



GRADO EN INGENIERÍA EN DISEÑO INDUSTRIAL Y DESARROLLO DE PRODUCTOS
ESCUELA SUPERIOR DE TECNOLOGÍA Y CIENCIAS EXPERIMENTALES

DESARROLLO DE RECUBRIMIENTOS DE METAL-CERÁMICA PARA MEJORAR LA RESISTENCIA AL DESGASTE DE LOS MOLDES DE INYECCIÓN

Convocatoria: Julio 2014

Autor

Belén Navarro Ferrándiz

Director

Clemente Martin Branchadell

Iván Cervera González

ÍNDICE	Pág.
1. Introducción.....	1
1.1 Objeto.....	1
1.2 Alcance y justificación.....	1
2. Antecedentes.....	3
2.1 El problema del desgaste.....	4
2.1.1 El desgaste en los moldes.....	3
2.2 La tribología.....	5
2.2.1 La fricción.....	5
2.2.2 Topografía de superficies.....	8
2.2.3 El desgaste.....	10
2.2.3.1 Evolución del desgaste.....	10
2.2.3.2 Tipos de desgaste.....	11
2.3 Soluciones para el desgaste.....	13
2.3.1 Recubrimientos.....	15
2.3.1.1 Proyección térmica.....	15
2.3.1.1.1 Microestructura.....	17
2.3.1.1.2 Parámetros.....	18
2.3.1.1.3 Técnicas de la proyección térmica.....	19
2.3.1.2 Material a proyectar.....	22
3. Normas y referencias.....	24
3.1 Normas aplicadas.....	24
3.2 Bibliografía.....	25

4. Definiciones y abreviaturas.....	26
5. Requisitos de diseño.....	27
5.1 Recomendaciones de geometrías.....	27
5.2 Proceso generalizado para la recuperación de moldes.....	28
6. Planificación	31
7. Parte experimental.....	33
8. Análisis de soluciones.....	41
9. Aplicación del recubrimiento en un molde.....	54
10. Conclusiones.....	55
11. Planos.....	56
12. Pliego de condiciones.....	58
12.1 Condiciones y parámetros en la realización de los ensayos en el laboratorio.....	58
13. Viabilidad.....	60
12.1 Viabilidad técnica.....	60
12.2 Viabilidad económica.....	60
12.3 Viabilidad legal.....	60
14. Estado de mediciones y presupuesto.....	61

1. Introducción

1.1 Objeto

El objetivo del proyecto es desarrollar un recubrimiento, a partir de una aleación comercial, con la intención de reducir su comportamiento frente al desgaste, y después recubrir un molde de inyección para alargar su vida útil.

Para realizar la investigación, se partirá de una superaleación comercial de base níquel (NiCrBSi), añadiendo unas cantidades concretas de óxido de aluminio (Al_2O_3) y óxido de zirconio (Zr_2O_3). Se estudiará y analizará el coeficiente de fricción y el comportamiento frente al desgaste, con la ayuda de un tribómetro.

Una vez estudiados los distintos recubrimientos que tenemos, y sabiendo que se proyectará mediante la técnica de proyección térmica, en la variante oxifuel, estudiaremos los parámetros y los requisitos de diseño, a tener en cuenta a la hora de aplicarlo sobre la superficie del molde.

1.2 Alcance y justificación

El proyecto parte de un problema actual muy importante, el desgaste en los materiales, concretamente nos centraremos en los moldes de inyección.

En la industria, cada vez se quieren piezas con mejores características, prestaciones, calidad, precisión etc, esto afecta directamente a los procesos de fabricación. Un factor muy importante en la industria, respecto a los procesos de fabricación, es el coste, ya que este se refleja directamente en el producto final. Por lo tanto, es necesario que los utillajes y maquinaria más sofisticados duren el máximo tiempo posible.

El proceso de conformado por inyección, ha adquirido una gran importancia en la ingeniería de fabricación, gracias a las múltiples ventajas que tiene. Uno de los grandes inconvenientes, es el coste de los moldes, debido a que trabaja en condiciones muy severas, se fabrican con materiales muy costosos, y la precisión es muy exigente. Por lo tanto, es necesario hacer todo lo posible para que su vida útil sea lo más duradera posible.

Evidentemente, el lugar con mayor desgaste es la superficie, en el caso de la inyección, la cavidad donde se inyectará el material semifundido. Esta superficie se puede tratar como una parte distinta, ya que tiene propiedades diferentes al material base.

Las modificaciones de las características de la superficie, se puede hacer mediante tratamientos termoquímicos o mediante recubrimientos.

Debido a sus ventajas y a su crecimiento actual, se estudiará la proyección térmica, una técnica con multitud de aplicaciones y, con la gran ventaja de que se puede recubrir y proyectar casi todo tipo de materiales.

Por lo referente al alcance del proyecto, es bastante alto, ya que la intención es reducir el desgaste en superficies que trabajan con mucha fricción, y actualmente existen muchas piezas que trabajan en condiciones muy severas. Por lo tanto, dentro de nuestro alcance entrarían, por ejemplo, muchos componentes mecánicos con movimiento como: rodamientos, frenos y embragues, sellos, engranajes, levas y turbinas. Evidentemente, según la prestación se deberá realizar alguna modificación, de variante de la proyección térmica o de parámetros.

2. Antecedentes

2.1 El problema del desgaste

El desgaste de los materiales, es un tema que desde siempre se ha estudiado y se ha tenido en cuenta, en mayor o menor medida, pero conforme avanza la industria y se van fabricando piezas que trabajan en condiciones más severas y a las que se les piden mayores prestaciones, ha sido necesario investigar más sobre este tema.

Es importante profundizar más, ya que después de tantos estudios sobre los materiales y la fabricación, es muy importante mantener las propiedades y en las mejores condiciones los productos, durante el mayor tiempo posible.

El desgaste en la industria provoca una pérdida de tiempo, de material y de energía. Ya que hay que detener la producción, reparar o fabricar nuevas piezas... Todo esto conlleva una pérdida de dinero.

Las grandes pérdidas económicas ocasionadas por la degradación de materiales, de lo que ya existen múltiples estudios en diversos países, ha impulsado a estudiar más a fondo la tribología, para reducir todo lo posible estos efectos.

Dentro de la degradación de materiales, se incluyen varios conceptos, en esta investigación nos centraremos en el desgaste. Este proceso, provoca una pérdida de material en los cuerpos cuando estos se encuentran en un movimiento relativo, debido a la fricción de que sufren las superficies.

Algunas de las consecuencias del desgaste en la industria son: la retirada de la maquinaria prematuramente, pérdidas de potencia, aumento del coste y tiempo que implica la reparación o cambio de una pieza e incremento del uso de lubricantes.

El objetivo es, tanto evitar que se produzca el desgaste, en la medida de lo posible, así como reparar los componentes ya dañados. Para poder garantizar el correcto funcionamiento de la maquinaria y evitar el envejecimiento prematuro, teniendo en cuenta que, tiene que ser a un coste razonable.

2.1.1 El desgaste en los moldes

De entre los procesos de fabricación de piezas, la inyección ocupa un lugar muy importante dado que posee múltiples ventajas: piezas de gran calidad, con geometrías complejas, entre otras.

El proceso de inyección, consiste en calentar un material hasta su estado fundido e inyectarlo, haciéndolo pasar a través de una boquilla, mediante presión en la cavidad un molde, donde se enfría y finalmente se expulsa la pieza ya conformada.

Al inyectarle materiales con tanta presión y, muchas veces materiales muy abrasivos, se produce en el molde un desgaste bastante grande. Las consecuencias del desgaste de los moldes de inyección son: la pérdida de material y con ello pérdida de precisión. El desgaste no afecta solamente al molde, sino que se ve reflejado directamente en la pieza: la pérdida de calidad en las piezas fabricadas así como de las tolerancias obtenidas.

Las herramientas y utillajes en la inyección son muy caras, debido al material tan específico con el que se deben fabricar y a la gran exactitud que debe tener.

Los moldes son fabricados con aceros especiales para que puedan aguantar las altas presiones de cierre y de inyección. Para ahorrar materiales muchas veces se construyen de dos tipos de aceros: un blando y otro especial, más duro. El más duro se utiliza únicamente en la parte de la cavidad, o sea, la parte que más sufre. Y el blando para el resto del molde.

El objetivo principal de este proyecto será el rediseño de estos moldes para mejorar su resistencia a desgaste y consecuentemente, alargar su vida útil. Este rediseño se realizará mediante la aplicación de un recubrimiento de altas prestaciones, obtenido por la técnica de proyección térmica.

2.2 La tribología

La tribología se encarga de estudiar: la fricción, el desgaste y la lubricación, cuando tenemos dos cuerpos en movimiento.

El objetivo de esta ciencia, es el estudiar el comportamiento de estas superficies, con la finalidad de, mejorar el deslizamiento para que se produzca el menor desgaste posible.

Los objetivos básicos de la tribología son:

- Minimizar el desgaste en las superficies
- Minimizar las fuerzas de rozamiento
- Minimizar la fractura en las superficies

Las consecuencias más importantes que obtenemos al aplicar la tribología son:

- Aumento de la vida útil
- Ahorro de materias primas, de energía y de costes.
- Protección del medio ambiente

En nuestro proyecto, lo que nos interesa es el desgaste. Por lo tanto nos centraremos en este punto. Pero como el desgaste es una consecuencia de la fricción lo primero que haremos será introducir este concepto brevemente.

2.2.1 La fricción

La fricción es, la oposición del movimiento entre dos cuerpos. Tenemos una fuerza estática, que debemos vencer para conseguir que haya movimiento.

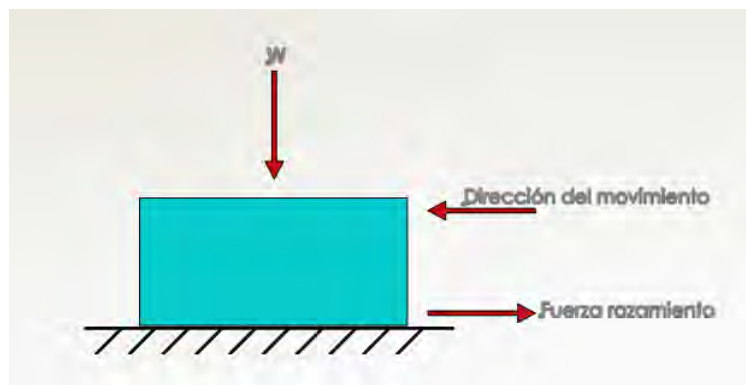


Figura 2.1 Deslizamiento de un cuerpo libre sobre una superficie

La fricción en sí no es algo negativo, es muy importante en muchas situaciones, como por ejemplo, frenar un coche. Ahora, la fricción cuando no es deseada, puede producir grandes daños y consecuencias que no queremos, un ejemplo claro son los componentes mecánicos de una máquina.

Para medir esta fricción, utilizamos el coeficiente de rozamiento. Este, se ve afectado por varios factores como, entre los más importantes tenemos: distancia que recorre, velocidad, temperatura, rugosidad, tiempo, carga aplicada, y lubricante

En este proyecto únicamente se desarrollarán los cuatro primeros

Coeficiente de fricción – Distancia

En relación con la distancia recorrida, podemos distinguir dos tipos de coeficiente de fricción: el estático y el cinético. Ambos se pueden ver en el siguiente gráfico.



Figura 2.2. Tipo de fricción en función de la distancia

La fricción estática, es la primera que tenemos, esta presenta un valor más alto. Por lo que la energía consumida en este tiempo será mayor. Es el momento donde las dos superficies están en reposo y se aplica la primera fuerza para ponerlas en movimiento.

La fricción cinética, va después de la estática, esta es más baja. Y a diferencia de la estática es casi constante, variando muy poco con el tiempo

Coefficiente de rozamiento - velocidad

El coeficiente de rozamiento disminuye con la velocidad, esto es debido al área de contacto entre los dos cuerpos. Cuando la velocidad aumenta, los cuerpos se separan y el área de contacto es menor, por lo tanto hay menor resistencia al movimiento.

El coeficiente de rozamiento respecto a la velocidad tiene un comportamiento exponencial, al principio el coeficiente baja considerablemente pero poco a poco tiende a ser constante.

También hay que indicar que conforme aumentamos la velocidad hay mayores vibraciones y esto hace que aumente la dispersión, es decir, son menos fiables los datos.

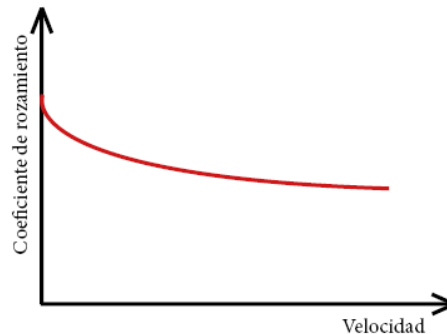


Figura 2.3. Coeficiente de rozamiento en función de la velocidad

Coefficiente de rozamiento – temperatura

En todo contacto de dos superficies con contacto existe una fricción, que hace que aumente la temperatura. Esta temperatura, conlleva una pérdida de las características resistentes de los materiales

Coefficiente de rozamiento – rugosidad

En función de la rugosidad tendremos un tipo de desgaste u otro, básicamente tendremos dos tipos:

- Desgaste cohesivo
- Desgaste abrasivo, o interferencial

En el siguiente gráfico, podemos ver la relación de estos dos desgaste en función de la rugosidad, en nuestro caso queremos que tenga un desgaste bajo en adherencia.

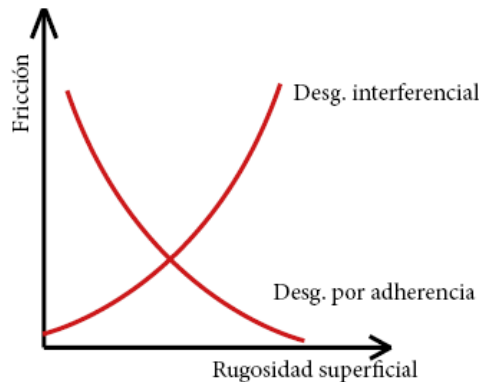


Figura 2.4. Fricción en función de la rugosidad superficial

2.2.2 Topografía de superficies

La topografía, desde el punto de vista de ingeniería de los materiales, se encarga de analizar la geometría de una superficie.

El desgaste, no depende únicamente de las propiedades de los materiales, sino de las condiciones en las que se encuentran dichas superficies. Dos factores muy importantes son la limpieza y la rugosidad.

Respecto a la limpieza, es muy importante eliminar la presencia de óxidos o contaminantes, ya que, estos impiden el contacto entre las superficies.

Con respecto a la rugosidad, lo primero que debemos saber es que las superficies planas no existen. En toda superficie tenemos valles y crestas. La rugosidad puede ser clasificada según la longitud de onda como: microrugosidad y macrorugosidad.

Por este motivo, sabemos que, el área de contacto real es mucho menor que el área aparente, debido a, que solo en algunos picos es donde contactan ambas superficies. Esto se puede ver en las siguientes imágenes.

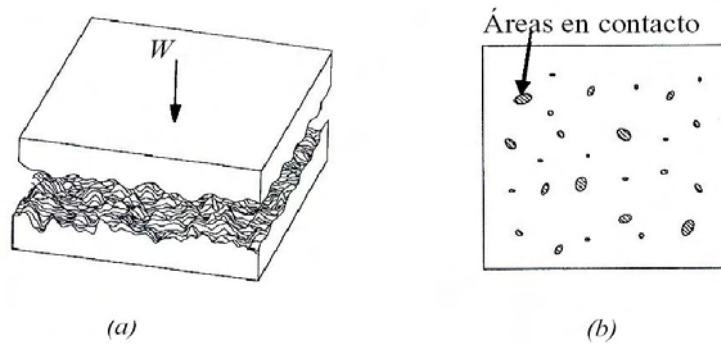


Figura 2.5. (a) Dos superficies rugosas en contacto, (b) áreas en contacto real

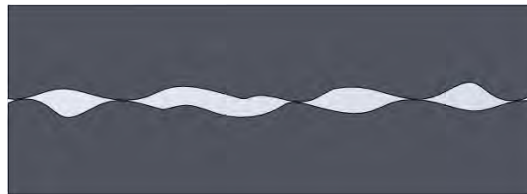


Figura 2.6. Contacto real entre superficies

2.2.3 El desgaste

Siempre que existe movimiento relativo entre dos cuerpos bajo presión, se produce un desgaste, en una o en ambas superficies. El desgaste depende de muchos factores: la presión, la velocidad, la rugosidad, el tipo, entre otros.

2.2.3.1 Evolución del desgaste con la distancia

La pérdida de masa, en relación con la distancia de deslizamiento se puede ver en la Figura 2.7.

Se pueden diferenciar dos periodos: un primer periodo de inicial o de rodaje, en el que en un tiempo breve de desgaste, este es muy alto. Va seguido de un segundo periodo estacionario o desgaste lineal estabilizado.

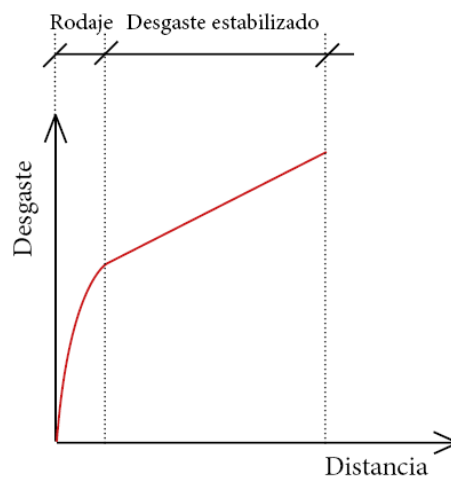


Figura 2.7. Velocidad se desgaste en función de la distancia

2.2.3.2 Tipos de desgaste

Dependiendo de la naturaleza o de la carga se pueden distinguir distintos tipos de desgaste: abrasivo, adhesivo, erosivo, corrosivo, por fatiga, por ludimiento, entre otros. Siendo los tres primeros los más importantes.

Normalmente, uno de ellos es el predominante, pero rara vez es único, es decir, en un mecanismo de desgaste suelen haber varios de los tipos mencionados anteriormente.

Desgaste por abrasión

La abrasión, se da cuando, uno de los materiales es de dureza más elevada. Se distinguen dos tipos: de dos cuerpos o de tres cuerpos.

El de dos cuerpos, se da cuando el contacto es, entre dos superficies, el de mayor dureza es el que produce el desgaste en el otro, va grabando pequeños surcos en la superficie que van provocando el desprendimiento del material.

En el de tres cuerpos, existen dos superficies y unas partículas, las cuales se deslizan entre las dos superficies produciendo el desgaste en estas. Muchas veces estas partículas son desprendimientos de los propios cuerpos que están en movimiento.

El volumen de desgaste en la abrasión es, directamente proporcional a la carga y a la distancia e inversamente proporcional a la dureza.

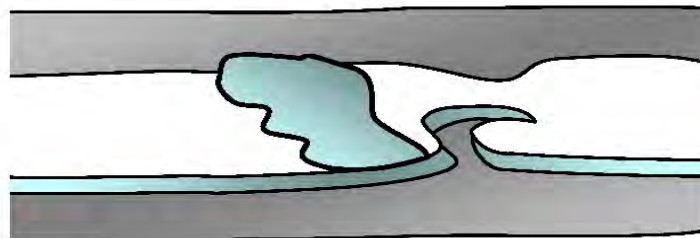


Figura 2.8. Esquema del desgaste por abrasión

Desgaste por adhesión

La adhesión se da cuando los picos superficiales que sobresalen en la superficies, fluyen plásticamente y se forman pequeñas soldaduras, debido al calor causado por la fricción, finalmente se rompen por el movimiento, de esta manera se va perdiendo material.

Se puede reducir este desgaste de diversas maneras: con lubricante, evitando el contacto de materiales; mejorando el acabado superficial, para que existan menos crestas.

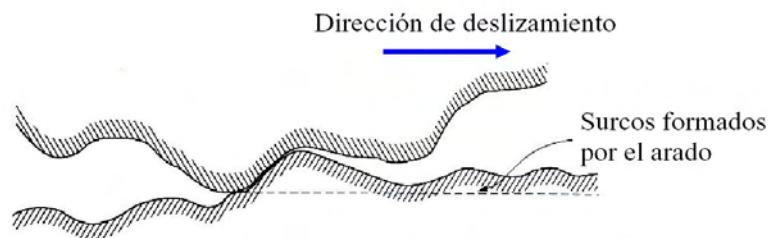


Figura 2.9. Esquema del desgaste por adhesión

Desgaste por erosión

El desgaste por erosión se da cuando pequeñas partículas sólidas impactan sobre una superficie, donde tendrá lugar el desgaste.

También se da en medios líquidos, cuando este arrastra pequeñas partículas sólidas, en este caso se llama desgaste erosivo por cavitación.

La intensidad del desgaste dependerá de la forma, tamaño y dureza de las partículas, así como de la velocidad de impacto.

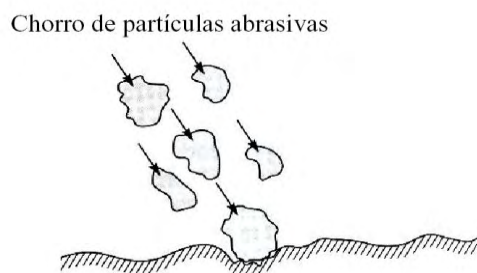


Figura 2.10. Esquema del desgaste por abrasión

Corrosión

La corrosión se da por la interacción del material con el medio que lo rodea.

Fatiga superficial

Se da como resultado de las cargas cíclicas, que acaban provocando la aparición y propagación de grietas.

Por ludimiento

Cuando tenemos un movimiento oscilatorio de dos superficies en contacto, como sucede en máquinas donde existe vibración.

Cavitación

La cavitación es el daño provocado por la implosión de burbujas de vapor presentes en un fluido. Debido a las variaciones de presiones en un fluido se producen pequeñas burbujas que al explosionar producen el desgaste.

2.3 Soluciones para el desgaste

Tanto para prevenir, como para solucionar desgaste en las piezas, existen muchos métodos distintos.

Se puede, cambiar el material, cambiar el proceso de fabricación o modificar las propiedades de la superficie. Cambiar el material o la fabricación, puede resultar muy costoso y no ser rentable para solucionar el problema, por ello nos vamos a centrar únicamente en las superficies.

Es viable centrarnos únicamente en esta parte, ya que el desgaste de los productos siempre comienza aquí. Los objetivos principales de una superficie son: proteger, decorar y objetivos tecnológicos. Evidentemente, lo que nos interesan son los de protección y los tecnológicos.

Para cambiar las características de la superficie hay varias opciones. Podemos cambiar: la microestructura por ejemplo, el temple; la composición, por ejemplo la carburación; o ambos. Y existen diversos métodos para hacer esto, mediante medios físicos o químicos, con aporte o no de material. Otra posibilidad, muy interesante tecnológicamente e industrialmente es la aplicación de recubrimientos sobre el material base, que le aporte las características deseadas.

En las figuras 2.11 y 2.12 hay un esquema de algunos métodos para cambiar las propiedades de la superficie, se han dividido en dos bloques: según si son tratamientos superficiales o recubrimientos.

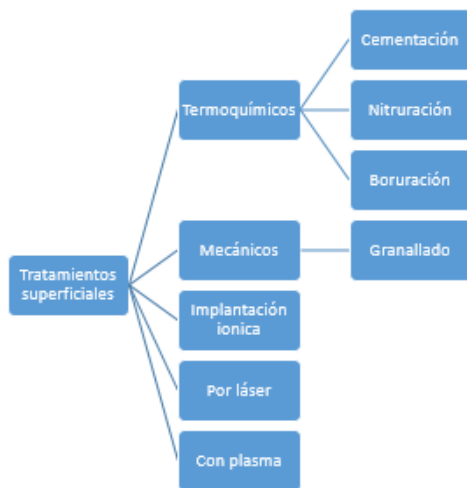


Figura 2.11. Esq. de tratamientos superficiales

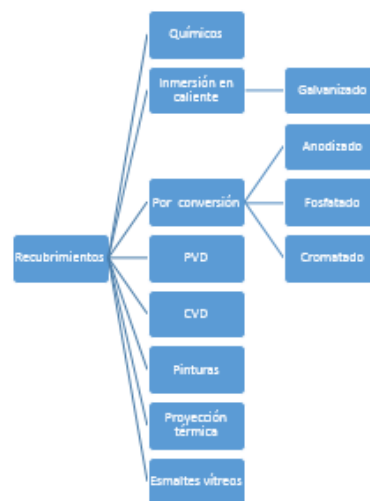


Figura 2.12. Esq. de tipos de recubrimientos

Los costes de recubrir un producto se puede justificar comparando lo que nos cuesta cambiar la pieza en comparación con realizar el recubrimiento.

2.3.1 Recubrimientos

En este trabajo se ha optado por la opción de aplicar un recubrimiento, ya que nos puede proporcionar mejores propiedades respecto a la modificación superficial. Las propiedades finales de la pieza, dependen tanto del material de aporte como de las técnicas y los parámetros utilizados.

En estos sistemas, se pueden distinguir cuatro partes fundamentales: sustrato, intercara, recubrimiento y superficie

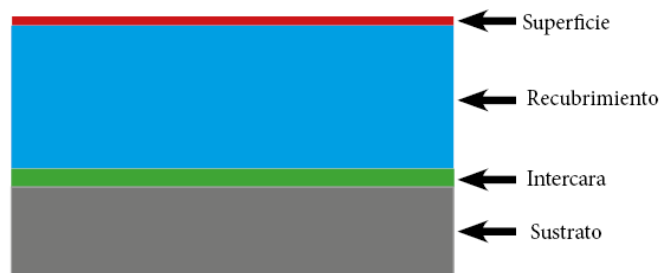


Figura 2.13. Partes fundamentales de un recubrimiento

Existen varios métodos de recubrimiento de superficies: por proyección térmica, deposición de metales en estado líquido (galvanizado), deposición en baños electrolíticos (niquelado, cromado) y recubrimiento mediante pinturas.

Debido a las múltiples ventajas y a su crecimiento actual escogeremos la proyección térmica para la realización de la investigación.

2.3.1.1 Proyección térmica

La proyección térmica es el recubrimiento de una superficie, en la que el material a proyectar se funde total o parcialmente y luego se lanzan contra la superficie. Las partículas proyectadas, salen disparadas como pequeñas bolitas y en el sustrato solidifican y se adhieren formando un recubrimiento.

Las partículas se adhieren porque se proyectan fundidas o semifundidas y al enfriarse se contraen y gracias a la superficie rugosa se van “enganchando”.

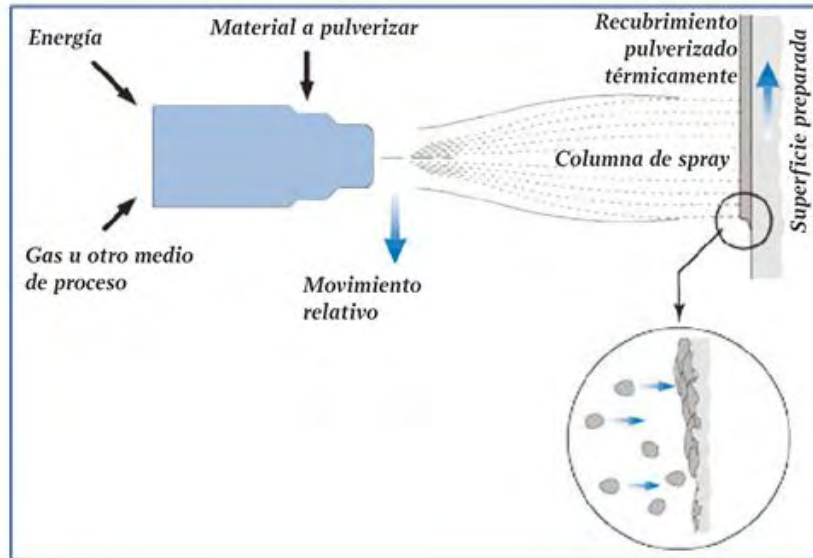


Figura 2.14. Esquema de la proyección térmica

La proyección térmica posee múltiples ventajas, como por ejemplo:

- Recubrimientos de alta calidad
- Permiten recubrir y proyectar casi cualquier tipo de material y aleación
- El proceso es fácilmente automatizable
- Es muy flexible y de muy fácil aplicación
- Gran precisión
- No hay dilución de la capa con el sustrato
- El sustrato no sufre alteraciones térmicas
- Permite la obtención de espesores más grandes que otros métodos: como por ejemplo el PVD, CVD y electrodeposición (se puede llegar hasta las 500 micras).

La aplicación de esta técnica es muy amplia, principalmente se utiliza para:

- Evitar desgaste
- Evitar la corrosión
- Como barrera térmica

Por tanto, se aplican en campos muy variados como turbinas para industria aeronáutica, componentes de motores de automóvil y de máquinas de conformado de materiales, reactores en la industria química y condensadores en la industria electrónica, entre otros.

2.3.1.1.1 Microestructura

Entre las características de la microestructura de estos recubrimientos destacan:

Densidad y porosidad

Evidentemente la densidad nunca será del 100%, por la presencia de poros y de óxidos. Dependerá del material de aporte, del método de deposición, de las condiciones de deposición y del procesado posterior. Esta porosidad tiene tanto pros como contras dependiendo de para que se vayan a usar.

Entre las ventajas, tenemos: como reservorio para lubricantes, el incremento de barrera térmica, la reducción de los niveles de tensión y el aumento de la resistencia al impacto y del carácter abrasable del recubrimiento.

Y como desventajas: que acelera el proceso de corrosión y el ataque químico, dificulta el proceso de mecanizado y, perjudica las propiedades de resistencia, dureza y resistencia a desgaste.

Oxidación

Algunas de las partículas de aporte se oxidan debido a la presencia de aire, la presencia de estos óxidos, como siempre, tiene sus ventajas y desventajas. Entre las desventajas tenemos, que pueden incrementar la porosidad por lo tanto favorecer la corrosión y disminuir su resistencia, y por lo tanto disminuir la maquinabilidad. Entre las ventajas, tenemos, que los óxidos son más duros que el metal originario y por lo tanto proporcionan mayor resistencia al desgaste.

Contracciones

Debido a la solidificación, las partículas se contraen, esto genera unas tensiones residuales internas de tracción, que es lo que conlleva al agrietamiento y al desconchado del depósito. Por este motivo los materiales con menor coeficiente de fricción son los más adecuados. Y sobre todo cuando son espesores muy grandes.

Como se ha dicho anteriormente, las características finales del recubrimiento no dependen únicamente de los materiales de la base y del recubrimiento, la técnica utilizada y los parámetros escogidos tienen un gran papel.