INGENIERÍA DE SUPERFICIES Y MEDIO AMBIENTE.

Alina Agüero Bruna.
Área de Materiales Metálicos. INTA.
Torrejón de Ardoz, Madrid.

Introducción.

La ingeniería de superficies consiste en la modificación de las propiedades superficiales de un componente mediante métodos físicos o químicos que pueden implicar el aporte de otro material para cambiar las propiedades del mencionado componente. En cierta forma la ingeniería de superficie imita a la naturaleza que confiere a los seres vivos una piel para protegerlos de las agresiones del medio.

Los objetivos de la ingeniería de superficies pueden resumirse como sigue:

1.- **Incrementar de vida de un componente.** La vida de un componente se puede alargar aumentando su resistencia frente a factores externos inherentes a su aplicación. Estos factores son: a) el desgaste que ocurre cuando se puede perder material por la abrasión resultante de la fricción entre dos superficies en movimiento relativo o por erosión por el impacto con partículas, b) el ataque químico que puede ocurrir a cualquier temperatura y puede provenir de medios gaseosos y líquidos (acuoso o fundido) y c) las altas temperaturas, ya que ciertos recubrimientos se comportan como aislantes térmicos, protegiendo a componentes que de no ser así no podrían soportar las altas temperaturas requeridas por la aplicación correspondiente

2.- **Cambiar el aspecto de un componente (cosmética).** Un gran número de recubrimientos tienen colores atractivos y suelen emplearse sobre vidrios arquitectónicos y en joyería para reemplazar a los metales preciosos como el oro

3.- **Modificar las propiedades ópticas de un componente.** Ciertos recubrimientos pueden ser empleados como filtros contra radiación indeseadas, como por ejemplo para gafas, cabinas de pilotos en aeronaves, etc. Por otra parte, hay ciertos materiales (en capa) que por sus emisividades y reflectividades pueden emplearse para control térmico como por ejemplo en satélites.

4.- **Actuar como barrera frente al paso de especies indeseadas.** En el empaquetado de alimentos se emplean capas de ciertos materiales para impedir el paso del oxígeno y la humedad que resultarían en una degradación más rápida de estos últimos.

5.- Estimular procesos deseados. Dos ejemplos típicos de esta aplicación son por una parte, los recubrimiento de hidroxiapatita (carbonato de calcio) sobre implantes óseos para acelerar la regeneración del tejido óseo en implantes dentales, de cadera, rodilla, etc., y por otra parte, los recubrimientos de TiO_2 sobre techados como catalizadores para la descomposición de compuestos orgánicos contaminantes presentes en la atmósfera mediante radiación ultravioleta.

En los próximos párrafos se procederá a describir brevemente la ingeniería de superficies y las diferentes tecnologías empleadas para modificar superficies así como algunos ejemplos de aplicaciones industriales y por último se describirá el impacto medioambiental de la ingeniería de superficies.

Ingeniería de superficies.

Las modificaciones superficiales que conlleva la ingeniería de superficies pueden clasificarse como sigue (figura 1):

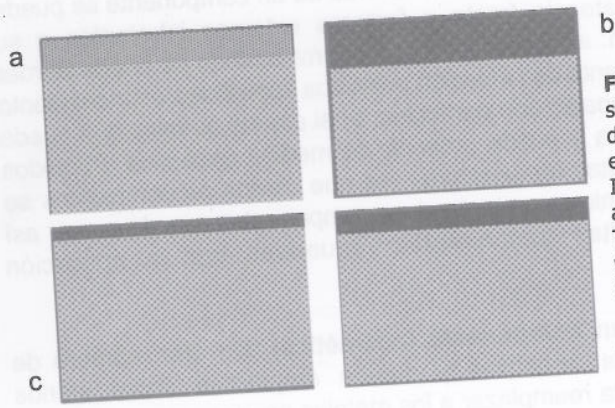


Figura 1: Técnicas de modificación superficial empleadas en la ingeniería de superficie: a) Transformación estructural sin aporte de material, b) Interdifusión entre un material aportado y el substrato, c) Tratamientos por conversión química y d) Aporte de una capa de otro(s) material(es)

1.- Transformación Estructural sin Aporte de Material. Mediante tratamientos mecánicos o térmicos, se modifica la microestructura y/o la morfología de la superficie del material. Por ejemplo, mediante granallado con partículas esféricas de metal o de vidrio se puede aumentar la dureza de un material y en consecuencia su resistencia al desgaste. Dentro de los tratamientos térmicos se encuentran el soplete, el bombardeo con haz de electrones, la inducción electromagnética y la irradiación con láser. Dependiendo del substrato tratado, estos tratamientos pueden aumentar la resistencia al a corrosión atmosféricas además de la resistencia al desgaste. Este tipo de tratamiento sólo afecta un espesor de en torno a 1 mm

2.- Interdiffusion con otro(s) elemento(s). Poniendo en contacto precursores sólidos, líquidos o gaseosos con la pieza a recubrir se puede lograr la interdiffusion de uno o varios elementos con el material del substrato mediante calentamiento.

De esta forma se puede carburizar, nitrurar, carbonitrurar o boronizar para endurecer aceros por ejemplo. Por otra parte, también se puede aluminizar, siliconizar o cromizar para aumentar la resistencia a la corrosión a alta temperatura.

El espesor de los tratamientos por difusión puede alcanzar de 20 a 1500 mm. La implantación iónico podría considerarse como un caso particular de los tratamientos por difusión. Consiste en el bombardeo a energías muy altas con iones del elemento que se quiere aportar y que "penetran" al substrato. Alcanza espesores muy pequeños (< 1 mm) en concentraciones también muy pequeñas. Prácticamente todos los elementos pueden ser implantados. La implantación iónica puede aumentar la resistencia al desgaste y a la corrosión.

3.- Tratamientos por conversión química. Resulta en la oxidación del material del substrato, con o sin aporte de otros elementos. Por ejemplo, el anodizado consiste en oxidar la superficie de la aleaciones de aluminio o titanio mediante un proceso electroquímico para pasivarlas. El cromatado y el fosfatado resultan en la formación de óxidos protectores que también se emplean como imprimación para después aplicar pinturas protectivas.

4.- Aporte de una capa de otro material(es). Mediante una serie de procesos físicos o químicos, es posible aportar todo tipo de materiales sobre un substrato. Son muchas las técnicas posibles y pueden realizarse en medio acuoso, orgánico, de metales fundidos y gaseoso. La tabla 1 ilustra las principales técnicas de deposición.

Vía	Proceso	Material depositado
Acuosa	Electro-deposición	Ni, Cu, Cr, Cd, Zn, Ag, Pt, Aleaciones, ...
	"Electroless"	Ni (Ni-P, Ni-B)
Inmersión en metal fundido	Galvanizado "Hot Dip"	Zn, Zn-Al Sn, Al, Sn, Pb, Pb-Sn
Gaseosa	PVD, CVD	Óxidos, nitruros, carburos, metales
Sólida	Proyección Térmica (llama, arco, plasma, alta velocidad y detonación) Laser Soldadura	Metales Cerámicos Refractarios Polímeros Materiales Compuestos
Suspensiones	Rociado Inmersión Electroforesis Brocha	Pinturas "Slurries" (partículas metálicas)

La **electrodeposición** consiste en un proceso electroquímico en el cual se hace pasar corriente entre dos eléctrodos a través de un electrolito que contiene cationes del metal o metales a depositar y la pieza a recubrir se comporta como cátodo. Un ejemplo muy utilizado es la deposición de Cr duro empleado en numerosas aplicaciones en la industrial metal-mecánica, energética y aeronáutica como recubrimiento antidesgaste.

La deposición por **"electroless"** es también un proceso electroquímico pero que no requiere electrodos ya que la superficie de la piezas a recubrir se activa para que catalize la deposición de un metal mediante una reacción electroquímica. Se usa principalmente para depositar Ni-P o Ni-B como recubrimiento antidesgate.

EL **galvanizado o "hot dip"** consiste en la inmersión de la pieza a recucrir en el metal o aleación fundida. Se emplea para depositar Zn (galvanizado) o ZnAl, Al, AlSi etc. Estos recubrimientos se emplean principalmente para la protección contra la corrosión medioambiental.

PVD y **CVD** son términos ingleses que vienen de "Physical y Chemical Vapour Deposition" respectivamente y que se refieren a la deposición en fase gaseosa mediante procesos físicos o químicos esencialmente. La PVD implica la evaporación por algún medio físico del material a recubrir en atmósfera reducida inerte para depositar el mismo material, o reactiva (N_2, O_2 por ejemplo) para depositar un compuesto del material evaporado (nitruro, óxido..). Un ejemplo típico es la producción de TiN para reducir el desgaste de las herramientas de corte y conformado. La CVD por su parte consiste bien en la descomposición térmica de una especie gaseosa o en la reacción de dos especies, en ambas caso sobre la superficie de la pieza a recubrir, resultando en un depósito sólido y en compuestos volátiles. La deposición de Al por CVD ($AlCl_3$ + H_2) sobre componentes de turbinas aeronáuticas y de generación eléctrica se emplea como protección contra la oxidación y la corrosión a alta temperatura.

Mediante la **proyección térmica** se impulsan partículas muy pequeñas del recubrimiento mediante un gas y se llevan a la temperatura necesaria para que fundan. Al chocar contra la superficie de la pieza, dichas partículas de aplastan y coalescen formando un recubrimiento. Existen varios tipos entre los que se incluye la proyección por llama, arco eléctrico, plasma, alta velocidad oxicombustible y detonación. Esta es una técnica muy versátil ya que se puede depositar cualquier tipo de material sobre prácticamente cualquier tipo de substrato. Tiene una gran variedad de aplicaciones en todo tipo de industrias como pueden ser la aeronáutica, textil, automovilística, metal-mecánica, etc.

La deposición de recubrimientos mediante **láser** es relativamente nueva y objeto de cada vez más aceptación por parte de la industria. El láser se emplea para

co en el cual se hace
ctrolito que contiene
rir se comporta como
r duro empleado en
ergética y aeronáutica

ectroquímico pero que
ecubrir se activa para
ón electroquímica. Se
imiento antidesgate.

pieza a recucrir en el
alvanizado) o ZnAl, Al,
te para la protección

cal y Chemical Vapour
sición en fase gaseosa
. La PVD implica la
en atmósfera reducida
O_2 por ejemplo) para
, óxido..). Un ejemplo
de las herramientas de
en la descomposición
species, en ambas caso
un depósito sólido y en
($AlCl_3$ + H_2) sobre
éctrica se emplea como
ratura.

las muy pequeñas del
tura necesaria para que
partículas de aplastan y
s entre los que se incluye
ocidad oxicombustible y
uede depositar cualquier
ubstrato. Tiene una gran
s como pueden ser la

tivamente nueva y objeto
El láser se emplea para

fundir un material aportado en forma de polvo, barra o alambre sobre la superficie del componente que se desea recubrir. Se obtienen recubrimientos de muy buena calidad y adherencia con el substrato de cualquier material.

También se puede aportar una capa de recubrimiento mediante **soldadura** por chispa empleando un electrodo del material que se aplica como recubrimiento. La principal aplicación de esta técnica es el aumento de la resistencia al desgaste aplicando materiales muy duros como por ejemplo la estellita (aleación a base de Co).

La aplicación de **pinturas** es una de las técnicas de deposición de recubrimeintos más antiguas. No solo tienen una función estética pero también protectiva, (frente a la corrosión), militar (camuflaje), anti-incrustante (frente a la fijación de crustáceos y algas en los cascos de barcos), etc. Las pinturas son suspensiones de pigmentos orgánicos o inorgánicos en aglutinantes y solventes y se aplican mediante rociado, brocha, elctro-pintado, etc. Un caso particular de las pinturas son aquellas en las que el pigmento está constituido por partículas metálicas y que se conocen como "slurries". Se emplean en la industria aeronáutica y química para protección contra la oxidación y corrosión medioambiental y a alta temperatura.

Al seleccionar y diseñar un recubrimiento para una aplicación específica, hay que tener en cuenta las características y propiedades de cada una de estos cuatro "elementos" del sistema substrato-recubrimiento, (figura 2) que deben ponderarse de acuerdo con la aplicación específica. Algunas de estas propiedades también se emplean como parámetros de control de calidad. La denominación "ingeniería de superficies" resulta de la complejidad de estos sistemas.

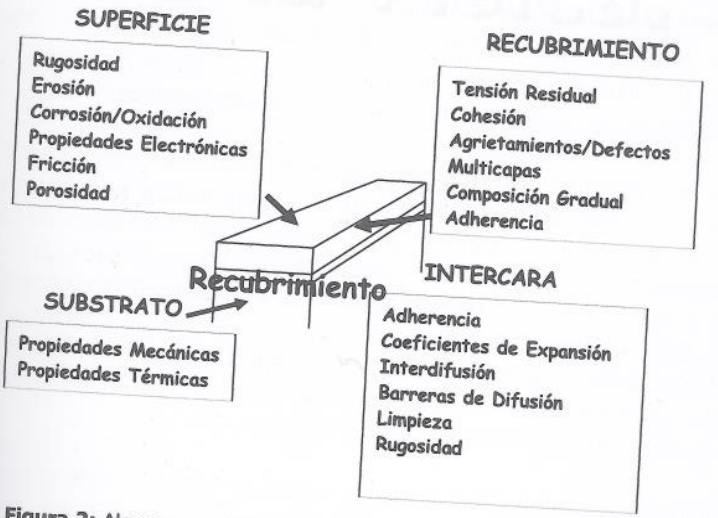


Figura 2: Algunas propiedades estudiadas en la ingeniería de superficies