial (SAE J827 y J444) para shot peening, sin necesidad de emplear granalla de calidad AMS (anteriormente, y todavía de forma coloquial, denominada MILSPEC), que presenta tolerancias más exigentes de forma y tamaño y, por tanto, exige una mayor inversión en la compra de granalla.

Comentario: Si os preguntáis si este aspecto convierte el proceso de shot peening en un proceso menos preciso, permitidme explicarlo. Ni AMS 2430 ni J2441 obligan a utilizar un clasificador vibratorio o un separador espiral (spiralator) para controlar el tamaño y la forma. En ambos documentos se trata de recomendaciones o sugerencias, quizá algo más firmes en AMS 2430 ("El equipo puede incluir un separador de granalla para controlar mecánicamente el tamaño y la forma, como cribas vibratorias, dispositivo espiral o cinta inclinada"), frente a "se realizará al menos una determinación del tamaño y uniformidad de la granalla cuando se cambie el tamaño o tipo de medio en la máquina, cada 8 h de funcionamiento continuo de la máquina con granalla metálica..." y "La uniformidad se determinará mediante los procedimientos de muestreo y tamizado

definidos en SAE J444".

Por tanto, quien realice shot peening de forma rigurosa y reconozca el valor que aporta este control para mantener un proceso estable y obtener resultados repetibles, sin provocar daños superficiales en las piezas tratadas, incorporará los medios necesarios para garantizar que el proceso funcione siempre con un tamaño y una forma de granalla consistentes en la máquina.

Se especifica que la verificación de la intensidad debe encontrarse dentro de la tolerancia indicada en el plano (como en AMS 2430). Sin embargo, respecto a la intensidad mínima de shot peening, se permite una tolerancia de -0, +40 %, frente al +30 % de AMS 2430.

En conjunto, la información contenida en J2441 reproduce en esencia AMS 2430, pero con un nivel de detalle reducido.

Opiniones de la industria

La adopción de J2441 es, en el mejor de los casos, mínima; su propia existencia apenas se conoce. Para saber más, hablé con usuarios finales y otros actores del sector, incluidos fabricantes OEM de equipos de shot peening. Como era de esperar, entre quienes realizan shot peening fuera del sector aeroespacial existía un gran desconocimiento de cualquier documento cuyas siglas comenzasen por AMS. La palabra "aeroespacial" generaba cierto temor respecto al cumplimiento de las especificaciones. El temor tenía dos vertientes: que el proceso fuese demasiado complejo y difícil de implantar/cumplir, y que sus equipos no fueran capaces de satisfacer los requisitos de conformidad. Sin embargo, resultaba evidente su interés por aprender más y, potencialmente, adoptar una especificación práctica y utilizable.

Don Paul, ingeniero de fabricación de Matthew Warren Spring en Logansport, Indiana, aporta información sobre el enfoque de la empresa respecto a la calidad y al control de proceso en la fabricación de muelles. La planta está especializada en la producción de muelles helicoidales conformados en frío, anillos de retención y muelles de material compuesto de carbono. "Nuestras especificaciones de shot peening son una extensión de nuestra técnica o instrucción de trabajo", explicó Don. "Mediante el control del proceso, principalmente gestionando la velocidad, el caudal de granalla y la tolerancia del tamaño de la granalla, garantizamos alcanzar la intensidad requerida dentro del intervalo especificado y establecer la cobertura de la pieza. Tanto nosotros como nuestros clientes somos conscientes de la importancia crítica del shot peening para la vida a fatiga de los muelles que fabricamos."

Don prevé que las crecientes exigencias de repetibilidad y precisión del proceso configurarán el futuro de la industria. Sin embargo, expresa cierto escepticismo respecto a la adopción generalizada de una nueva especificación excesivamente ambiciosa. "Aunque no conozco los documentos AMS a los que has hecho referencia, nuestro plan interno de calidad está estrechamente alineado con las especificaciones exigidas por nuestros clientes", señaló. Debido a acuerdos de confidencialidad, en el momento de esta conversación no fue posible acceder a especificaciones internas concretas ni a especificaciones impuestas por clientes.

Blast Cleaning Technologies (BCT), de West Allis, Wisconsin, es un fabricante especializado en equipos de granallado por turbina. Benjamin Roche es ingeniero de aplicaciones y también ha asistido a la formación de Electronics Incorporated sobre shot peening. Trabaja en aplicaciones de shot peening para clientes de BCT que tratan componentes fundidos y forjados de distintos sectores industriales con equipos fabricados por BCT. "Habitualmente recibimos especificaciones redactadas por el cliente que debemos seguir y que, en ocasiones, hacen referencia a especificaciones SAE, AMS o MIL. Con frecuencia, las especificaciones SAE citadas en los documentos de los clientes son J441, J442, J443 y J444", explicó Ben. "Nuestra filosofía de diseño para shot peening, y para la mayoría de las aplicaciones de limpieza por granallado, consiste en ofrecer un control total de la intensidad de proyección (y de peening) mediante la instalación de variadores de frecuencia en los motores de las turbinas. Todas las aplicaciones de shot peening en las que he participado corresponden a máquinas de turbina, en las que se esperaba que los amperímetros de las turbinas proporcionasen una indicación aproximada del caudal de granalla. Esto, combinado

con MagnaValves, cerraba el lazo de control del caudal de granalla. El equipo menos habitual del que disponen los clientes es un clasificador para el control del tamaño", indicó Ben. No resulta sorprendente, ya que los clasificadores no se fabrican con capacidad para procesar el 100 % del caudal de granalla de una máquina multiturbina y solo cabe esperar que muestreen continuamente un porcentaje del caudal total. Se trata de una práctica aceptable que los usuarios deben conocer.

Ben se mostró optimista sobre el valor de una nueva especificación. "Creo que tendría una buena acogida, especialmente entre los usuarios de la industria de automoción. En algunas aplicaciones de shot peening de automoción, los OEM utilizan sus propias especificaciones, que en determinados casos pueden resultar confusas y contradictorias. Creo que ayudaría a esas operaciones disponer de especificaciones comunes como referencia al desarrollar su proceso de shot peening."

¿Qué es importante en una especificación?

A un nivel general, pero fundamental, estamos tratando con la energía de impacto (1/2 × masa × velocidad^2) y con nuestra capacidad para suministrar ese valor de manera constante. Si utilizamos este concepto para elaborar una especificación, el documento deberá proporcionar instrucciones sobre los siguientes aspectos para empezar a generar relevancia, interés y, finalmente, adopción:

Una masa constante de las partículas de granalla de shot peening dentro de una tolerancia especificada. Esto se garantiza manteniendo al menos el 80 % de las partículas dentro de un tamaño especificado (criterios de tamizado para granalla nueva y granalla en proceso). Resultaría útil incorporar al documento intervalos de inspección como los indicados en AMS 2430 para máquinas con y sin separador (clasificador), especialmente teniendo en cuenta los comentarios anteriores de que este es el equipo que con mayor frecuencia falta entre los usuarios.

Además de que las partículas deformadas y las partículas con aristas vivas no presentan una masa uniforme equivalente, existe la posibilidad adicional de que esas aristas impacten y dañen la superficie de la pieza. Deben incluirse indicaciones claras para eliminar dichas partículas cuando su proporción supere la tolerancia, evitando así una transferencia de energía inconsistente y daños en piezas críticas a fatiga. Como opción para las instalaciones que puedan permitírselo, podrían contemplarse medios ópticos y electrónicos para examinar las muestras de granalla.

Medición: la necesidad de precisión y repetibilidad debe quedar reflejada en este documento, con un margen razonable para las desviaciones previsibles y prácticas propias del proceso. En otras palabras, propongo que la especificación para aplicaciones no aeroespaciales sea menos restrictiva y permita que la altura de arco (arc height) de la placa Almen quede fuera del intervalo principal de intensidad indicado en el plano, siempre que se encuentre dentro de la tolerancia de ±0,0015".

Diferenciación clara entre altura de arco (arc height) e intensidad. Aunque todas las especificaciones remiten a SAE J443, una explicación más práctica que relacione ambos conceptos con la transferencia de energía ayudará al usuario final a comprender la diferencia.

Cobertura: la referencia en este caso es SAE J2277. Aunque en su versión actual es un documento exhaustivo, la inspección y el acuerdo sobre el porcentaje de cobertura siguen teniendo un componente subjetivo. Una nueva especificación debe incorporar recomendaciones de técnicas prácticas para inspeccionar la cobertura sobre la pieza.

Otras notas prácticas que podrían tratarse en este documento son:
(a) presencia de óxido en la granalla y técnicas (almacenamiento y eliminación del óxido) para recuperarla para su uso; (b) efecto del ángulo de incidencia sobre la intensidad; (c) patrones de desgaste de elementos habituales, como turbinas y boquillas, y métodos para identificarlos. Aunque estos contenidos puedan parecer más propios de un manual que de una especificación, considero que no debe subestimarse su utilidad, incluso si se incluyen en el apartado "Notas". El desgaste es un aspecto subjetivo, pero un desgaste extremo que afecte al resultado entra claramente dentro del ámbito de una especificación.

Formación: al igual que ocurre con la formación para rotary flapper peening, la especificación debe incluir

cierto nivel de detalle que identifique la formación mínima necesaria para realizar shot peening sobre cualquier componente, sea o no crítico para la misión.

Resumen

Espero incorporar la mayor parte, o la totalidad, de los aspectos anteriores en mi propuesta de revisión de SAE J2441. Como indiqué anteriormente, agradeceré cualquier comentario que contribuya a hacer de este documento una herramienta eficaz y útil tanto para usuarios nuevos como experimentados.

IPAR BLAST
SHOT PEENING

P. Ind. Itziar-Deba, Parcela 4,
Pabellón F2-5, 20829 Itziar, Gipuzkoa

T. 943 820 516

www.ipar-blast.com

Electronics Inc.
Shot Peening Control

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