

# MWH. APLICACIÓN DE VIDRIO METAL “MW-C<sup>2</sup>”

An Impermeable Mineral-Metal Multiphase Coating



**MÄRKISCHES WERK**  
Your Engine. Our Ingenuity.™

## INTRODUCCIÓN

La densidad de potencia y la vida de servicio de los motores de gran diámetro y alto rendimiento están frecuentemente limitadas por la carga térmica de las válvulas de escape. Para los motores que funcionan con HFO (Heavy Fuel Oil, fueloil pesado) la limitación es causada principalmente por el entorno corrosivo del interior de la cámara de combustión y del sistema de escape. La exposición a los productos de combustión de HFO puede conducir a un ataque químico severo en los componentes de la cámara de combustión, y por ello las válvulas de escape de los motores alimentados con HFO deben fabricarse normalmente de costosas super aleaciones de base de níquel. Sin embargo, incluso esas válvulas sufren la corrosión de gases calientes en motores altamente cargados y deben ser sustituidas frecuentemente. Puesto que no hay disponibles materiales de una resistencia a la corrosión de gases calientes incluso más elevada, MWH ha liderado el desarrollo de revestimientos para proteger las válvulas de motores y otros componentes de estos frente a la corrosión de gases calientes.

### **Revestimientos multifase de mineral-metal mediante pulverización en caliente**

MWH inició el desarrollo de revestimientos de protección contra la corrosión de gases calientes en 2004. El primer revestimiento multifase de protección de la corrosión adecuada para uso en componentes de motor se demostró en 2008. Este revestimiento denominado de vidrio-metal se presentó en el Congreso CIMAC de 2007 en Viena (1). El revestimiento de la primera generación estaba compuesto por solo 2 fases (una de vidrio, y una de metal), y se aplicó usando proyección a llama. En la figura 1, se muestra una vista microscópica de la primera generación del revestimiento de vidrio-metal de MWH.

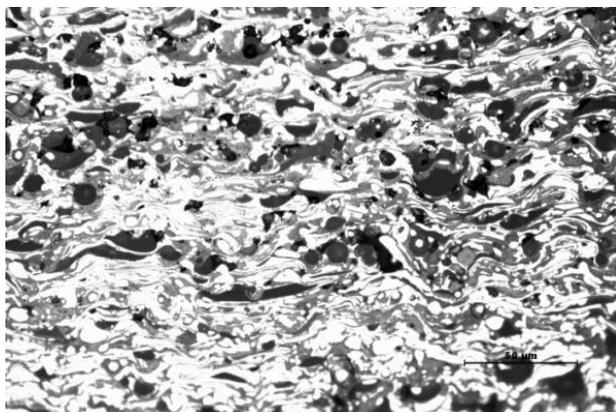


Figura 1. Vista microscópica de la estructura del revestimiento de vidrio-metal de MWH de la primera generación (2 fases, aplicadas mediante proyección a llama)

La primera generación del revestimiento de vidrio-metal de MWH, demostró que los revestimientos multifase mediante pulverización en caliente pueden soportar el entorno exigente de una cámara de combustión. Además, los primeros ensayos de campo demostraron que estos tipos de revestimientos pueden proteger las válvulas de escape del ataque corrosivo en un motor alimentado con HFO. El revestimiento de vidrio-metal de MWH mostró una protección mejorada de la corrosión en motores que queman HFO con una relación de vanadio/sodio (V/Na) de 8:1 aproximadamente. El revestimiento de vidrio-metal de MWH dio lugar a una corrosión a un ritmo más lento que Nimonic 80<sup>a</sup>, previniendo la formación del patrón de “adoquinado”, característico de un ataque corrosivo acelerado en los límites de grano de metal.

Los ensayos de motor y laboratorio adicionales con revestimiento vidrio-metal de MWH mostraron, sin embargo, que cuando la relación V/Na del combustible se aproximó a 2:1, la tasa de corrosión de nuestro revestimiento de vidrio-metal fue superior a la de Nimonic 80A. Esta conducta fue seguida por la formación de  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  en entornos con relaciones V/Na bajos y una temperatura de fusión relativamente baja de la fase de vidrio empleada en ese revestimiento.

## **Corrosión de gases calientes en componentes de la cámara de combustión**

Un reconocimiento adicional de los ensayos con el revestimiento de la primera generación de vidrio-metal de MWH, fue que la carga corrosiva sobre los componentes dentro de la cámara de combustión de los motores alimentados con HFO puede ser incluso más severa de lo que se creía previamente. En concreto, la temperatura superficial instantánea localizada de los componentes de la cámara de combustión puede exceder su temperatura bruta media en 100°C o más. Por lo tanto, mientras que la temperatura máxima de trabajo de las válvulas de escape se acepta esté por debajo de 700°C, los procesos químicos responsables de la corrosión de gases calientes en la superficie son acentuados por temperaturas mucho más elevadas. Este efecto es confirmado por el hecho de que muchas válvulas de escape de Nimonic 80A experimentan tasas de desgaste por corrosión en la cara de la válvula de 200-500  $\mu\text{m}/1000\text{h}$ . En algunos casos, se han documentado tasas de desgaste de 1000  $\mu\text{m}/1000\text{h}$  en vástagos de válvula de sistemas de 2 tiempos de Nimonic 80A.

Para proteger de manera eficaz los componentes de la cámara de combustión frente a la corrosión de gases calientes en condiciones del mundo real, fue necesario desarrollar revestimientos con resistencia química a subproductos de combustión más corrosivos, y con temperaturas de aplicación más elevadas. El desarrollo, ensayo, y aplicación de tales revestimientos se comenta en las secciones siguientes.

### **MW VIDRIO-METAL “MW-C<sup>2</sup>”**

Después de nuestra experiencia con el primer revestimiento de vidrio-metal de MWH (1), se desarrolló una nueva generación de revestimientos multifase de mineral-metal para uso en componentes de motores. Estos revestimientos llevan el nombre de “MW-C<sup>2</sup>”, y están compuestos de 3 o más fases. “MW-C<sup>2</sup>”, emplea componentes minerales (vidrio y cerámica) resistentes a  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  y  $\text{Na}_2\text{O}_6\text{V}_2\text{O}_5$ , así como a las mezclas de estos. Esto se logra empleando componentes minerales con puntos de fusión elevados (>300°C), y la aplicación mediante pulverización por plasma. Otras características de “MW-C<sup>2</sup>”, incluyen:

- Resistencia elevada de la adherencia entre el revestimiento y el sustrato (interfaz)
- Coeficiente de expansión térmica ajustado al sustrato
- Elástico y altamente resistente a impacto térmico
- Baja porosidad (<2%)
- Impermeable y térmicamente estable a elevadas temperaturas (resistente a la corrosión de gases calientes).

Para caracterizar de forma más precisa la resistencia a la corrosión de gases calientes de “MW-C<sup>2</sup>”, en MWH se desarrolló un procedimiento de ensayo en laboratorio para pruebas de corrosión acelerada. Este procedimiento de ensayo, así como la resistencia a la corrosión de gases calientes de las formulaciones resultantes de “MW-C<sup>2</sup>”, se comenta en la siguiente sección.

## **Desarrollo de “MW-C<sup>2</sup>”, y ensayos de laboratorio**

Los componentes de los motores modernos tienen una vida útil esperada de varios miles de horas en campo. Como consecuencia de ello, los ensayos de motores pueden requerir mucho tiempo y el rendimiento de la capa de protección de la corrosión solo puede evaluarse después de muchos

meses o incluso años. Por ello, para ayudar al desarrollo de “MW-C<sup>2</sup>”, se desarrolló en MWH una prueba de corrosión acelerada. Esta prueba consiste en:

- 1) Revestimiento del perímetro exterior de probetas cilíndricas del espesor deseado.
- 2) Colocación de las probetas en crisoles de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, y recubrimiento con una mezcla de Na<sub>2</sub>O<sub>6</sub>V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (relación 9:1)
- 3) Colocación de las probetas en una estufa de laboratorio (ensayos realizados a 700 y 900°C). Los crisoles deben rellenarse con la mezcla de Na<sub>2</sub>O<sub>6</sub>V<sub>2</sub> y Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> cada 20h
- 4) A la conclusión del ensayo, las muestras se limpian mediante chorreado ligero, y se mide el espesor de revestimiento remanente.

La figura 2 muestra una probeta revestida típica para el ensayo de corrosión acelerada, y una vista microscópica de la sección corroída a la conclusión del ensayo.

Guiados por el ensayo de corrosión acelerada de MWH, se desarrolló una formulación para “MW-C<sup>2</sup>”, y se optimizaron los parámetros de pulverización por plasma. La estructura del revestimiento de 3 fases (2 fases minerales y una fase metálica) resultante se muestra en la figura 3. Una comparación con el revestimiento de primera generación de vidrio-metal (figura 1) revela una mejor dispersión de las fases minerales (color más oscuro), que da lugar a una resistencia a la corrosión mejorada. La relación de las fases minerales dentro de “MW-C<sup>2</sup>”, puede variar para ajustar el coeficiente de expansión térmica dentro del rango de 11 a 19x10<sup>-6</sup>K<sup>-1</sup> (a 20°C). Este ajuste del coeficiente de expansión térmica es necesario para que puedan revestirse los distintos materiales de sustrato. La formulación base de “MW-C<sup>2</sup>”, es adecuada para todos los materiales de base de níquel y hierro. “MW-C<sup>2</sup>”, también se caracteriza por una baja conductividad térmica (1,5-2 W/mK) para que el revestimiento también pueda formar una barrera térmica eficaz en aplicaciones en las que esto se desee. Los ensayos de laboratorio y campo han mostrado que la formulación de “MW-C<sup>2</sup>”, base es altamente eficaz como capa de protección de la corrosión para subproductos de combustión de HFO hasta unos 700°C. Sin embargo, estos ensayos de campo también han mostrado que pueden producirse temperaturas superficiales instantáneas localizadas que exceden 700°C en componentes de la cámara de combustión, requiriéndose un revestimiento con resistencia a la corrosión para temperaturas más elevadas que proteja las válvulas de escape altamente cargadas (sistemas de 4 tiempos y 2 tiempos).

Figura 2 – Probeta típica para ensayo de corrosión de laboratorio (izquierda) y vista microscópica de la sección corroída (derecha)

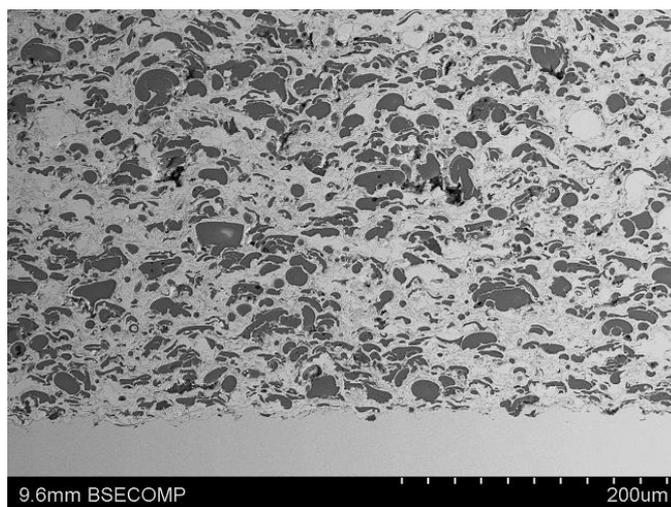


Figura 3 – Vista microscópica de la estructura de revestimiento de MWH “MW-C<sup>2</sup>”, (3 fases, aplicadas mediante pulverización por plasma)

Para aplicación a temperaturas incluso más elevadas, se desarrolló una formulación de alta temperatura de “MW-C<sup>2</sup>”, (denominada “MW-C<sup>2</sup>”HT). “MW-C<sup>2</sup>”HT emplea 5 fases (4 fases minerales y una metálica) y su estructura se muestra en la figura 4. En concreto, las fases minerales de “MW-C<sup>2</sup>”HT consisten en óxidos “inactivos” con puntos de fusión extremadamente elevados. Al igual que para “MW-C<sup>2</sup>”, la relación relativa de las fases minerales puede variarse para ajustar el coeficiente de expansión térmica, y “MW-C<sup>2</sup>”HT también es adecuado para todos los materiales de base de níquel y hierro. Las características principales de “MW-C<sup>2</sup>”, y de “MW-C<sup>2</sup>”HT se resumen en la tabla 1.

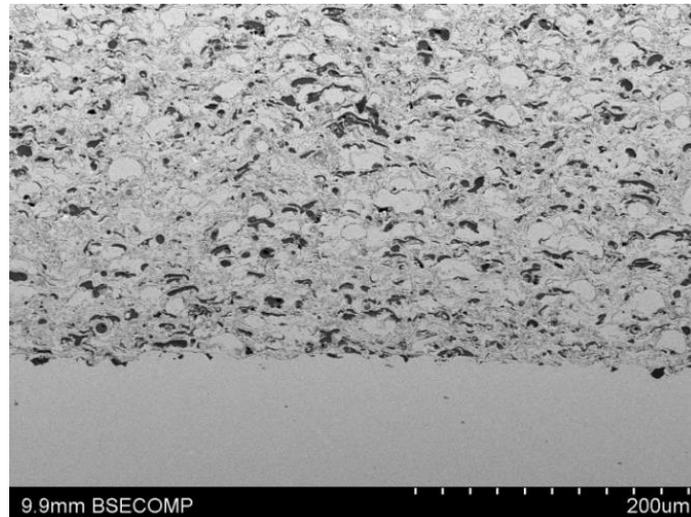


Figura 4 – Vista microscópica de la estructura del revestimiento “MW-C<sup>2</sup>”, JT (5 fases, aplicadas mediante pulverización por plasma).

	“MW-C <sup>2</sup> ”	“MW-C <sup>2</sup> ”HT
Número de fases (mineral/metal)	3 (2/1)	5 (4/1)
Temperatura de aplicación en combustión de HFO	Hasta 700°C	Hasta 900°C
Temperatura máxima en aire	1000°C	1000°C
Conductividad térmica a 20°C	1,5 – 2 W/mK	3 – 4 W/mK
Rango de coeficientes de expansión térmica a 20°C	11-19x10 <sup>-6</sup> K <sup>-1</sup>	10-19x10 <sup>-6</sup> K <sup>-1</sup>

Tabla 1 – Propiedades principales y rangos de aplicación de “MW-C<sup>2</sup>” y “MW-C<sup>2</sup>”HT

Los valores de corrosión medidos de “MW-C<sup>2</sup>”y “MW-C<sup>2</sup>”HT, así como de Nimonic 80A se muestran en la figura 5. Aunque estos valores de corrosión se midieran usando el procedimiento de laboratorio descrito previamente, estos resultados proporcionan un buen indicador de la resistencia mejorada a la corrosión de gases calientes alcanzable con “MW-C<sup>2</sup>” y “MW-C<sup>2</sup>”HT.

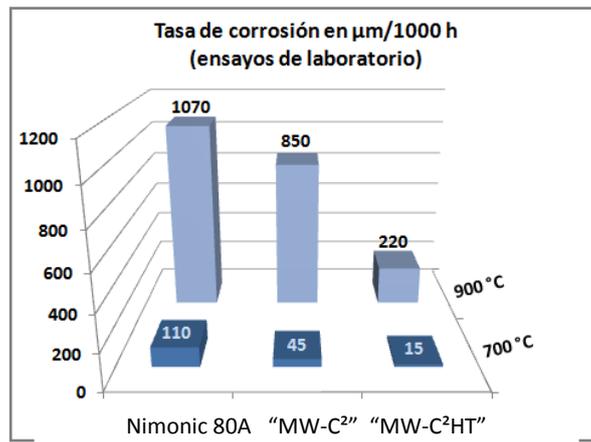


Figura 5 – Tasas de corrosión medidas de Nimonic 80A, “MW-C<sup>2</sup>”, y “MW-C<sup>2</sup>”HT en ensayos de laboratorio. Los ensayos de corrosión de gases calientes se realizaron a 700 y 900°C

### **Validación en campo en motores de 4 tiempos:**

En una planta de generación de energía de 320 mm de diámetro interior, accionada con HFO, se instalaron varios vástagos de válvula de escape nuevos de Nimonic 80A. Estas válvulas estaban revestidas de “MW-C<sup>2</sup>” en la cara exterior, diámetro exterior, y radio bajo la cabeza, como se muestra en la figura 6.

El motor se hizo funcionar de forma normal, y en toda la duración del ensayo no se obtuvieron incidentes. Las inspecciones periódicas de las válvulas fueron realizadas por personal de MWH, y dos de las válvulas revestidas se extrajeron para evaluación destructiva en nuestro laboratorio después de 4630 y 7323 horas de marcha, respectivamente. Los vástagos de válvula se limpiaron de depósitos, midieron y seccionaron. Las vistas de la sección y microscópica de estas válvulas se muestran en las figuras 7 y 8, respectivamente.

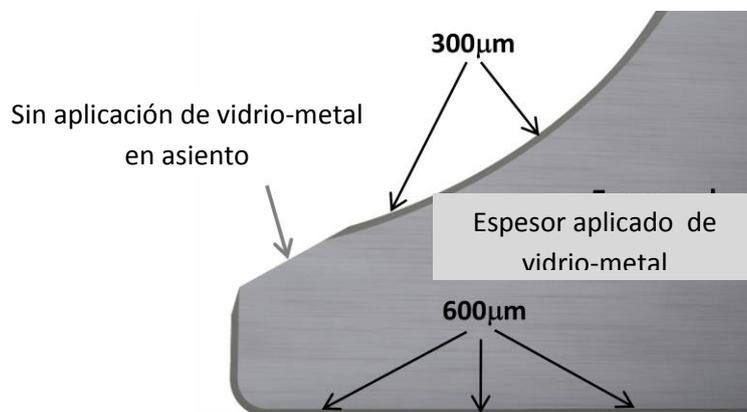


Figura 6 – Ilustración de los vástagos de escape de 4 tiempos de “MW-C<sup>2</sup>”. En la figura se indica el espesor de “MW-C<sup>2</sup>”, aplicado. El material de la válvula era Nimonic 80<sup>a</sup>

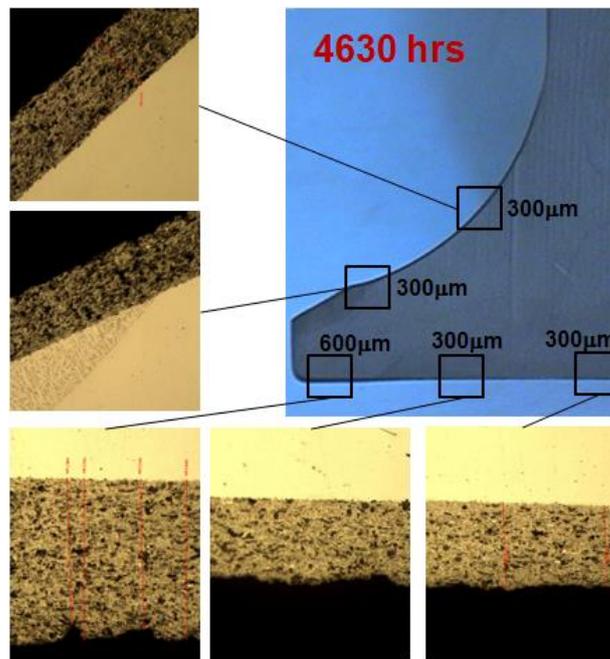


Figura 7 – Vistas de la sección y microscópica de la válvula de escape de 4 tiempos de “MW-C<sup>2</sup>” después de 4630 horas de operación. En la figura se indican los espesores remanentes de “MW-C<sup>2</sup>” en los distintos lugares.

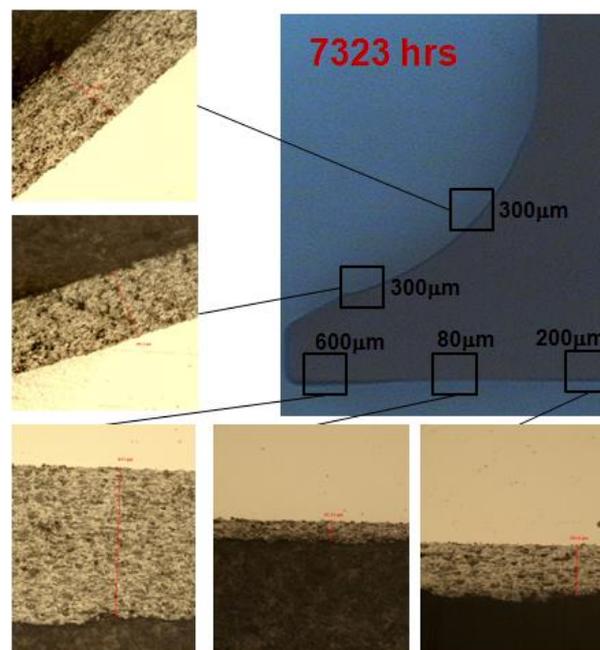


Figura 8 - Vistas de la sección y microscópica de la válvula de escape de 4 tiempos de “MW-C<sup>2</sup>”, después de 7323 horas de operación. En la figura se indican los espesores remanentes de “MW-C<sup>2</sup>”, en los distintos lugares.

Las válvulas de escape de “MW-C<sup>2</sup>” estaban en muy buen estado global. Las figuras 7 y 8 muestran que el revestimiento de “MW-C<sup>2</sup>” todavía estaba en todas las superficies en las que se aplicó, incluso después de más de 7000 horas de operación. Obsérvese, en concreto, que no se apreció desprendimiento o desconchado, y que el material base estaba completamente protegido por el revestimiento. Es decir, debajo del revestimiento no se encuentra corrosión de “adoquinado” inter granular. El espesor de “MW-C<sup>2</sup>” no cambia en las zonas de baja temperatura de las válvulas (radio bajo la cabeza, y diámetro exterior de la cara de válvula). Esto es de gran valor porque la corrosión de gases calientes en el radio bajo la cabeza puede llevar finalmente a un fallo catastrófico de la válvula, como se muestra en la figura 9. El espesor de “MW-C<sup>2</sup>” decrece

gradualmente en las zonas con temperatura más alta (alrededor de la posición de  $\frac{1}{2}$  radio en la cara de la válvula). La tasa máxima de corrosión medida de “MW-C<sup>2</sup>” en este lugar es del orden de 70  $\mu\text{m}/1000\text{ h}$ , como se muestra en la figura 10. Estas tasas de corrosión máxima medidas en la cara de la válvula corresponden a una temperatura superficial localizada instantánea por encima de 700 °C (véanse los resultados en la figura 5). Basado en los ensayos de campo de este motor, se espera que el radio bajo la cabeza de la válvula esté protegido indefinidamente con revestimiento de 300 $\mu\text{m}$  y que toda la cara de la válvula esté protegida unas 14.000 horas con un espesor de revestimiento de 1 mm (1000 $\mu\text{m}$ ).

Este comportamiento es bastante aceptable y representa una enorme mejora frente a las válvulas convencionales no revestidas. Obsérvese que incluso después de que se desgaste la capa de “MW-C<sup>2</sup>” de la cara de la válvula, la válvula puede continuar funcionando sin riesgo de fallo hasta alcanzar los límites de desgaste normales de la válvula. Por lo tanto, el límite operativo debido a corrosión de gases calientes se ve ampliado como mínimo 14.000 horas. Como se discute a continuación, la aplicación de “MW-C<sup>2</sup>” HT puede proporcionar una barrera incluso más duradera frente a la corrosión de gases calientes y puede eliminar los requisitos de usar conjuntamente súper aleaciones de base de níquel.

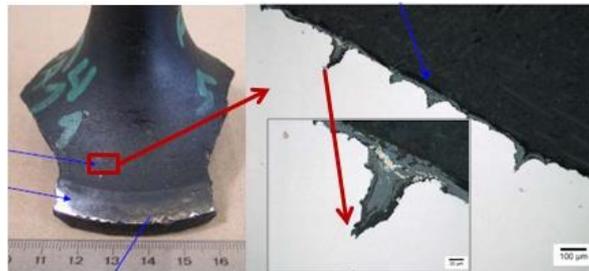


Figura 9 – Ejemplo de fallo catastrófico causado por una fisura originada en el radio bajo la cabeza de una válvula de Nimonic 80A no revestida. Probablemente la fisura comenzó en las muescas afiladas formadas por la corrosión intergranular de gases calientes

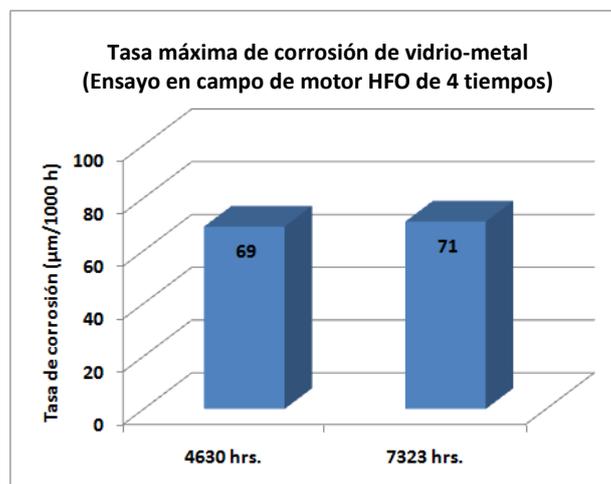


Figura 10 – Tasa de corrosión máxima medida en vástagos de válvulas de escape HFO de 4 tiempos durante ensayos en campo. (Nota: la tasa máxima de corrosión se produce aproximadamente en la posición de la mitad del radio en la cara de la válvula)

### **Validación de campo en motores de 2 tiempos:**

La validación en campo de “MW-C<sup>2</sup>” para aplicaciones en motores de 2 tiempos se realizó en un vástago de válvula MC50.

Los nuevos vástagos de Nimonic 80A, uno con la cara de válvula revestida, se instalaron en dos cilindros de un motor de propulsión marina 6 L50 MC. La válvula revestida se muestra en la figura 11, antes de su instalación inicial en el motor. Los dos vástagos de válvula se inspeccionaron periódicamente por personal de MWH y la “profundidad de quemado” (profundidad de la corrosión) en la cara de la válvula se midió y documentó. Ambos vástagos estaban en buenas condiciones operativas pero, visualmente, eran evidentes algunas diferencias importantes. Específicamente, era claramente visible el aspecto de marcas de “adoquinado”, indicativo del patrón típico de corrosión inter granular, en la cara de la válvula y en el diámetro exterior del vástago de válvula de Nimonic 80A. El vástago de “MW-C<sup>2</sup>”, por otra parte, no mostraba marcas visibles de “adoquinado”. Como se ilustró previamente (véanse las figuras 7 y 8), “MW-C<sup>2</sup>” se desgasta (corroe) de manera uniforme. El aspecto visual de los vástagos de Nimonic 80A y “MW-C<sup>2</sup>” después de unas 4000 horas de operación se muestra en la figura 12. El patrón inter granular de “adoquinado” en la superficie de la válvula de Nimonic 80A indica que el daño de corrosión ha penetrado en el material de la válvula. La estructura microscópica de estos “adoquinados” de corrosión inter granular se muestra en la figura 13, en una cara de válvula típica de Nimonic 80A. Las muescas de corrosión entre los “adoquinados” pueden penetrar frecuentemente más de 1 mm desde la superficie de la cara de la válvula.



Figura 11 – Foto de un vástago de válvula de Nimonic 80A MC50 con un espesor de revestimiento de “MW-C<sup>2</sup>” de 600µm en la cara de la válvula y diámetro exterior, antes de la instalación inicial en el motor.

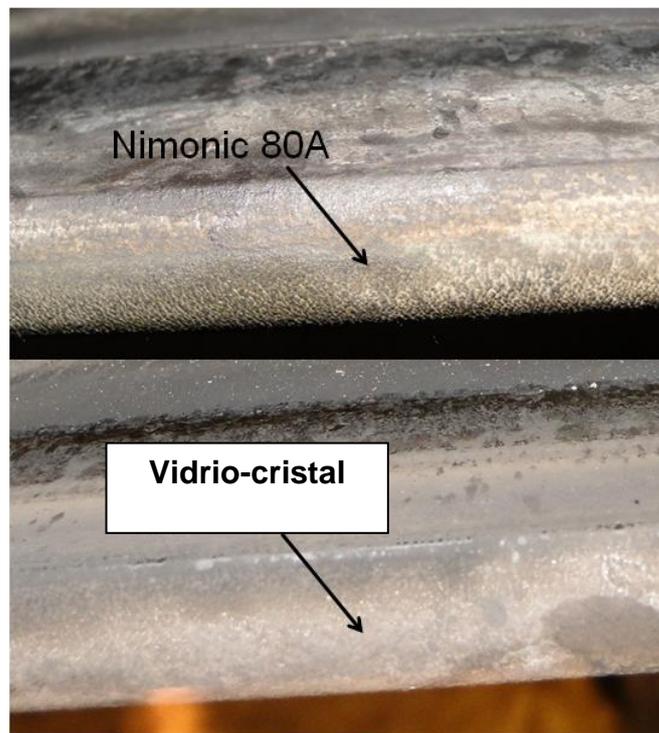


Figura 12 – Fotos de primer plano de vástagos de válvula 50MC, que muestran la formación de marcas de corrosión de “adoquinado” inter granular en la cara de válvula de Nimonic 80A y diámetro exterior, pero no en la válvula de “MW-C<sup>2</sup>”.

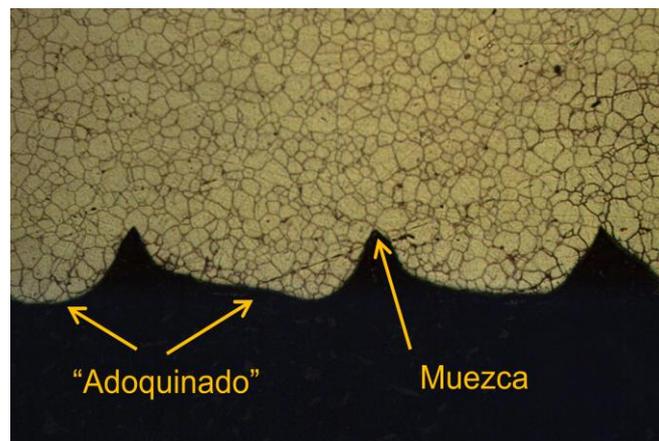


Figura 13 – Vista microscópica de la corrosión de “adoquinado” típico en una cara de válvula de Nimonic 80A, que muestra la profundidad de las muescas entre los “adoquinados”

El procedimiento de medición de “profundidad quemada” en la cara de las válvulas 50MC, se realizó en campo empleando un calibre de nonio y una regla de hierro, como se muestra en la figura 14. Este es el procedimiento estándar recomendado por el fabricante del motor. Puesto que los vástagos de válvula revestidos y no revestidos no tenían horas de marcha acumulada idénticas (debido a intervalos de servicio variables en distintos cilindros del motor), las mediciones de “profundidad quemada” se convirtieron en tasas de corrosión (profundidad de corrosión/tiempo de funcionamiento), que se presentan en la figura 15.

El rango superior de la tasa de corrosión para la cara de válvula de Nimonic 80A de la figura 15 asumen que la profundidad media de muesca entre “adoquinados” es de 500µm.

Estos resultados de validación en campo demuestran que “MW-C<sup>2</sup>” puede usarse para proteger la cara de vástagos de válvula de 2 tiempos. Además, “MW-C<sup>2</sup>” muestra una tasa de corrosión

moderadamente más baja que Nimonic 80A (la tasa de corrosión de “MW-C<sup>2</sup>” es en torno a 1/2 de la de Nimonic 80A) bajo estas condiciones. Estos resultados están en general de acuerdo con los requisitos de laboratorio presentados en la figura 5, y sugieren que la temperatura instantánea localizada en la cara de los vástagos de válvula puede alcanzar alrededor de 800°C. Sin embargo, la menor tasa de corrosión de “MW-C<sup>2</sup>” probablemente no es suficiente para proporcionar protección frente a corrosión de gases calientes en vástagos de válvula de 2 tiempos a largo plazo. Basándose en estas mediciones, puede esperarse que un revestimiento de “MW-C<sup>2</sup>” de 1 mm (1000 µm) en la cara de un vástago de válvula de 2 tiempos solo lo proteja este motor durante unas 5.000 horas en. Por tanto, para la aplicación en vástagos de válvula de 2 tiempos se recomienda “MW-C<sup>2</sup>” HT para mayor temperatura.

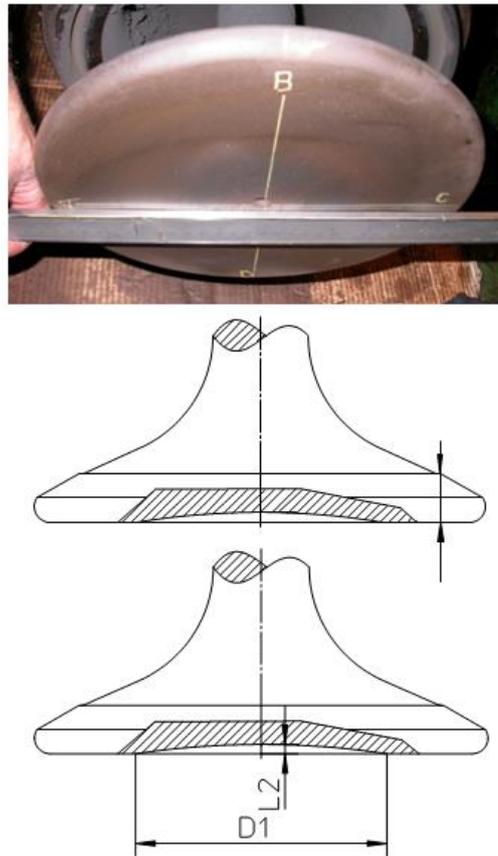


Figura 14 – Ilustración del procedimiento de medición de la “profundidad quemada” (profundidad de corrosión) de la cara de válvula en vástagos de válvula de 2 tiempos.

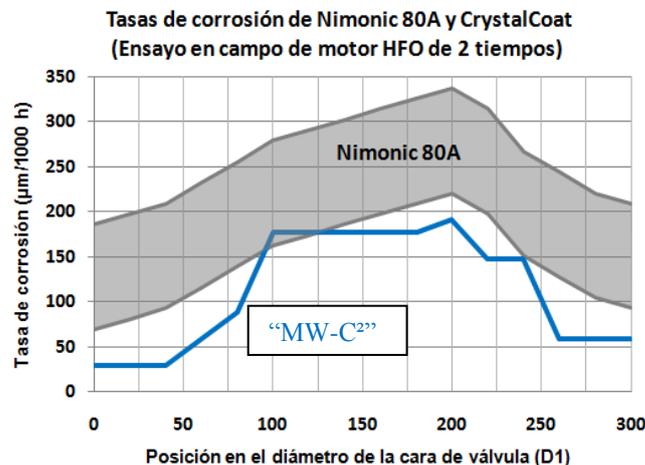


Figura 15 – Comparación de las tasas de corrosión medidas en µm/1000 h, a lo largo de la cara de los vástagos de válvula 50MC de Nimonic 80<sup>a</sup> y “MW-C<sup>2</sup>”,

Recientemente se han revestido varios vástagos de válvula de 2 tiempos (Nimonic y SNCRW) con “MW-C<sup>2</sup>”HT e instalado en motores de propulsión marina. Sin embargo, los resultados de estos ensayos en campo todavía no están disponibles.

### **Otras aplicaciones para MWH “MW-C<sup>2</sup>”:**

Como se mencionó previamente, “MW-C<sup>2</sup>” y “MW-C<sup>2</sup>”HT son adecuados para aplicación en todas las aleaciones de base de níquel y hierro. Como tales, estos revestimientos pueden usarse para proteger casi cualquier componente de la carga térmica y corrosión de gases calientes. Los ensayos iniciales en campo sobre inyectores y cabezas de pistón de motores HFO están en marcha en este momento. Otras aplicaciones interesantes en los motores pueden incluir culatas de cilindros y turbinas de sobrealimentación altamente cargadas.

### **PANORAMA TECNOLÓGICO**

“MW-C<sup>2</sup>”y “MW-C<sup>2</sup>”HT son revestimientos completamente desarrollados. Su fabricación y procesos de pulverización han sido industrializados por MWH. Se han fabricado válvulas de la serie inicial de “MW-C<sup>2</sup>”, y están en marcha en diversos motores de 2 y 4 tiempos. La demanda inicial del mercado de válvulas “MW-C<sup>2</sup>”se ha concentrado en aplicaciones con muy elevados índices de corrosión de gases calientes. Por ello, “MW-C<sup>2</sup>”,se ha usado para mejorar la vida útil de válvulas fabricadas de aleaciones de base de níquel (Nimonic, Inconel, etc.). Sin embargo, un uso más interesante de esta tecnología de revestimiento será reducir el costo de las válvulas de la “corriente dominante”. Esto se logrará sustituyendo super aleaciones de base de níquel por aleaciones “MW-C<sup>2</sup>”y base hierro más económicas.

De esta forma será posible producir válvulas con un comportamiento comparable, o incluso superior, y a un coste más reducido frente a la corrosión de gases calientes.

### **CONCLUSIONES**

MWH ha desarrollado una familia de revestimientos multi fase de minera-metal para mejorar la resistencia a la corrosión de gases calientes de componentes de motor de una manera económica. Estos revestimientos innovadores han demostrado elevada resistencia al ataque corrosivo de subproductos de HFO. Los ensayos en motores de 2 y 4 tiempos han mostrado que estos revestimientos pueden soportar el entorno exigente de una cámara de combustión y proteger las válvulas de escape de la corrosión de gases calientes. Se ha mostrado que la formulación estándar de “MW-C<sup>2</sup>” proporciona una protección adecuada frente a la corrosión de gases calientes en aplicaciones HFO de 4 tiempos. Sin embargo, este revestimiento no puede proporcionar protección a largo plazo en aplicaciones HFO de 2 tiempos. Se ha desarrollado una nueva formulación de revestimiento, con resistencia mejorada a la corrosión de gases calientes a temperaturas muy altas y actualmente se encuentra en ensayos de campo en vástagos de válvula de 2 y 4 tiempos.

#### AGRADECIMIENTOS

Los autores deseamos agradecer a nuestros colegas: Dr. Holger Fellmann, Sr. Kai Ulllenbaum, Sr. Ralph Geraets, Sr. Waldemar Eckstädt, Sr. Frank Eisenberg, y Sr. Carmen Beck sus valiosas contribuciones a este proyecto.

#### REFERENCIAS

- (1) STANGLMAIER, R.H., T. GROSS, G. MOORMANN, V. VERLOTSKI, y R. CONRAD, “Un innovador revestimiento de vidrio-metal para proporcionar resistencia a la corrosión y una barrera térmica para componentes de motores altamente cargados”, Actas del Congreso CIMAC 2007, Viena. Documento n° 184