



# P.V.D

DEPOSICIÓN FÍSICA EN FASE VAPOR

## P.V.D. DEPOSICIÓN FÍSICA EN FASE VAPOR

### INTRODUCCIÓN

La obtención de capas finas representa, en la actualidad, la mayor parte del desarrollo de los recubrimientos. Con la finalidad de aumentar la vida de las herramientas y útiles se están generalizando sus aplicaciones en los campos de mecanizado, corte, estampación e inyección. La característica principal que diferencia y condiciona la realización de los distintos recubrimientos es, la temperatura. Así se distinguen los procesos a temperaturas muy elevadas, cercanas a 1000°C (C.V.D. y T.R.D.D.), los procesos a temperaturas medias, próximas a 500°C, (a destacar los procesos P.V.D. y P.A.C.V.D.) y los que se realizan a temperaturas de sustrato bajas, como son los recubrimientos químicos (Níquel), electrolíticos (Cromo duro), proyecciones térmicas y la implantación de iones, entre otros.



Reactor P.V.D en TTC. Evaporación por arco catódico

### RECUBRIMIENTOS PVD (DEPOSICIÓN FÍSICA EN FASE VAPOR)

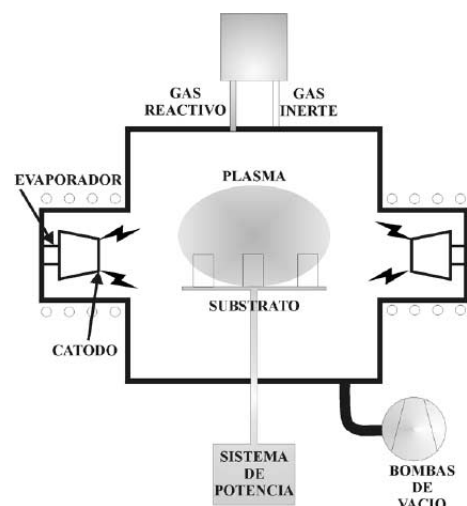
Los distintos métodos PVD consisten, genéricamente, en evaporar un metal puro o aleación, obtener su reacción para formar el compuesto deseado y depositarlo sobre la pieza a recubrir. En la cámara del reactor previamente se obtiene un grado de vacío del orden de 10<sup>-5</sup> mbar.

La deposición puede producirse en una atmósfera reactiva o inerte y es preferible que el sustrato se mantenga a temperatura para incrementar los valores de adherencia. El proceso puede ser asistido por plasma para aumentar la velocidad de crecimiento y mejorar las propiedades de la capa.

### EVAPORACION POR ARCO CATÓDICO

De las distintas técnicas de evaporación, por sus prestaciones, la de evaporación por arco catódico se está imponiendo a nivel industrial.

El sistema basa la evaporación y obtención de los iones de metal, en el efecto que produce un arco voltaico de alto amperaje generado sobre la superficie de este material (cátodo). Los iones, son focalizados por un campo magnético, acelerados y proyectados sobre la pieza a recubrir por acción de una diferencia de potencial existente entre las piezas y la cámara del reactor. La energía cinética de los iones se transforma en calorífica al chocar contra la pieza y mantiene la temperatura durante la fase de recubrimiento. Los distintos compuestos se forman al introducir, en la cámara, gases reactivos de distinta naturaleza a bajas presiones.



Esquema de un reactor PVD de evaporación por arco catódico

## P.V.D. DEPOSICIÓN FÍSICA EN FASE VAPOR

La evaporación por arco catódico genera una gran densidad de iones lo que permite obtener espesores de capa considerables en tiempos cortos, además de posibilitar la evaporación simultánea de distintos metales e introducir alternadamente distintos gases reactivos. Facilita la obtención de capas dopadas y multicapas para mejorar las propiedades de las capas simples convencionales.

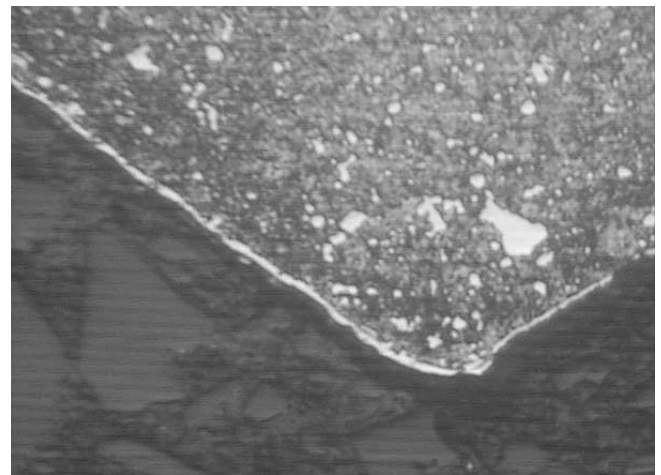
Las aplicaciones de los recubrimientos obtenidos por PVD engloban los recubrimientos denominados técnicos o funcionales (para mejorar la resistencia al desgaste abrasivo), tribológicos (mejora de los coeficientes de fricción y desgaste adhesivo) y decorativos (mejora de la resistencia a la corrosión, abrasión y estética).

### CONSIDERACIONES PREVIAS AL RECUBRIMIENTO DE UNA PIEZA

Como se ha comentado en la introducción, la temperatura de obtención del recubrimiento es uno de los factores condicionantes a tener en cuenta por afectar tanto a las aplicaciones del recubrimiento como a la elección del material y las consideraciones geométricas de la pieza. La elección debe de realizarse tras el análisis detallado de las características que atañen a la pieza y su función en servicio. Estas son principalmente:

- Condiciones de trabajo.
- La elección del tipo de material base (acero, metal duro, otras aleaciones..)
- Especificación de la secuencia de tratamientos previos, si procede.

- Comportamiento dimensional durante la secuencia de tratamientos térmicos.
- Decisión sobre el recubrimiento idóneo para cada aplicación.
- Grado de acabado.



X 500. Ataque Vilella. Capa de TiN sobre acero F-5211

Las características anteriores están generalmente relacionadas entre sí y la decisión no solo se basa en datos técnicos aislados sobre las capas sino en las experiencias acumuladas por los usuarios y las recomendaciones de aceristas, tratamentistas y recubridores.

### LA ELECCIÓN DEL MATERIAL BASE.

En aplicaciones de matriceria y herramientas de corte, la característica principal que debe presentar el material a recubrir es la dureza. Toda capa dura debe poder transmitir los esfuerzos mecánicos que recibe al material base sin que en él se produzcan deformaciones plásticas. Si la dureza del sustrato es insuficiente, bajo estos esfuerzos, se deforma y hunde, rompiéndose el recubrimiento hasta desprenderse (Chipping). Los materiales recomendados son:

## P.V.D. DEPOSICIÓN FÍSICA EN FASE VAPOR

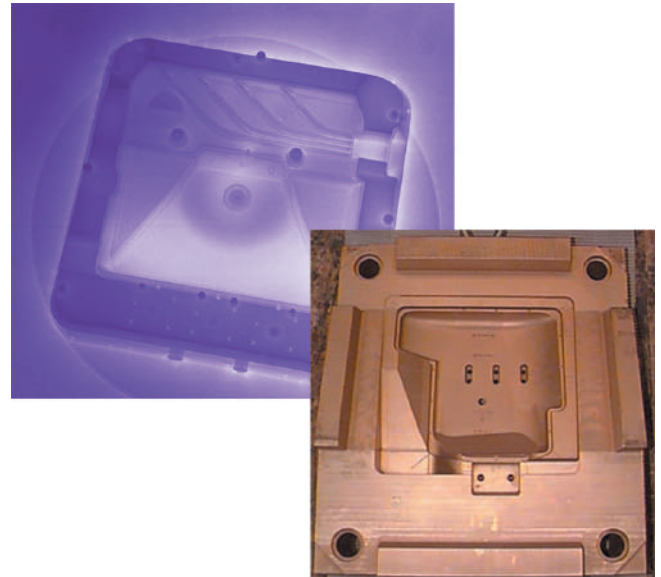
- Aceros rápidos.
- Aceros ledeburíticos, 12% Cr y equivalentes. Aceros de trabajo en frío.
- Metal duro, cermets.

Los aceros de trabajo en frío altamente aleados, mantienen los valores de dureza y en algunos casos incluso presentan un aumento, a temperaturas comprendidas entre 500°C y 550°C (dureza secundaria). Esto posibilita recubrirlos sin disminución de dureza durante el proceso de recubrimiento.

Si la aplicación únicamente exige resistencia al desgaste, sin esfuerzos de compresión, cizallamiento o tracción, la dureza del sustrato no compromete el rendimiento de la capa. Para aplicaciones de moldeo de plásticos, resinas y aleaciones ligeras se emplean aceros pretratados o bonificados con durezas comprendidas entre 1000 y 1300 N/mm<sup>2</sup>. Los aceros recomendados son:

- Aceros de trabajo en caliente.
- Aceros para construcción de moldes para inyección de plástico pretratados.
- Aceros nitrurados o nitrocarbureados.
- Aceros inoxidables (debidamente templados y revenidos)

Los recubrimientos PVD permiten mejorar sus propiedades superficiales. En algunos casos, se recomienda la combinación con tratamientos de nitruración iónica para conseguir capas difusivas de 0.01-0.05 mm. bajo el recubrimiento PVD.



Molde para inyección de plástico. Nitruración iónica previa al recubrimiento PVD. Posterior recubrimiento de TiN.

## TRATAMIENTOS TÉRMICOS A QUE DEBE SOMETERSE LA PIEZA DE ACERO ANTES DE LOS RECUBRIMIENTOS TECNOLÓGICOS.

Toda pieza de acero, antes de recubrimiento P.V.D. debe haberse tratado según:

- Temple.
- Revenido dos veces como mínimo a temperatura superior a la del recubrimiento. T°C > 500°C

El revenido a temperaturas ligeramente superiores a la temperatura de recubrimiento evita transformaciones estructurales que puedan producir cambios dimensionales en la pieza acabada durante el recubrimiento.

## P.V.D. DEPOSICIÓN FÍSICA EN FASE VAPOR

### ACABADO Y PREPARACIÓN DE LA PIEZA A RECUBRIR.

La pieza debería estar completamente acabada, rectificada y cuando sea necesario, pulida. Debido al pequeño espesor de las capas, éstas tienden a copiar la rugosidad superficial. Cuanto más fino sea el acabado, mejores coeficientes de fricción se conseguirán en la pieza recubierta, disminuyendo el riesgo de microsoldaduras tanto en frío como en caliente. El aspecto final, color y brillo son también más atractivos. El acabado de una herramienta suele ser por rectificado o mecanizado por electroerosión. Ambos casos pueden producir alteraciones superficiales que pueden llegar a impedir la adherencia del recubrimiento y se analizan con detalle a continuación.

#### POSIBLES DEFECTOS DEBIDOS AL RECTIFICADO.

- Zonas oxidadas por efecto de un sobrecalentamiento producido por una refrigeración o abrasivo inadecuado. (Quemaduras)
- Zonas reblandecidas por efecto de insuficiente refrigeración durante la fase de rectificado.

La falta de adherencia del recubrimiento en estas zonas ocasiona desprendimientos de la capa y rendimientos inferiores al esperado en las herramientas o útiles. Estos defectos deben ser eliminados mecánicamente o por agentes químicos.

#### POSIBLES DEFECTOS DEBIDOS A LA ELECTROEROSIÓN.

El proceso de electroerosión provoca ineludiblemente una zona de metal fundido en superficie, inmediatamente una zona contigua de material retemplado y progresivamente una zona afectada por el calor que provoca hacia el interior de la pieza revenidos locales y por tanto durezas heterogéneas.

Antes de someter la pieza a recubrimiento P.V.D. deberá procederse según:

Revenido dos veces a  $T^{\circ}C > 500^{\circ}C$  para eliminar la zona retemplada y las tensiones debidas a la rotura de fibras por la penetración o el corte por hilo.

Eliminación mecánica de la zona de metal decarburada y refundida superficial a la vez que se ajusta el útil a su medida final. (Rectificado, pulido....)

### POSIBLES DEFECTOS DEBIDO A LA PRESENCIA DE SUCIEDAD U OXIDACIÓN SUPERFICIALES

La limpieza de las piezas es muy importante en todos los recubrimientos que se realizan en condiciones de alto vacío y en plasma.

En los procesos PVD la limpieza es fundamental y quizá una de las etapas más importantes en el global del proceso. En la actualidad se realizan con disolventes y detergentes específicos para cada material, instalaciones equipadas con ultrasonidos y secado rápido.

Sin embargo, aceites y grasas difíciles de disolverse con disolventes convencionales, crean residuos sólidos adheridos sobre la pieza imposibilitando la consecución de un recubrimiento uniforme y bien adherido.

La presencia de corrosión u oxidación no permite la adherencia de los compuestos recién formados. El mismo efecto se produce en herramientas pavonadas o tratadas con recubrimientos antifricción. Las zonas de corrosión deben ser eliminadas mecánicamente mediante arenado fino o pulido con abrasivos. La manipulación de una pieza acabada y en algunos

## P.V.D. DEPOSICIÓN FÍSICA EN FASE VAPOR

casos con zonas de trabajo afiladas es siempre compleja y pese a los cuidados minuciosos del operador, comporta un cierto riesgo.



Preparación superficial de piezas. Desbaste

Destacar que una pieza que presente un recubrimiento homogéneo sin manchas ni defectos (aunque éstos se produzcan en zonas que no afectan al trabajo de la herramienta) ofrece visualmente mejor garantía de un correcto recubrimiento. Es por ello que se recomienda un acabado óptimo en toda la pieza a recubrir.

El caso concreto de moldes y matrices requiere especial atención. A las matrices de conformado que previamente han realizado una pre-serie de homologación y deben ser posteriormente recubiertas, son inicialmente desgasificadas en horno de vacío entre 450°C y 500°C. Este tratamiento permite desgasificar también las posibles soldaduras que pudiera presentar la pieza y estabilizarlas. Tras el proceso de desgasificado, son arenadas con corindón o carburo de silicio de grano muy fino y finalmente pulidas atendiendo las zonas más solicitadas y las direcciones preferentes de deslizamiento de la chapa a conformar.

En el caso de moldes que han trabajado o han sido probados antes de recubrir, se procede también al desgasificado, arenado y en caso de requerirse pulido. Debido al carácter crítico del pulido de moldes, es preferible que sea realizada por personal especializado.

### RECUBRIMIENTOS OBTENIDOS POR PROCESOS PVD

Los recubrimientos que industrialmente se están obteniendo se clasifican según sus aplicaciones.

- Técnicos
- Tribológicos
- Decorativos

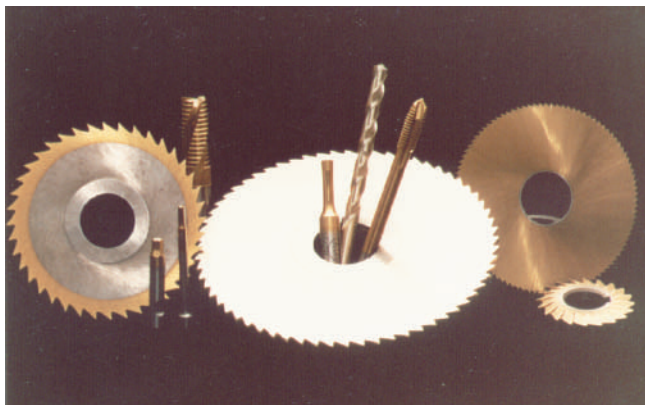
Los recubrimientos técnicos fueron los primeros desarrollados por proceso PVD. Obtienen capas duras finas para mejorar la dureza superficial y por tanto la resistencia al desgaste. Sin embargo, actualmente se valora en ellos no solo la dureza. Además presentan distintos comportamientos tribológicos en interacción con los materiales antagonistas. En conjunto, son los recubrimientos que se realizan a las herramientas de arranque de viruta, útiles de conformado,



Preparación superficial de piezas. Arenado y pulido

## P.V.D. DEPOSICIÓN FÍSICA EN FASE VAPOR

matrices, moldes .... Aumentan el rendimiento de mecanizado y zonas de corte. En aplicaciones de conformado cabe destacar las mejoras en la fluencia de las chapas a deformar, evitando arrugas, microsoldaduras, incluso en las zonas conflictivas, donde el material tiene tendencia a acumularse o estirarse.



Recubrimientos funcionales en herramientas de corte .

Minimizar los problemas causados por dobles espesores de chapa, uniones por soldadura, extracciones de los punzones y expulsión de las piezas estampadas así como la minimización en el uso de productos lubricantes son los principales logros de los recubrimientos técnicos.

Entre estos recubrimientos destacan TiN, el primero cronológicamente en ser depositado. Su color dorado característico sigue siendo el que goza de mayor implantación industrial.

Otros recubrimientos desarrollados posteriormente son TiCN (de mayor dureza que el TiN.), CrN (con muy buen comportamiento a fricción con aleaciones dúctiles), y AlTiN-TiAlN (actualmente el que más se está imponiendo en herramientas de corte a alta velocidad y en seco)

Los recubrimientos tribológicos pretenden mejorar, no solo la dureza superficial, sino las características de deslizamiento, coeficientes de fricción y lubricación de las piezas que presentan problemas de desgaste adhesivo, microsoldaduras en frío, gripajes.



Recubrimiento tribológico. Brocas recubiertas con carburo de molibdeno

Este tipo de recubrimientos novedosos todavía en el mercado, avanza constantemente y aumenta el número de aplicaciones. Generalmente son capas de sulfuros y carburos metálicos sobresaturadas en carbono. Cromo, Wolframio, Vanadio, Molibdeno y Tantalio son algunos de los metales que se están ensayando para conseguir compuestos tribológicos.

Los recubrimientos decorativos pretenden principalmente mejorar la resistencia al desgaste y a la corrosión de los recubrimientos galvánicos.

Con capas muy finas se consiguen compuestos de alta dureza con colores atractivos que en algunos casos se asemejan a colores empleados en joyería y que además resisten al rayado o erosionado de los productos que habitualmente se usan para su limpieza.



Recubrimiento decorativo. Tijeras recubiertas con TiN y óxidos metálicos

## P.V.D. DEPOSICIÓN FÍSICA EN FASE VAPOR

### RECUBRIMIENTOS PVD EN EL FUTURO

A diario se desarrollan en todo el mundo nuevos recubrimientos.

En el departamento de Recubrimientos Avanzados de TTC continua la mejora de los recubrimientos comercializados y la obtención de nuevas capas.

Combinaciones de compuestos en forma de multicapas, capas dopadas, nanocapas, nuevos compuestos tribológicos.

Técnicas, a priori, de distinta naturaleza (galvánica, implantaciones, termoquímicas...) pueden mejorar las propiedades de las capas PVD al aplicarse conjuntamente. La implantación industrial de los resultados que se obtienen en la investigación y desarrollo de capas combinadas son algunas de las tareas que nos hemos propuesto para el futuro inmediato.

Los ensayos que continuamente se realizan sobre nuevos recubrimientos, las experiencias de nuestros clientes y su recomendación para nuevas aplicaciones inducen el avance de los recubrimientos PVD.

Estos avances se traducen en mejorar las prestaciones de los equipos de recubrimiento que se construyen en TTC.

TTC Recubrimientos Avanzados, participa en varios proyectos para la obtención y caracterización de nuevos recubrimientos en colaboración con industrias del sector y centros tecnológicos entre los que destacan: A.I.N. (Asociación de la Industria Navarra), A.S.C.A.M.M.(Associació Catalana de Motllistes i Matricers), Universitat de Barcelona (Dept. de Ciència dels Materials), Universitat de Barcelona (Dep. de Física Aplicada), I.C.M.A.B. (Institut de Ciència dels Materials de Barcelona, CSIC).

Colabora habitualmente en los departamentos de Ciencia de los Materiales y Mecánica de la U.P.C. (ETSEIB. EUETIT, EUPVG).

Nuestro Departamento Técnico pretende estar cerca de los usuarios a través de un contacto directo con

los departamentos implicados en la utilización de los recubrimientos, participación en jornadas técnicas, conferencias y cursos de formación que organizan las distintas empresas del sector.



Laboratorio de Control de Calidad de los recubrimientos PVD

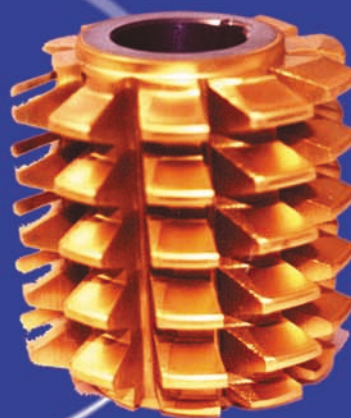
Los trabajos son presentados en nuestra página Web de noticias para ser consultados.

En casos en los que el contacto directo está limitado por la dificultad de desplazamiento, la página dispone de una sección para formular cuestiones o solicitar informaciones referentes a los temas que ocupan a tratamientos térmicos y a recubrimientos avanzados.

**P.V.D. DEPOSICIÓN FÍSICA EN FASE VAPOR**



**Tratamientos  
térmicos  
recubrimientos  
avanzados**



CONTACTE CON EL GRUPO **ttc** VIA INTERNET

**WEB**

<http://www.ttc-spain.com>

**E-MAIL**

[ttc-comercial@ttc-spain.com](mailto:ttc-comercial@ttc-spain.com)

[ttc-tecnico@ttc-spain.com](mailto:ttc-tecnico@ttc-spain.com)



TRATAMIENTOS TÉRMICOS / HEAT TREATMENTS  
RECUBRIMIENTOS AVANZADOS/ADVANCED HARD COATINGS

**SABADELL** PLANTA DE TRATAMIENTO  
Pge. Enginyer Playà, 38-42  
Tel. 937259077 Fax 937269966  
08205 Sabadell

**SABADELL** RECUBRIMIENTOS ION SHIELD  
Doctor Almera, 85  
Tel. 937271674 Fax 937250529  
08205 Sabadell

**BARCELONA** Fray Junípero Serra, 79  
Tel. 932781681 Fax 932780813  
08030 Barcelona

**SANT FRUITÓS DE BAGES** Camí del Grau, 24 Barri El Guix  
Tel. 938731781 Fax 938730908  
08272 Sant Fruitós de Bages

**RUBÍ** Avda. Can Roses, nave 8  
Tel. 935882905 Fax 935880294  
08191 Rubí

**L'HOSPITALET DE LLOBREGAT** Cobalto, 86-96 nave 4  
Tel. 933388019 Fax 933374698  
08907 L'Hospitalet de Llobregat

**PARETS DEL VALLÈS** PLANTA TRATAMIENTO INDUCCIÓN  
Polg. Ind. Can Volart  
Garbí, nave 7  
Tel. 935731387 Fax 935625249  
08150 Parets del Vallès