

METALIZADO DE PROYECCIÓN: ¿CÓMO SELECCIONAR UN RECUBRIMIENTO?

Daniel Massei

Presidente Metaliza SA y Director Técnico Hardfacing SRL

Resumen: La selección de un recubrimiento para un componente nuevo o una reparación siempre representa un desafío. Determinar la mejor técnica de proyección, el material ideal o la solución de compromiso, suele ser la parte más difícil del proceso. Sin embargo, tener claridad en las condiciones de servicio y las diversas perturbaciones interactuantes facilitan, en gran medida este proceso. Desarrollaremos aquí un marco de referencia para interactuar con estas técnicas.

Familiarizarnos con el método

Como en todos los rubros, primero debemos familiarizarnos con la metodología y terminología de esta especialidad, y también, conocer los principios básicos de esta técnica y sus limitaciones.

Si bien en muchos textos se puede observar cierto parentesco, relativa afinidad o cercana clasificación con la soldadura, muy poco tiene que ver con la técnica de proyección. Esto se debe a que hay diferencias fundamentales entre ambos principios.

En la soldadura debemos fundir el material de aporte y la base, formando una pileta líquida donde ambos materiales interactúan, se combinan y solidifican, dando origen a una nueva aleación con vinculación físico química. Allí cobra gran importancia la dinámica térmica, los tipos de materiales y las potencias (aportes de energía) intervinientes, para dar nacimiento a una unión con resistencia mecánica genuina, o bien, un recubrimiento con interacción completa (y compleja) del aporte con el sustrato.

Naturalmente el “aporte térmico” tiene un papel extremadamente significativo en el resultado final y la variación de las propiedades físicas de los materiales involucrados: fragilización, cambios en las microestructuras, deformación por tensiones, etc. En general, estos cambios nunca son despreciables y muchas veces limitan las posibilidades de usar estas técnicas para construir o reparar algún elemento mecánico.



Ahora bien, ¿dónde está la gran diferencia con el metalizado de proyección? Entendiendo el proceso de forma genérica, podremos visualizar de manera clara y

contundente donde radican las principales diferencias.

El proceso de proyección posee dos partes notablemente diferentes: el fundido y/o calentado del material de aporte y la proyección de este sobre el componente a tratar. Es decir, primero se funde o calienta hasta un estado “plástico” el material a aportar, para luego acelerarlo y proyectarlo en forma de *spray* sobre el componente a tratar.

El material que recibe el “aporte térmico” es siempre el material de aporte. El componente a tratar no es calentado ni fundido.

*Fig. SEQ Ilustración * ARABIC 1: Aplicación de Arc Spray en asiento de rodamiento de llanta para “camión fuera de ruta”*

Desarrollemos brevemente el concepto:

1. Fundimos y/o calentamos para lograr un estado plástico al material de aporte.
2. Lo aceleramos para que viaje hasta la pieza a recubrir, que será nuestro sustrato.
3. El *spray* de material impactará sobre el sustrato, deformándose para copiar la rugosidad de este y terminar de solidificar, logrando así una adherencia mecánica.
4. La acumulación sucesiva de material de aporte logrará formar una “capa” del material proyectado, cuyas propiedades físicas dependerán exclusivamente del material seleccionado para el aporte y el método de aplicación.

Podemos deducir las siguientes propiedades generales a todos los sistemas de metalizado, las cuales nos darán las principales herramientas para seleccionar un recubrimiento:

- Ningún aporte por proyección proporciona resistencia estructural, ya que no se funde con el sustrato.
- El modelo de “adherencia mecánica” posibilita el aporte de materiales de diversas índoles sobre sustratos de diversas aleaciones.
- No hay limitaciones en cuanto a la conductividad eléctrica del material de aporte como en la mayoría de las técnicas de soldadura.
- La microestructura de una capa aplicada será una estructura homogénea micro-porosa (similar a una fundición), donde el tamaño de los poros y la densidad de la capa dependerá de los parámetros y sistemas de aplicación.

Técnicas de proyección

Existen en la actualidad numerosas técnicas de proyección, algunas establecidas como herramientas industriales desde hace más de 60 años y otras muy modernas, aún en etapa de investigación científica. Nos enfocaremos en las técnicas más utilizadas por la industria nivel internacional y las diferencias entre ellas.

LVOF (*Low velocity oxygen fuel*): la sigla significa “baja velocidad oxígeno combustible” y hace referencia al método más antiguo de proyección, cuyo funcionamiento es similar al de un soplete, donde a través de una llama de oxígeno y un combustible tal como acetileno, funde la materia prima y logra un *spray* de este material fundido a partir de un chorro de aire comprimido.

ARC Spray: hace referencia al sistema de proyección donde la materia prima debe cumplir con la premisa de poder presentarse en alambre y, además, ser conductor eléctrico, ya que para fundir dicha materia prima el sistema efectúa un arco eléctrico entre ambos. Dicho arco

se realiza al frente de una boquilla aerodinámica, la cual posee un flujo de aire comprimido constante generando así el *spray* de material de proyección (Ver Fig. 1).

APS: (*Atmospheric plasma system*) este sistema aprovecha la liberación de energía a partir de una pluma de plasma, la que es generada íntegramente en la cámara de combustión del equipo o “pistola” de metalizado, haciendo circular una elevada corriente eléctrica por un gas combustible o inerte (por ej. argón y/o hidrógeno) logrando temperaturas extremadamente elevadas (hasta 18000 °C). Ingresando luego el material de aporte a dicha pluma, se logra un *spray* del mismo, por efecto de la propia presión de salida de la llama. La mayor comunicación de energía se logra a partir del calor, siendo el método preferido para materiales de aporte del tipo cerámico, cuyo punto de fusión es considerablemente más alto que el de una aleación metálica. En la Fig. 2 se aprecia una aplicación de material cerámico para lograr una barrera térmica.



Fig. SEQ Ilustración * ARABIC 2: TBC (thermal barrier coating) aplicación típica por Plasma para partes calientes de turbinas de combustión interna

HVOF (*High velocity oxygen fuel*): la sigla significa “alta velocidad oxígeno combustible” y es el método de proyección de más reciente desarrollo a escala comercial global. El principio de funcionamiento recae en una cámara de combustión con una salida aerodinámica muy particular, la que permite la aceleración de los gases de escape a velocidades de hasta Mach 7, conservando una temperatura muy moderada (hasta 3 veces menor que un plasma), facilitando así su uso con materiales muy sensibles a la temperatura (como por ej. los carburos) y transfiriendo energía a través de la aceleración en mucho mayor medida que la temperatura (energía cinética).



Fig. SEQ Ilustración * ARABIC 3: Aplicación HVOF en válvula esclusas para petróleo

En general, los sistemas LVOF y ARC Spray resultan mucho más económicos y menos complejos de operar que los APSs o HVOFs, pero los desempeños de las capas aplicadas no llegan a los estándares de estos últimos. Un ejemplo de aplicación se presenta en la Fig. 3.- En la Tabla 1 se puede observar una clasificación comparativa de los parámetros y características importantes de cada proceso descripto.

Clasificación Tipo	Sub. Tipo	Gen. Energía (combustibles)	Proyección	Tipo materia Prima	Materiales Aplicación	típicos	de
Alta energía	APS	Gases + corriente eléctrica	Presión llama	Polvo	Cerámicos aleaciones	-	Súper
	HVOF	Gas Propano + Oxígeno + Aire	Presión llama	Polvo	Carburos aleaciones	-	Súper
		Líquido Kerosene + Oxígeno + Aire	Presión llama	Polvo	Carburos aleaciones	-	Súper
	Arc Spray	Arc Spray Arco eléctrico	Aire comprimido	Alambre	Aceros – No Ferrosos		
Baja energía	LVOF	Combustión Alambre Acetileno + Oxígeno	Aire comprimido	Alambre	Aceros – No ferrosos		
		Combustión Polvo Acetileno + Oxígeno	Aire comprimido	Polvo	Aleaciones metálicas – Cerámicos**	-	-
					Carburos**		

** Los cerámicos y carburos aplicados por combustión son de bajo desempeño

Materiales de proyección

Sabiendo ahora la diversidad de técnicas de aplicación, describiremos las principales familias de materiales de aporte posibles y las características físicas predominantes de las capas aplicadas.

Si bien generalizar sobre las características de las capas es extremadamente dependiente de los materiales de aporte involucrados, ciertos lineamientos principales pueden deducirse a partir del método de aplicación:

1. El principal factor para determinar la densidad de los materiales aplicados es la cantidad de energía comunicada, ya sea cinética, térmica y/o su combinación.
2. Las durezas finales o mejor interpretado, la resistencia al desgaste, depende íntimamente de la densidad de la capa, por lo que se relaciona también a la energía involucrada en el proceso de proyección.

Finalmente... ¿cómo seleccionamos un recubrimiento?

La tarea no es típicamente sencilla, pero ya tenemos un marco de criterio en cuanto a los procesos y sus prestaciones. Debemos ahora trabajar sobre las condiciones de servicio del componente a tratar. Típicamente tendremos que indagar donde será ubicada la capa, su función y el medioambiente en el que se desempeña.

Una guía típica para facilitar esta etapa será la de verificar estas condiciones:

- Función: será el principal dato de la aplicación, por ejemplo, asiento de rodamiento, zona de enclavamiento mecánico, asiento de empaquetadura, zona de conducción eléctrica, barrera térmica, Etc.
- Temperatura de servicio.
- Presión de servicio.
- Fluido con el que estará en contacto.
- Si debe ser conductor eléctrico.
- Si debe ser aislante eléctrico.
- Rugosidad máxima, mínima o intervalo de aceptación.
- Porosidad máxima.
- Dureza.

- Coeficiente de transmisión térmica.
- Espesor de capa requerido o necesario.

Debemos ahora determinar con estos juegos de datos los intervalos de criterios de materiales, y para eso, tendremos en cuenta también las últimas generalidades de proceso: tensión de adherencia y espesor de capa.

La unión de dos materiales tiene implícita una tensión de adherencia, es decir, la cantidad de fuerza con la que se adhiere uno al otro y, por ende, la cantidad de fuerza que se necesitará para despegarlos. Para el caso de las capas realizadas por proyección, dichas tensiones dependerán del tipo de material proyectado, la rugosidad del sustrato y, sobre todo, la técnica de proyección utilizada.

Además, el espesor de capa es también una variable de gran importancia, que está íntimamente ligada a la tensión de adherencia. La formación de espesor de capa a través de capas sucesivas implica que cada nueva partícula se podrá adherir a una partícula previamente depositada, teniendo una tensión de adherencia con respecto a esta, pero también tensiones laterales con sus partículas vecinas. A medida que el espesor de capa crece, las tensiones de adherencias laterales pueden ser mayores a las normales (perpendiculares), por lo que tendremos así posibilidad de fracturas.

Este fenómeno delimita el espesor máximo de capa y, nuevamente, será determinada por el tipo de material, la rugosidad del sustrato y la técnica de proyección elegida.

Luego, una variable determinante durante la aplicación para cumplir con estos requisitos, será la repetición confiable de los parámetros de los equipos y además el grado de automatización para el desplazamiento físico de las torchas de proyección. En todos los casos, la robotización del sistema garantiza la repetibilidad y uniformidad de espesores de capa, distancias de proyección, etc.

Teniendo en cuenta todo esto, estaremos en condiciones ahora de seleccionar un material y una técnica adecuada para cada caso particular, a partir de los cuales podremos documentar dichas aplicaciones, validarlas, repetirlas e integrarlas al portfolio de aplicaciones típicas.

Conclusión

Al igual que en todos los rubros de la ingeniería, la selección de un material y una técnica de aplicación no es una tarea sencilla. No obstante, el pleno conocimiento de la interacción del componente a recubrir con su medio es de vital importancia para la definición de un material candidato para el recubrimiento, por lo que será siempre necesario conocer las variables físicas (por ej. presión de trabajo, temperatura, etc.) y función del recubrimiento (asiento de rodamiento, superficie de tracción de chapa, etc.).

La versatilidad en la aplicación estará así determinada por la variedad de equipos o técnicas de aplicación y la automatización de precisión durante el proceso. La experiencia del técnico

del aplicador, la documentación científico – técnica y el aseguramiento integral de la calidad en cada operación del proceso serán determinantes para el éxito de esta técnica.